



# 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 Yepes<sup>1</sup>, Robison Buitrago Sierra<sup>1</sup>, Juan F. Santa Marin<sup>2</sup>, Juan D. Martinez<sup>3</sup>

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

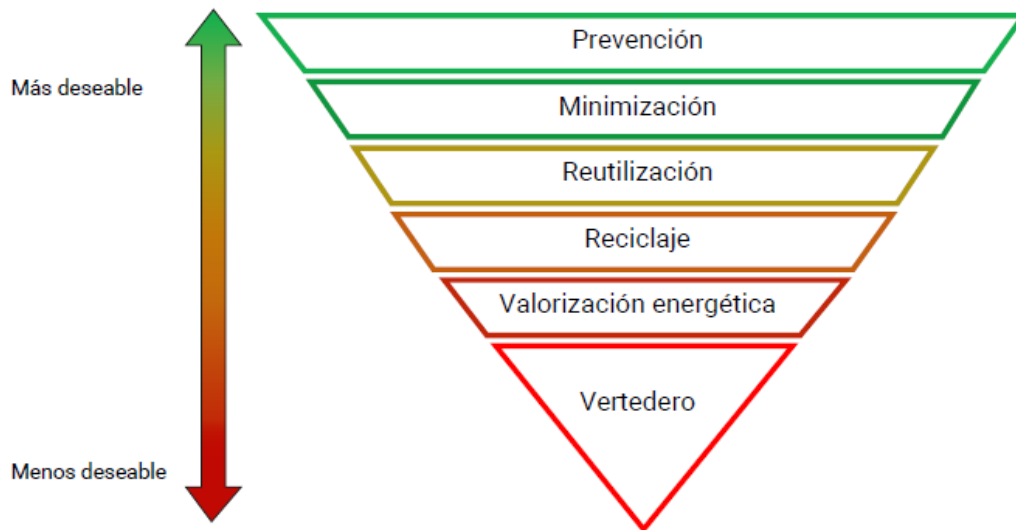
## II. INTRODUCCIÓN: PIRÓLISIS DE NFU COMO ESTRATEGIA DE ECONOMÍA CIRCULAR



### Neumáticos fuera de uso

Generación de NFU: 31 millones de toneladas al año

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

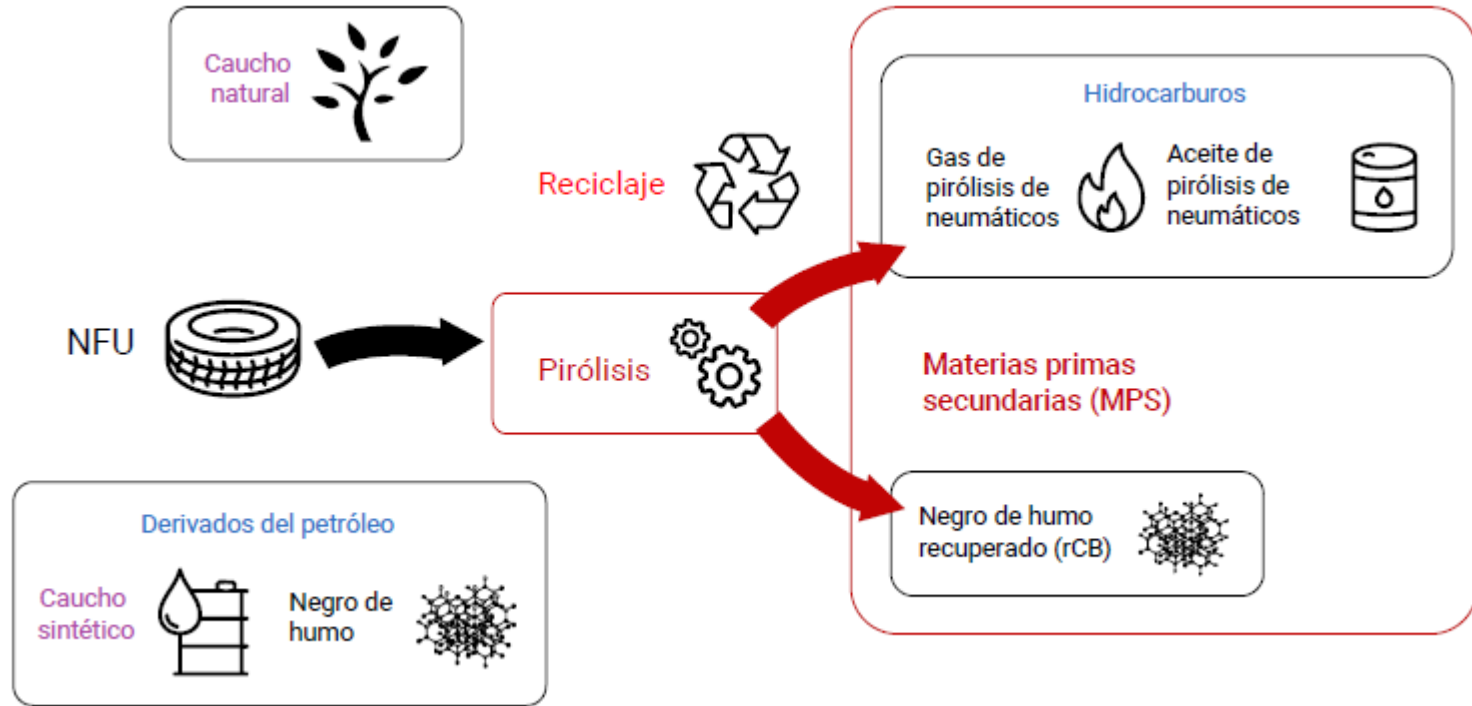


(Francesco Valentini et al, 2022)

