



JORNADAS RECICLAJE

B O G O T Á 2 0 2 5

**PIRÓLISIS DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO (NFU) COMO
ESTRATEGIA DE ECONOMÍA CIRCULAR: EVALUACIÓN
TÉCNICO-CIENTÍFICA DE LA CALIDAD DEL NEGRO DE
CARBONO RECUPERADO (rCB)**

William Urrego Yepes (Colombia)



CONTENIDO

- I. Presentación del equipo de trabajo
- II. Introducción: Pirólisis de NFU como estrategia de Economía Circular
- III. Metodología: Evaluación técnico-científica de la calidad del negro de carbono recuperado (rCB)
- IV. Resultados de la pirólisis y evaluación del rCB a nivel de laboratorio
- V. Retos, Trabajos Futuros y Conclusiones
- VI. Bibliografía
- VII. Agradecimientos

I. PRESENTACIÓN DEL EQUIPO DE TRABAJO



Institución
Universitaria
Reacreditada en Alta Calidad



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA
SEDE MEDELLÍN

CSIC

icb
INSTITUTO DE
CARBOQUIMICA



William Urrego Yepes¹, Robison Buitrago Sierra¹, Juan F. Santa Marin², Juan D. Martinez³

1. Instituto Tecnológico Metropolitano, Grupo de Investigación Materiales Avanzados y Energía. Colombia

2. Universidad Nacional de Colombia, Grupo de investigación de Tribología y Superficies. Colombia

3. Instituto de Carboquímica (ICB - CSIC). España



JORNADAS RECICLAJE
BOGOTÁ 2025

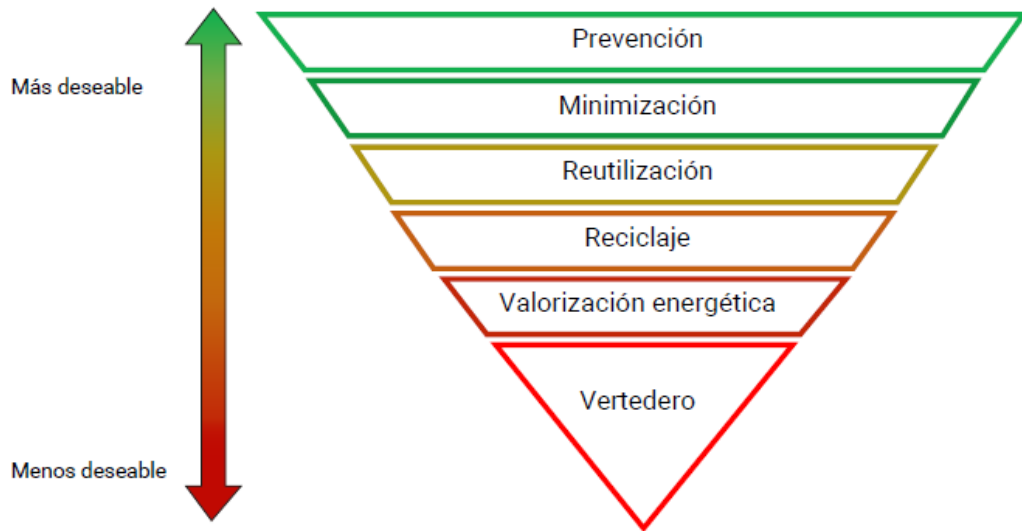
II. INTRODUCCIÓN: PIRÓLISIS DE NFU COMO ESTRATEGIA DE ECONOMÍA CIRCULAR



Neumáticos fuera de uso

Generación de NFU: 31 millones de toneladas al año

Caucho (60-65%) Negro de Carbono (25-35%)

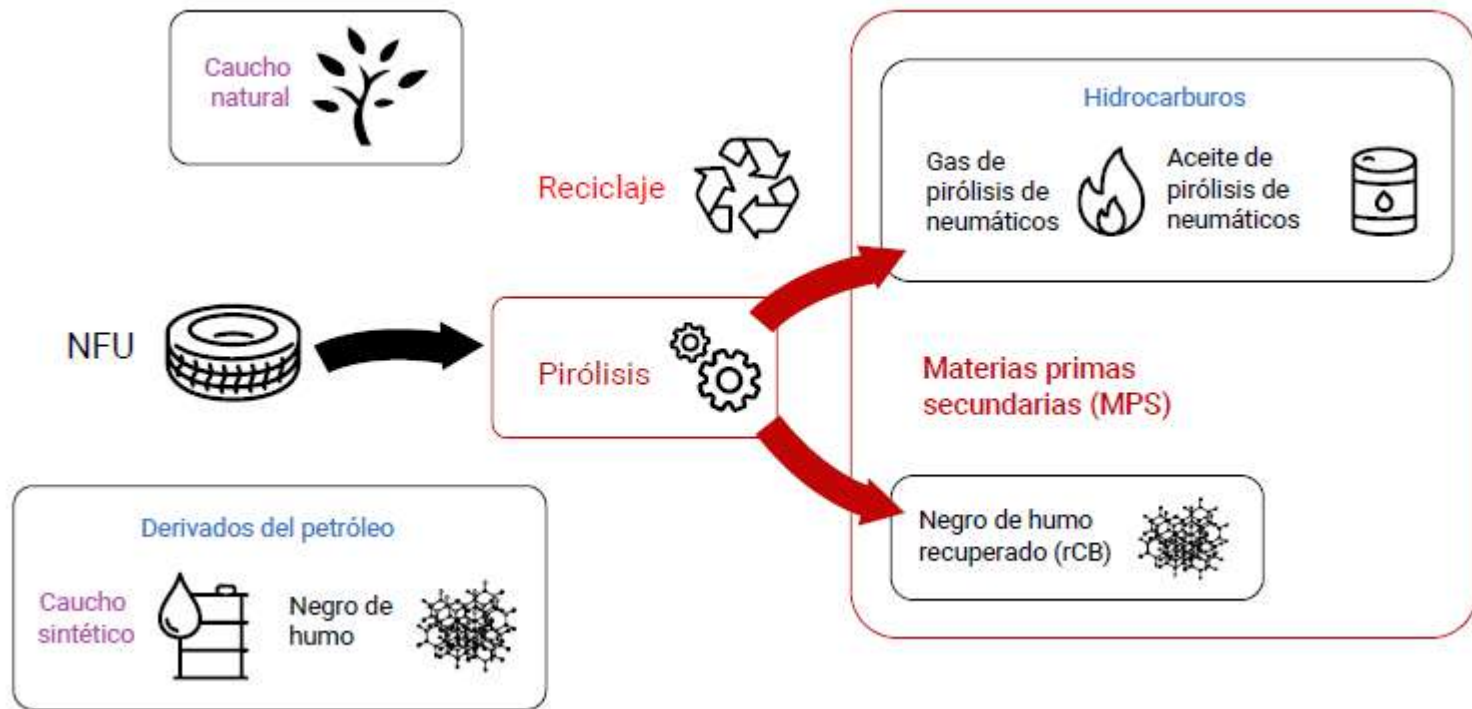


(Francesco Valentini et al, 2022)