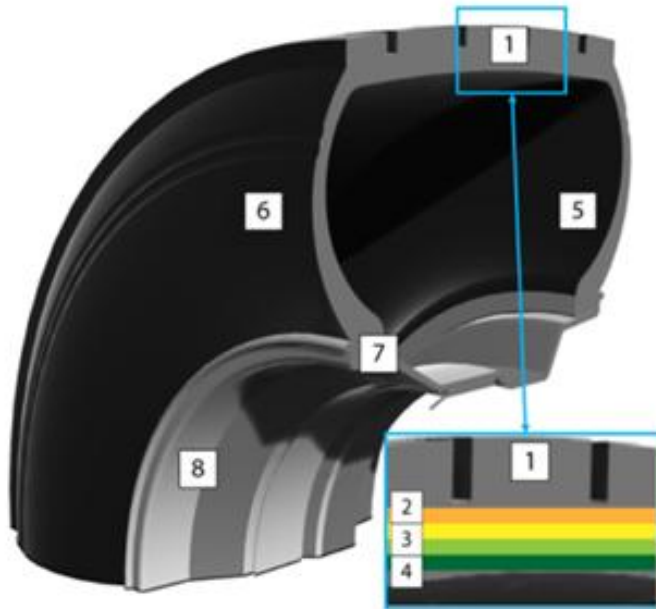


JORNADAS RECICLAJE  
BOGOTÁ 2025

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



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



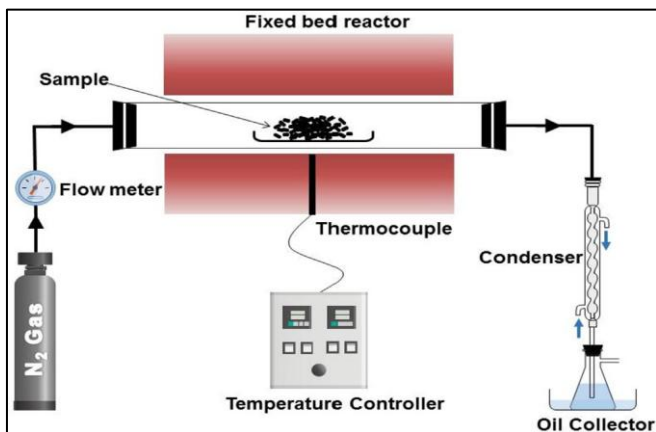
1. **Tread.** Ensures road grip and expels water. Natural or synthetic rubber.
2. **Cap ply.** Allows fast speed. Strong nylon cord in rubber.
3. **Belt(s).** Tyre rigidity. Steel cord in rubber
4. **Carcass ply.** Shape and internal pressure control. Textile.
5. **Innerliner.** Controls pressure and 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)