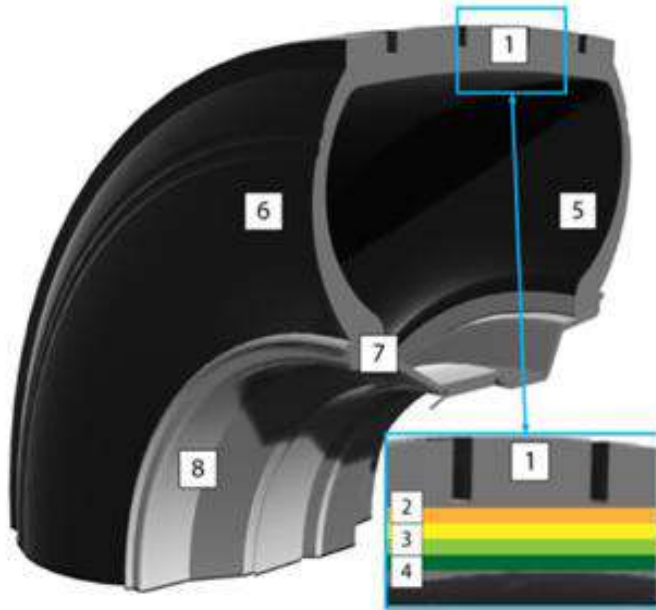


JORNADAS RECICLAJE
BOGOTÁ 2025

II. INTRODUCCIÓN: PIRÓLISIS DE NFU COMO ESTRATEGIA DE ECONOMÍA CIRCULAR



II. INTRODUCCIÓN: PIRÓLISIS DE NFU COMO ESTRATEGIA DE ECONOMÍA CIRCULAR



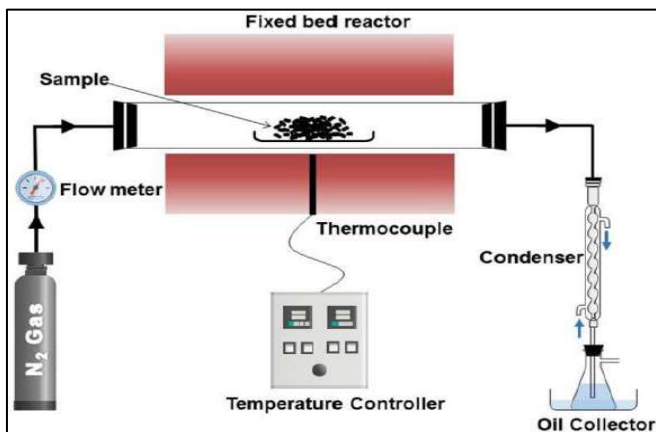
1. **Tread.** Ensures road grip and expels water. Natural or synthetic rubber.
2. **Cap ply.** Allows fast speed. Strong nylon cord in rubber.
3. **Belt(s).** Tyre rigidity. Steel cord in rubber
4. **Carcass ply.** Shape and internal pressure control. Textile.
5. **Innerliner.** Controls pressure and replaces inner tube. Butyl rubber.
6. **Sidewall.** Protects from external damage. Natural rubber.
7. **Bead.** Tyre to rim seal. Steel wire with aramid fibers in rubber.
8. **Rim.** Tyre support. Steel, aluminium or carbon fibre composite.

(Alberto Sanchís et al, 2025)

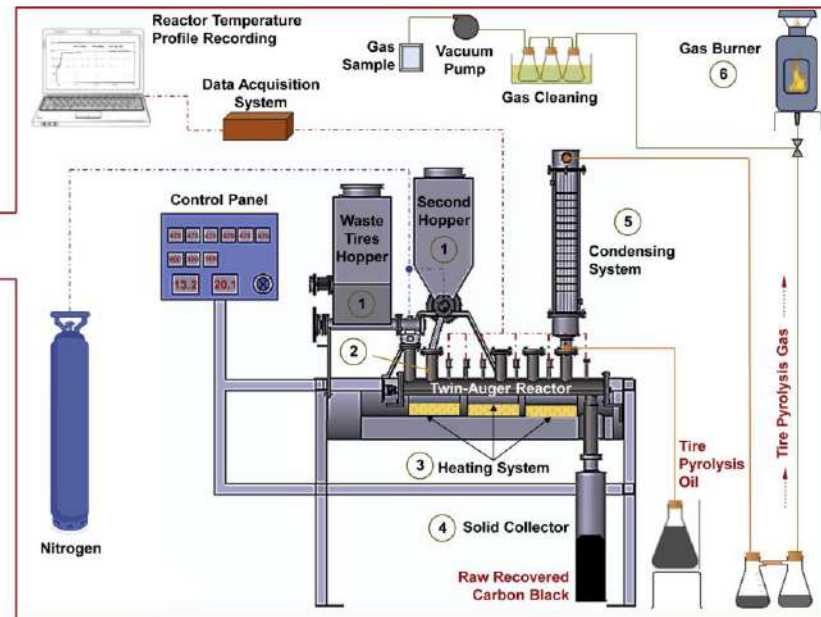
Reciclaje mecánico NFU



Pirólisis

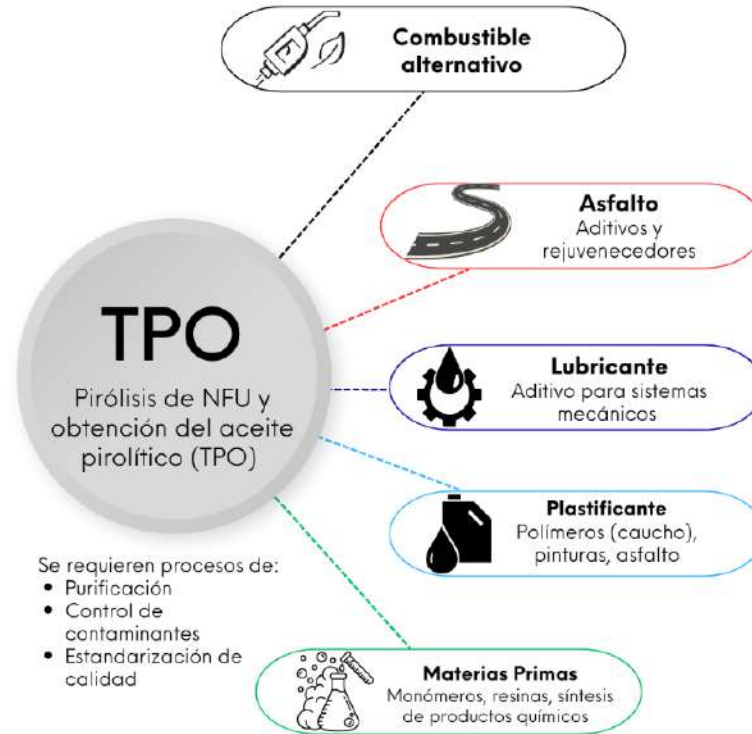


✓ Basic Principles Observed	TRL 1
✓ Technology Concept Formulated	TRL 2
✓ Experimental Proof of Concept	TRL 3
✓ Technology Validated in Lab	TRL 4
Technology Validated in Relevant Environment	TRL 5
Technology Demonstrated in Relevant Environment	TRL 6
System Prototype in Operational Environment	TRL 7
System Complete and Qualified	TRL 8
System Operational	TRL 9



(J.D Martinez et al, 2021)
(F. Campuzano et al, 2022-2023)
(Wang MengYa, W. M et al. 2019)

II. INTRODUCCIÓN: PIRÓLISIS DE NFU COMO ESTRATEGIA DE ECONOMÍA CIRCULAR



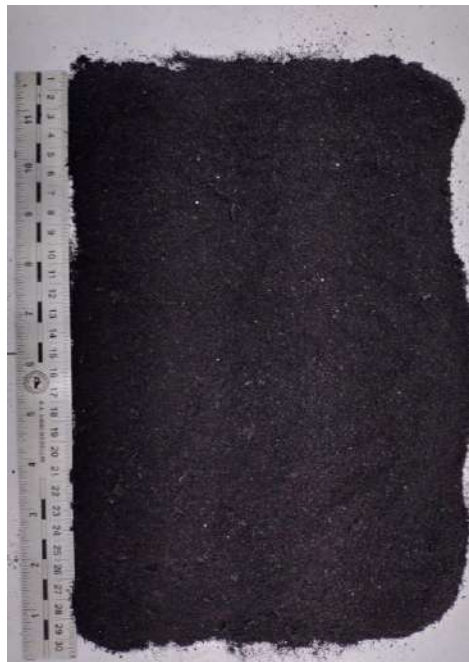
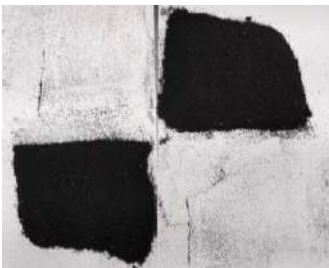
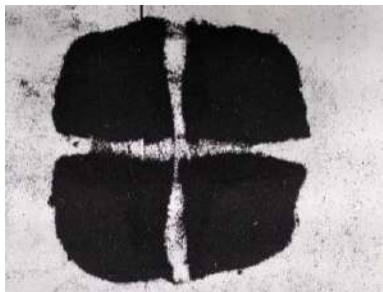
II. INTRODUCCIÓN: PIRÓLISIS DE NFU COMO ESTRATEGIA DE ECONOMÍA CIRCULAR



CADA ETAPA PERMITE LOGRAR DIFERENTES CALIDADES DEL NEGRO DE CARBONO RECUPERADO Y DEFINIR SUS POSIBLES USOS

III. METODOLOGÍA: EVALUACIÓN TÉCNICO-CIENTÍFICA DE LA CALIDAD DEL NEGRO DE CARBONO RECUPERADO (rCB)

Tipo de neumático seleccionado, granulometría y características R30 RIM 22.5



- ✓ Microscopía electrónica de Barrido (SEM-EDS)
- ✓ Análisis Termo gravimétrico (TGA)

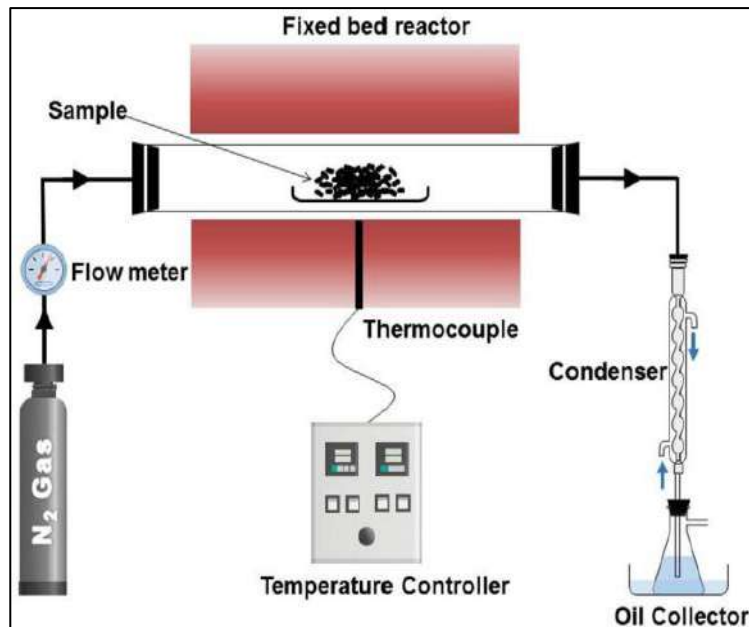


III. METODOLOGÍA: EVALUACIÓN TÉCNICO-CIENTÍFICA DE LA CALIDAD DEL NEGRO DE CARBONO RECUPERADO (rCB)

Pirólisis de NFU



- ✓ Remolido malla 30
- ✓ 100 ml/min N_2
- ✓ Temperaturas de pirólisis:
400°C
700°C



(Wang MengYa, W. M et al. 2019)



JORNADAS RECICLAJE
BOGOTÁ 2025

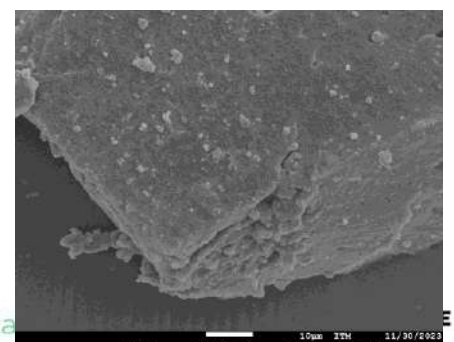
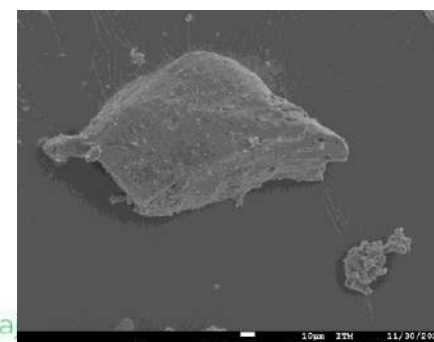
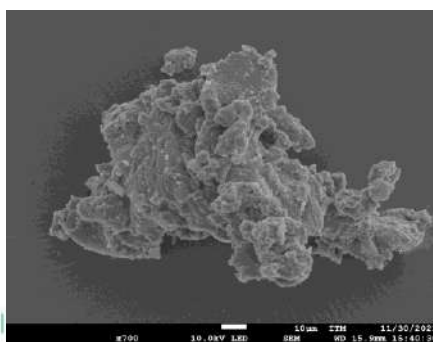
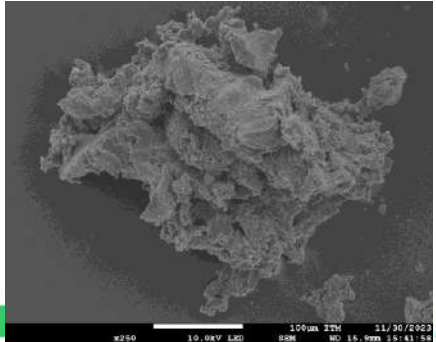
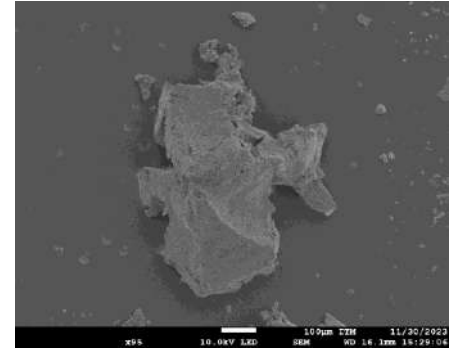
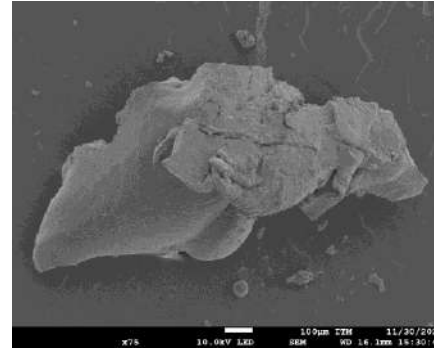
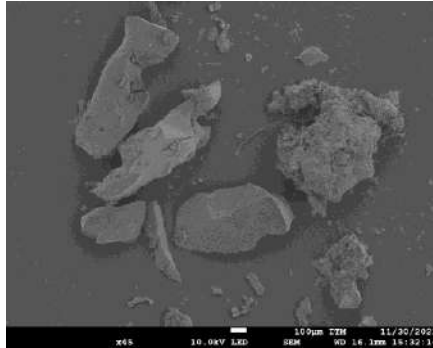
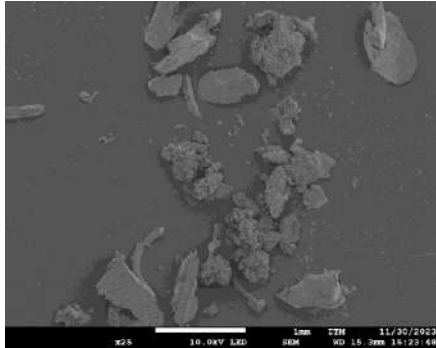
III. METODOLOGÍA: EVALUACIÓN TÉCNICO-CIENTÍFICA DE LA CALIDAD DEL NEGRO DE CARBONO RECUPERADO (rCB)