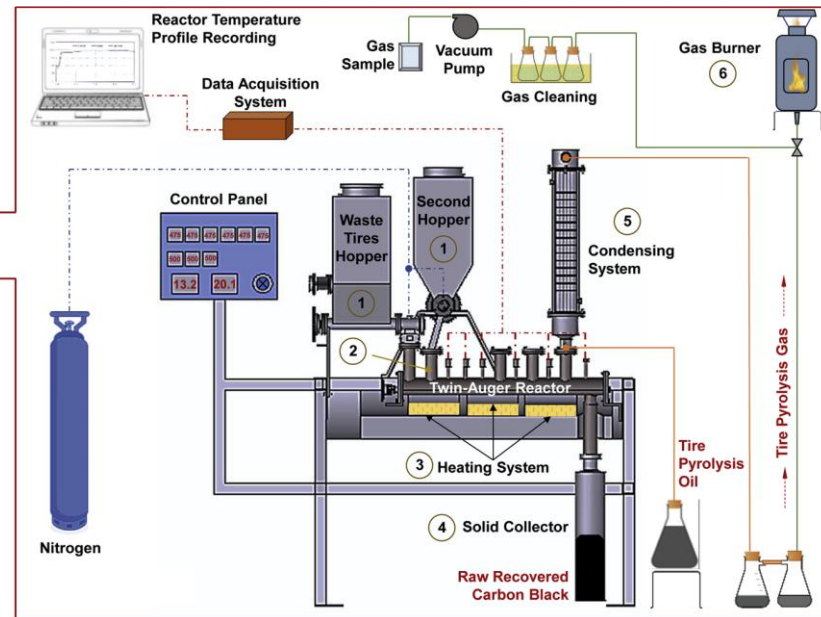
## Reciclaje mecánico NFU



Pirólisis



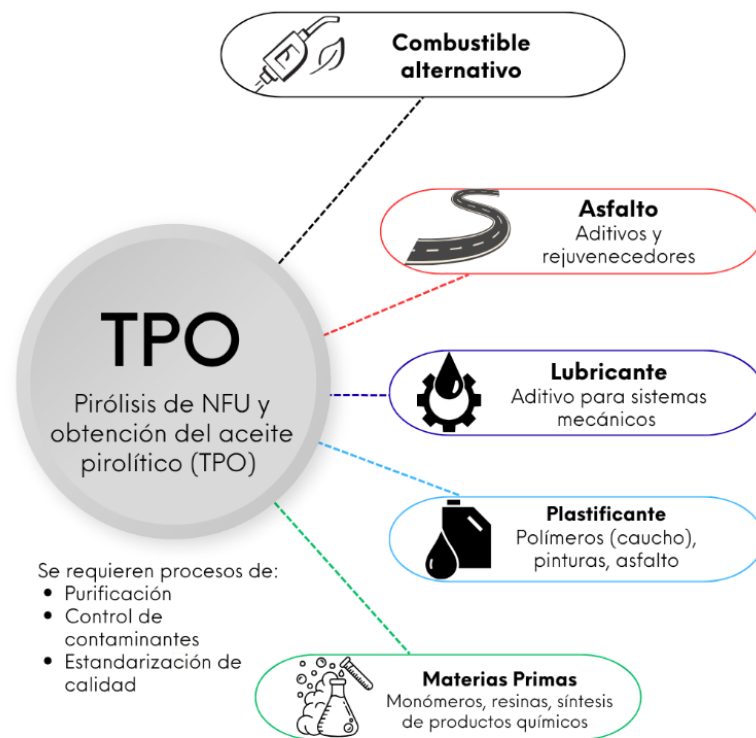
✓ Basic Principles Observed	TRL 1
✓ Technology Concept Formulated	TRL 2
✓ Experimental Proof of Concept	TRL 3
✓ Technology Validated in Lab	TRL 4
Technology Validated in Relevant Environment	TRL 5
Technology Demonstrated in Relevant Environment	TRL 6
System Prototype in Operational Environment	TRL 7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