Caracterización de los negros de carbono



IV. RESULTADOS DE LA PIRÓLISIS Y EVALUACIÓN DEL rCB A NIVEL DE LABORATORIO

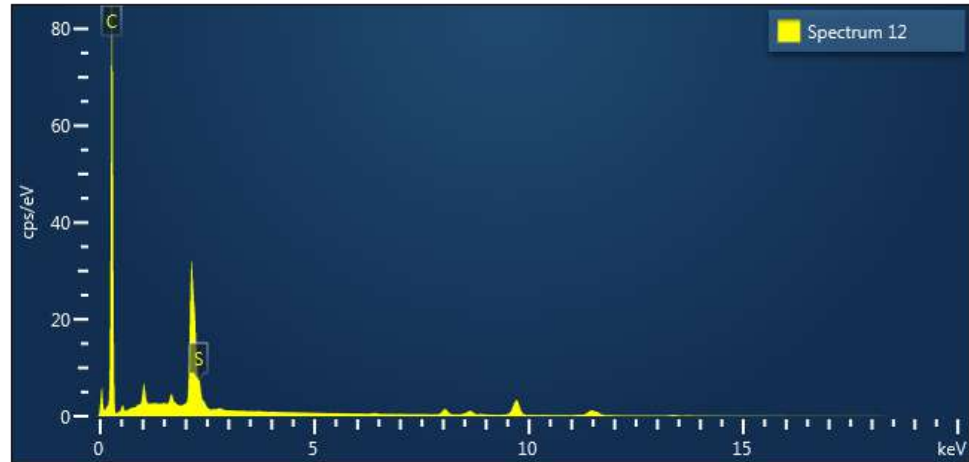
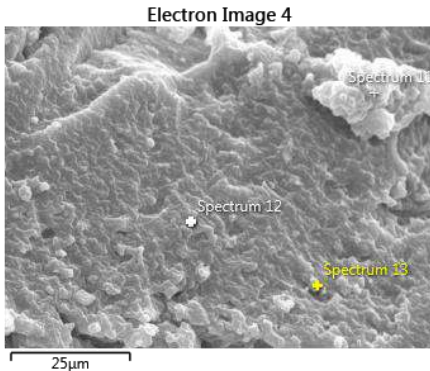
Tipo de neumático seleccionado, granulometría y características R30 RIM 22.5



IV. RESULTADOS DE LA PIRÓLISIS Y EVALUACIÓN DEL rCB A NIVEL DE LABORATORIO

Tipo de neumático seleccionado, granulometría y características R30 RIM 22.5

SEM-EDX



Element	Wt%	Wt% Sigma
C	99.31	0.01
S	0.69	0.01
Total:	100.00	

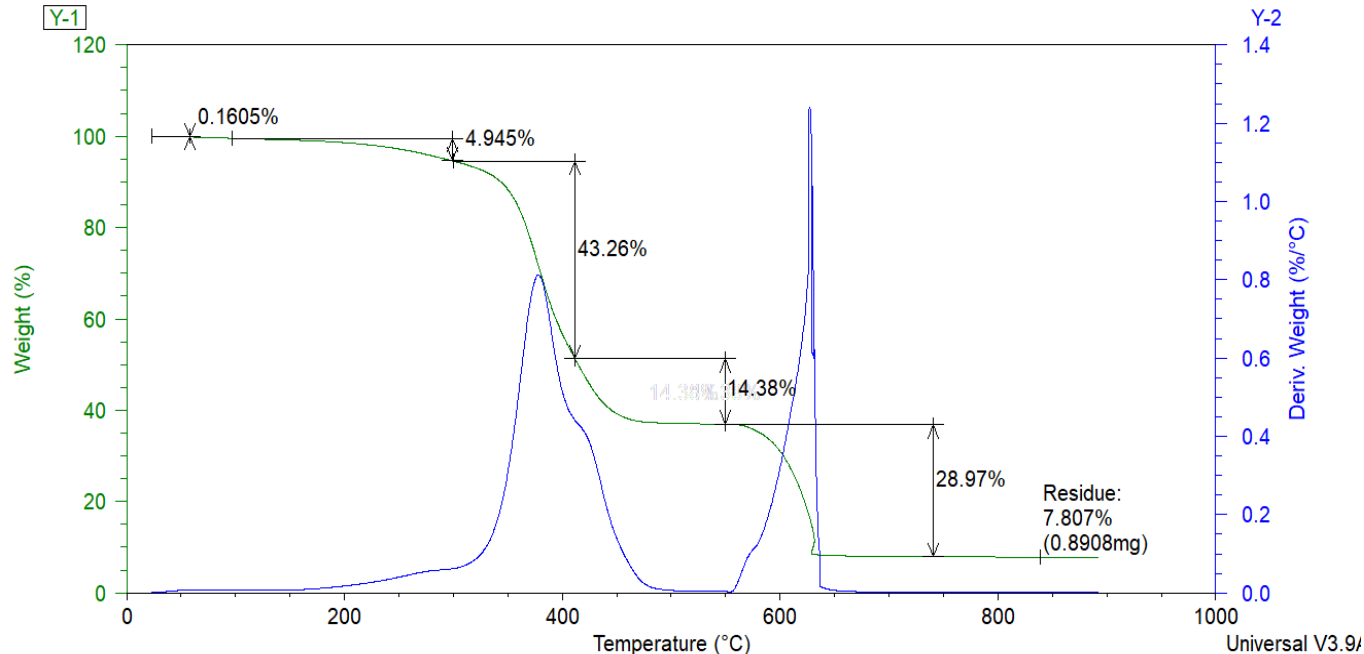


JORNADAS RECICLAJE
BOGOTÁ 2025

IV. RESULTADOS DE LA PIRÓLISIS Y EVALUACIÓN DEL rCB A NIVEL DE LABORATORIO

Tipo de neumático seleccionado, granulometría y características R30 RIM 22.5

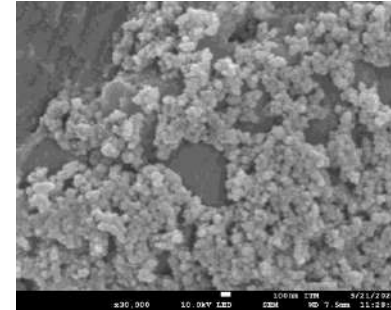
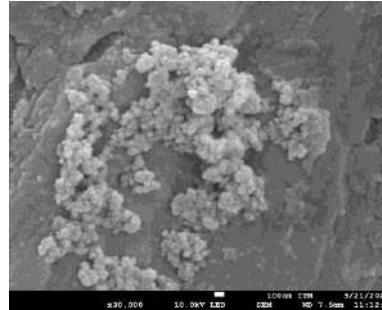
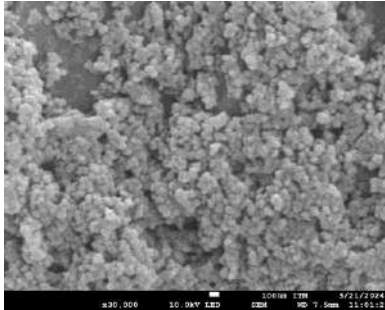
TGA



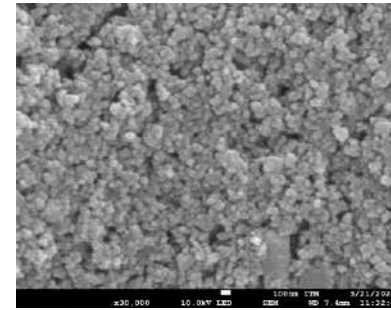
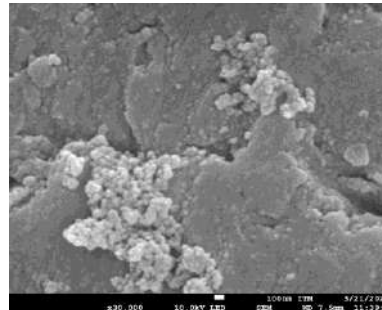
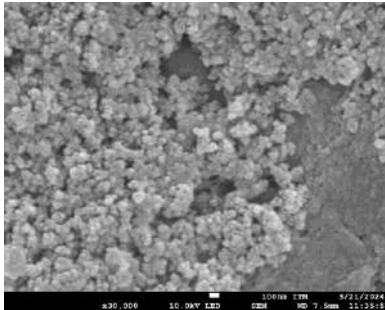
IV. RESULTADOS DE LA PIRÓLISIS Y EVALUACIÓN DEL rCB A NIVEL DE LABORATORIO

Caracterización de los negros de carbono SEM-EDS (30.000X)

400°C



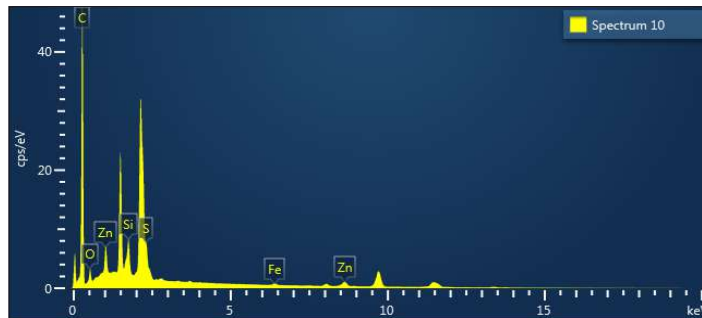
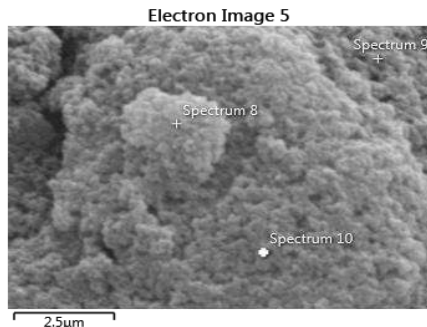
700°C



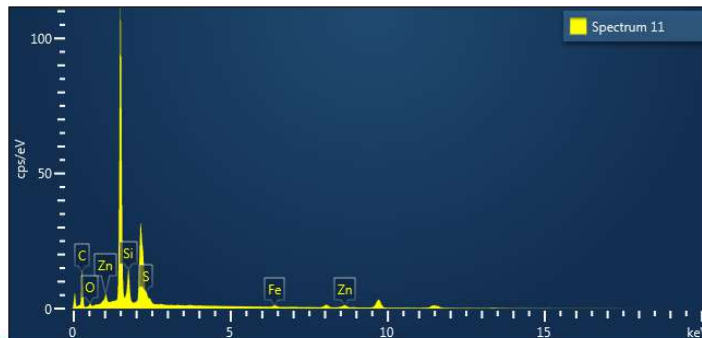
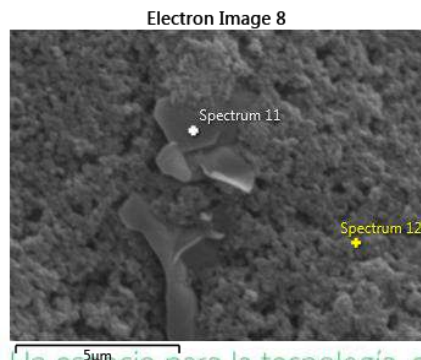
IV. RESULTADOS DE LA PIRÓLISIS Y EVALUACIÓN DEL rCB A NIVEL DE LABORATORIO

Caracterización de los negros de carbono SEM-EDS

400°C



Element	Wt%	Wt% Sigma
C	89.39	0.20
O	7.89	0.20
Si	0.67	0.01
S	0.90	0.02
Fe	0.15	0.01
Zn	1.01	0.03
Total:	100.00	



Element	Wt%	Wt% Sigma
C	82.89	0.38
O	8.11	0.38
Si	3.96	0.04
S	1.47	0.04
Fe	0.81	0.04
Zn	2.76	0.08
Total:	100.00	

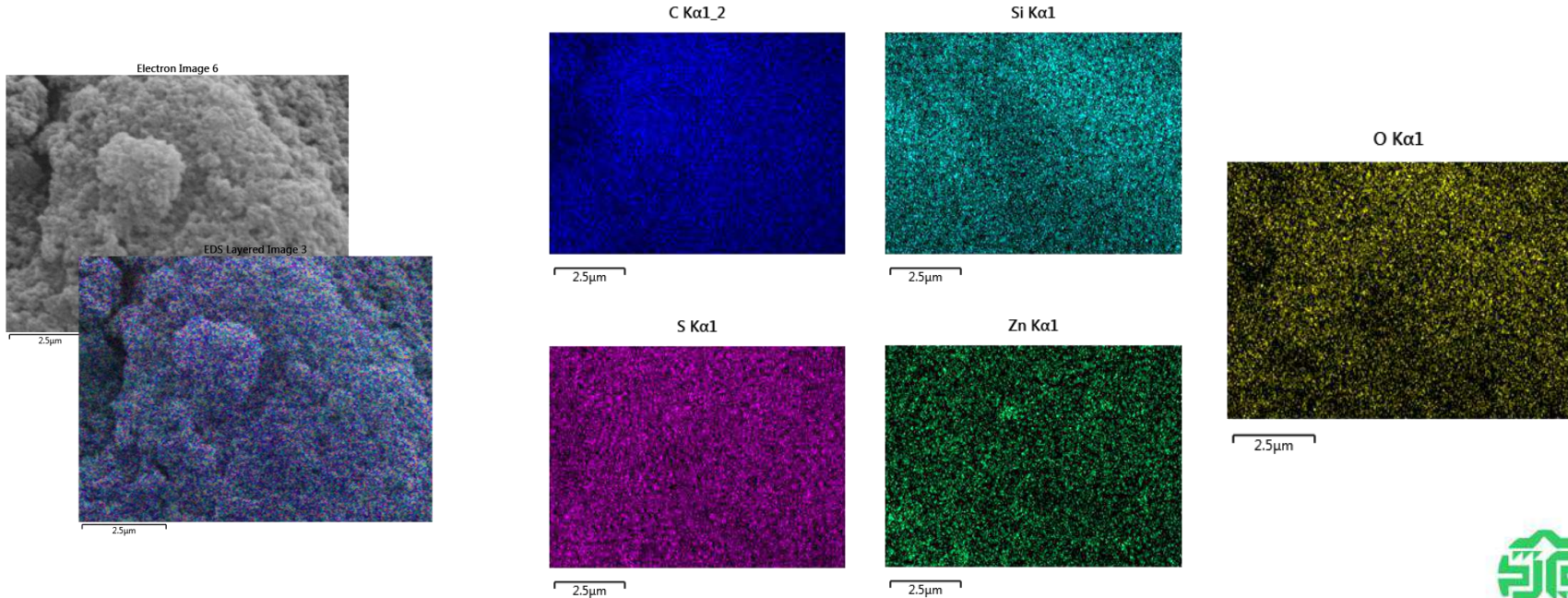


JORNADAS RECICLAJE
BOGOTÁ 2025

IV. RESULTADOS DE LA PIRÓLISIS Y EVALUACIÓN DEL rCB A NIVEL DE LABORATORIO

Caracterización de los negros de carbono SEM-EDS

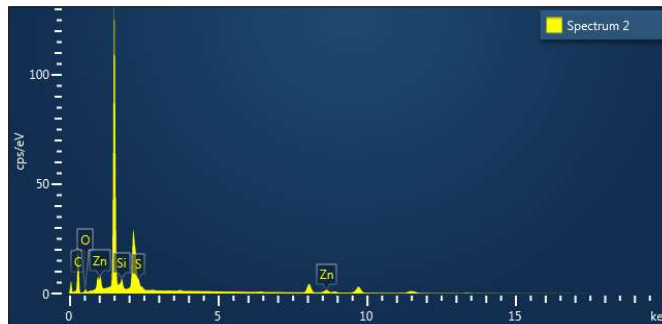
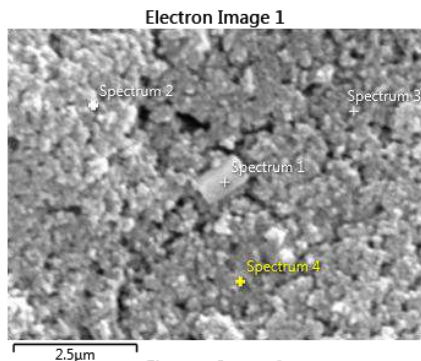
400°C



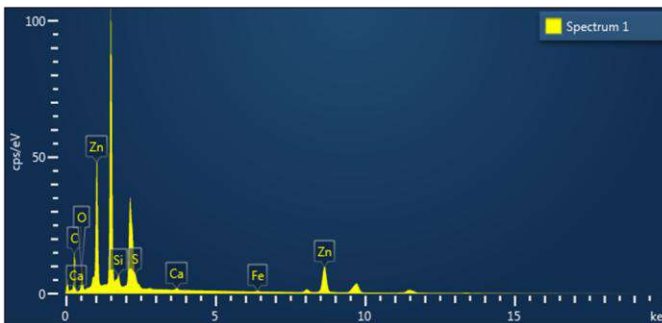
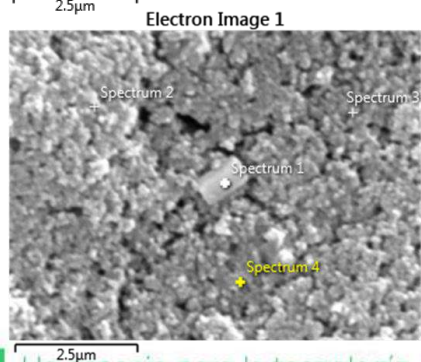
IV. RESULTADOS DE LA PIRÓLISIS Y EVALUACIÓN DEL rCB A NIVEL DE LABORATORIO

Caracterización de los negros de carbono SEM-EDS

700°C



Element	Wt%	Wt% Sigma
C	85.25	0.30
O	8.89	0.30
Si	1.41	0.02
S	1.36	0.03
Zn	3.08	0.07
Total:	100.00	

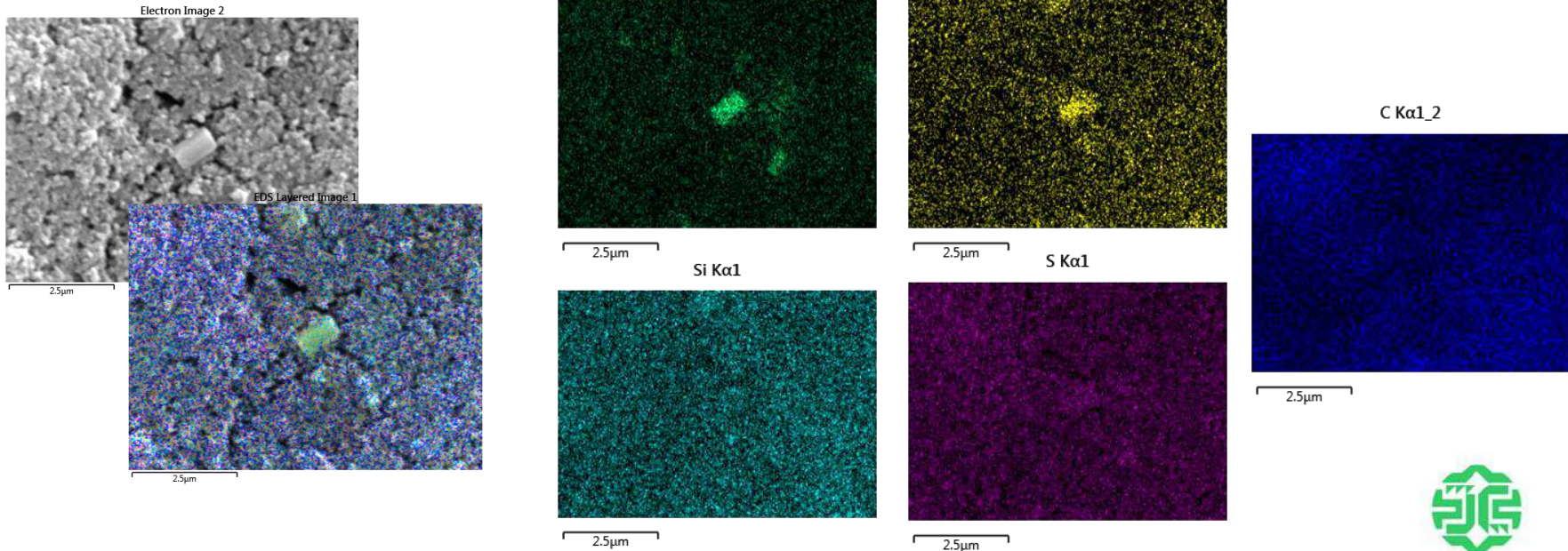


Element	Wt%	Wt% Sigma
C	60.40	0.27
O	22.37	0.23
Si	0.89	0.01
S	0.94	0.02
Ca	0.15	0.01
Fe	0.16	0.01
Zn	15.08	0.11
Total:	100.00	

IV. RESULTADOS DE LA PIRÓLISIS Y EVALUACIÓN DEL rCB A NIVEL DE LABORATORIO

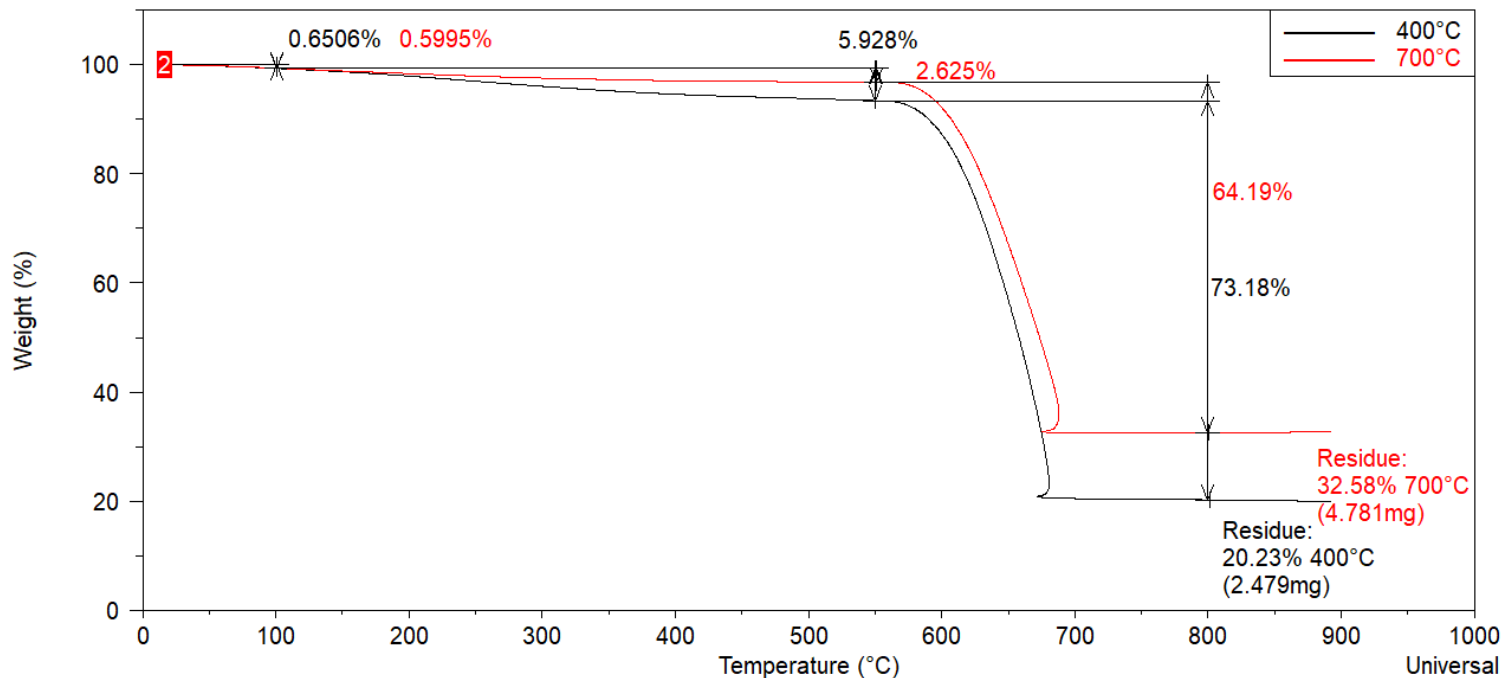
Caracterización de los negros de carbono SEM-EDS

700°C



IV. RESULTADOS DE LA PIRÓLISIS Y EVALUACIÓN DEL rCB A NIVEL DE LABORATORIO

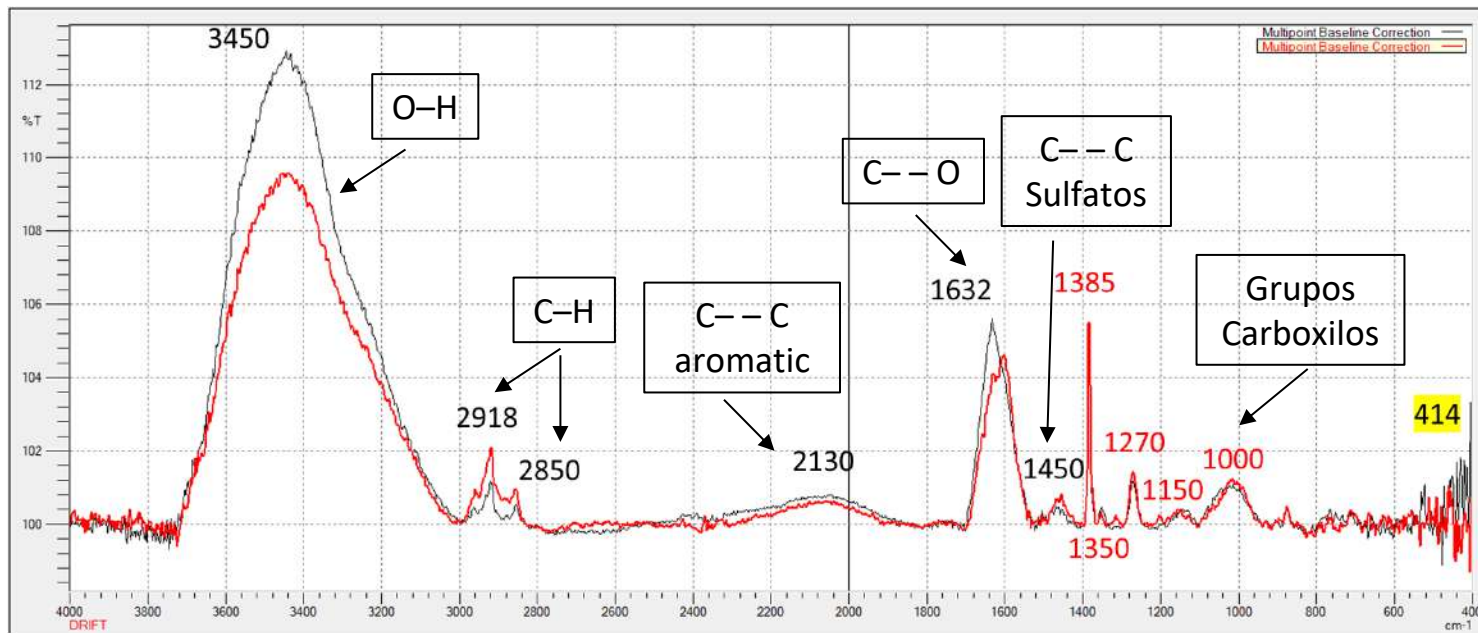
Caracterización de los negros de carbono TGA



IV. RESULTADOS DE LA PIRÓLISIS Y EVALUACIÓN DEL rCB A NIVEL DE LABORATORIO

Caracterización de los negros de carbono – FTIR

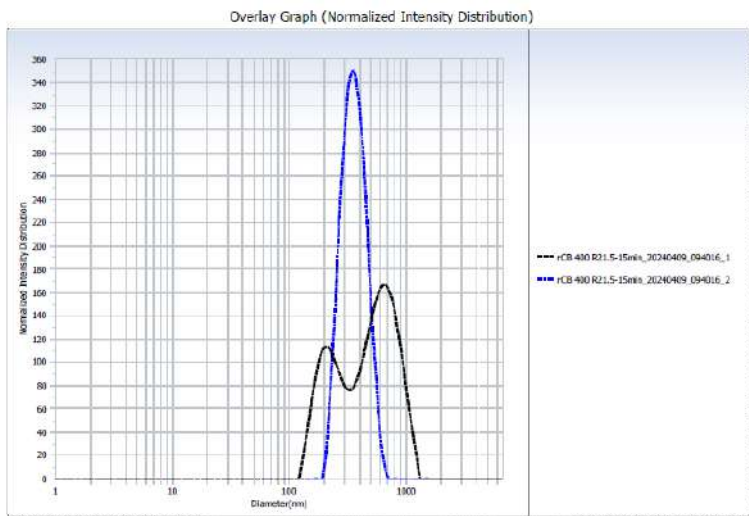
400°C - 700°C



IV. RESULTADOS DE LA PIRÓLISIS Y EVALUACIÓN DEL rCB A NIVEL DE LABORATORIO

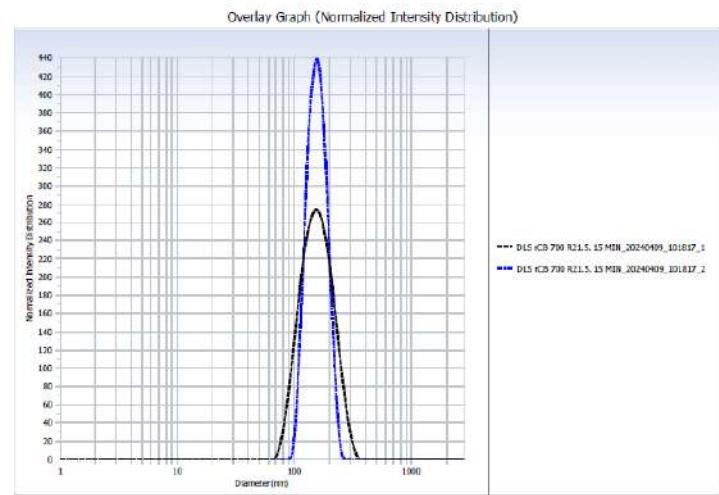
Caracterización de los negros de carbono DLS

400°C



No	Data	Repet. No	pH	Ave. Diameter (nm)	PD	Mean (nm)	D (10%) (nm)	D (50%) (nm)	D (90%) (nm)
1	rCB 400 R21.5-15min_20240409_094016_1	1	NA	371.9	0.241	503.3	176.7	459.2	843.0
2	rCB 400 R21.5-15min_20240409_094016_2	2	NA	382.6	0.234	365.8	248.3	338.8	468.4
Average :				377.3	0.237	434.5	212.5	399.0	655.7

700°C



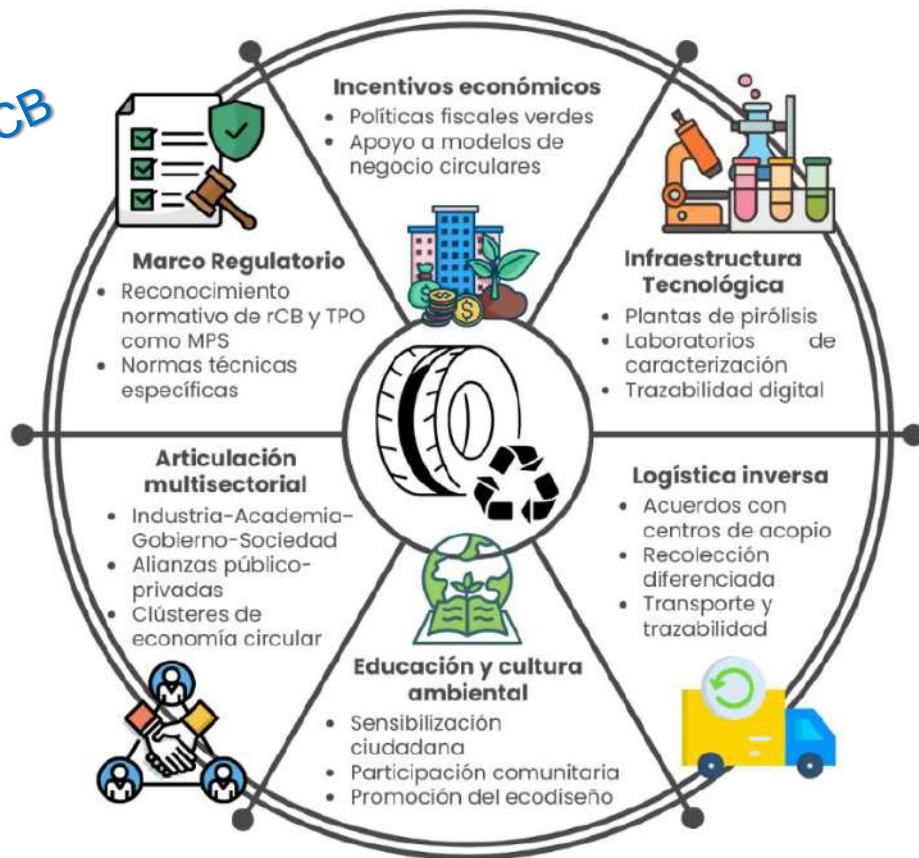
No	Data	Repet. No	pH	Ave. Diameter (nm)	PD	Mean (nm)	D (10%) (nm)	D (50%) (nm)	D (90%) (nm)
1	DLS rCB 700 R21.5. 15 MIN_20240409_101817_1	1	NA	157.5	0.202	161.5	98.7	147.9	222.8
2	DLS rCB 700 R21.5. 15 MIN_20240409_101817_2	2	NA	165.4	0.212	157.7	115.4	148.6	192.4
Average :				161.4	0.207	159.6	107.0	148.3	207.6

V. RETOS, TRABAJOS FUTUROS Y CONCLUSIONES

FACTORES QUE
AFECTAN LA
CALIDAD DEL rCB

Tipo de
Neumático

Tecnología
de pirólisis



Condiciones
de pirólisis

Tratamientos
físicos y
químicos del
rCB



VI. BIBLIOGRAFÍA

Alberto Sanchís, María Victoria Navarro, Alberto Veses, Juan Daniel Martínez, María Soledad Callén, José Manuel López, Tomás García, Ramón Murillo. Pyrolysis of different types and sections of end-of-life tyres: Kinetics and experiments to improve product quality, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, Volume 192, 2025, 107309, ISSN 0165-2370. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2025.107309>.

Francesco Valentini, Alessandro Pegoretti, End-of-life options of tyres. A review, Advanced Industrial and Engineering Polymer Research, Volume 5, Issue 4, 2022, Pages 203-213, ISSN 2542-5048, <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2022.08.006>.

F. Campuzano, J. Ordoñez, J. D. Martínez, A. F. Agudelo, S. M. Sarathy, and W. L. Roberts, "Thermal decomposition characteristics of the tire pyrolysis oil derived from a twin-auger reactor: Study of kinetics and evolved gases," Fuel, vol. 338, no. November 2022, 2023, doi: 10.1016/j.fuel.2022.127248.

J. D. Martínez, F. Campuzano, A. F. Agudelo, N. Cardona-Urbe, and C. N. Arenas, "Chemical recycling of end-of-life tires by intermediate pyrolysis using a twin-auger reactor: Validation in a laboratory environment," J. Anal. Appl. Pyrolysis, vol. 159, no. June, 2021, doi: 10.1016/j.jaap.2021.105298.

W. Urrego-Yepes, N. Cardona-Urbe, C. A. Vargas-Isaza, and J. D. Martínez, "Incorporating the recovered carbon black produced in an industrial-scale waste tire pyrolysis plant into a natural rubber formulation," J. Environ. Manage., vol. 287, no. February, 2021, doi: 10.1016/j.jenvman.2021.112292.

Wang MengYa, W. M., Zhang Lei, Z. L., Li AiMin, L. A., Muhammad Irfan, M. I., Du YanPing, D. Y., & Di WeiQiang, D. W. (2019). Comparative pyrolysis behaviors of tire tread and side wall from waste tire and characterization of the resulting chars.

VII. AGRADECIMIENTOS

Proyecto PE 24205 Denominado: Producción, caracterización y uso de materias primas secundarias para la economía circular de los neumáticos fuera de uso. Financiado por la CONVOCATORIA CONJUNTA DE PROYECTOS DE I+D+I EN EL MARCO DE LA AGENDA REGIONAL DE I+D -> i – CONSORCIO G8+1

Entidades que hacen parte del proyecto:

- Institución Universitaria ITM (Entidad Ejecutora)
- Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín
- Universidad de Antioquia
- Universidad Pontificia Bolivariana (UPB)
- Extrusiones SA
- Carboquímica - CSIC – Centro de Investigación de España



JORNADAS RECICLAJE

B O G O T Á 2 0 2 5

Gracias / Thank you