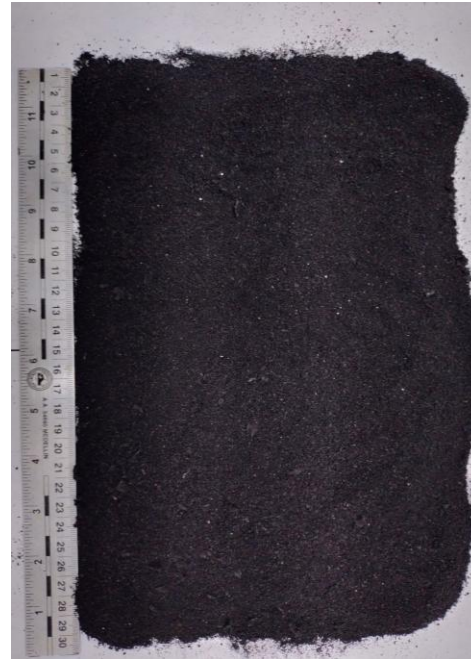
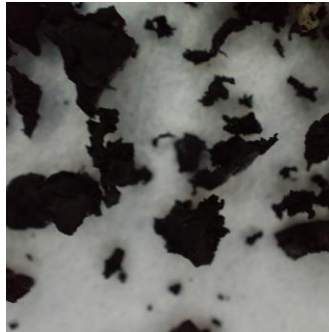
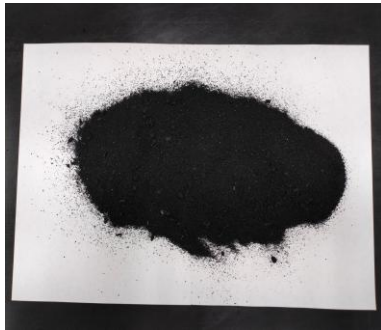
## II. INTRODUCCIÓN: PIRÓLISIS DE NFU COMO ESTRATEGIA DE ECONOMÍA CIRCULAR



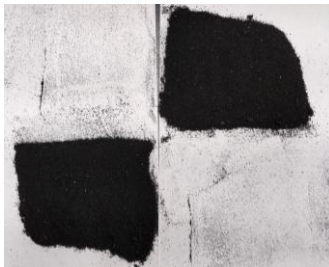
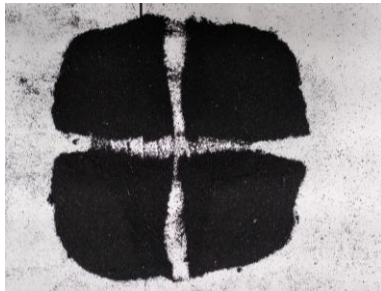
**CADA ETAPA PERMITE LOGRAR DIFERENTES CALIDADES DEL NEGRO DE CARBONO RECUPERADO Y DEFINIR SUS POSIBLES USOS**

### 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 Termogravimétrico (TGA)

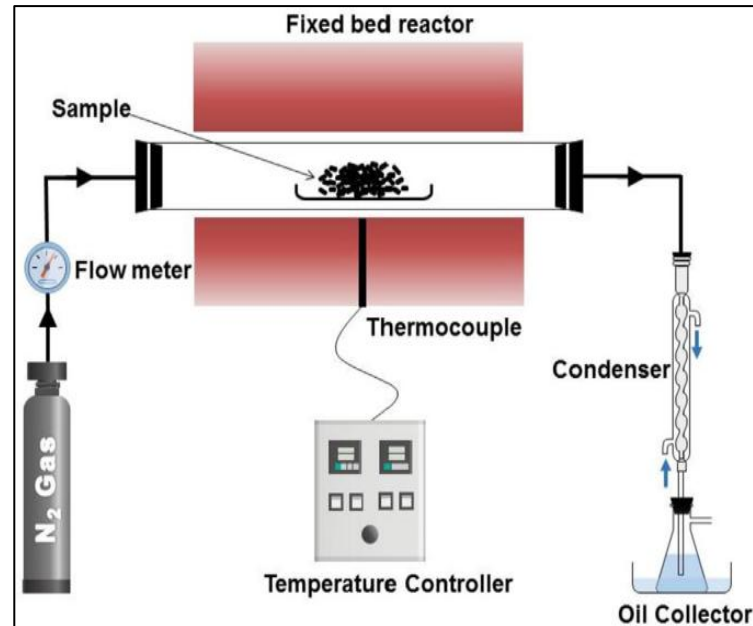


### III. METODOLOGÍA: EVALUACIÓN TÉCNICO-CIENTÍFICA DE LA CALIDAD DEL NEGRO DE CARBONO RECUPERADO (rCB)

#### Pirólisis de NFU



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



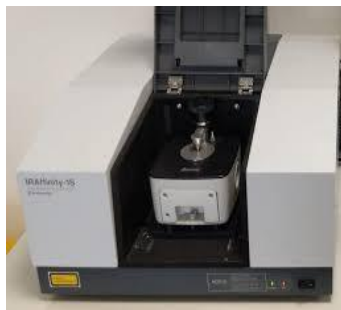
(Wang MengYa, W. M et al. 2019)



JORNADAS RECICLAJE  
BOGOTÁ 2025

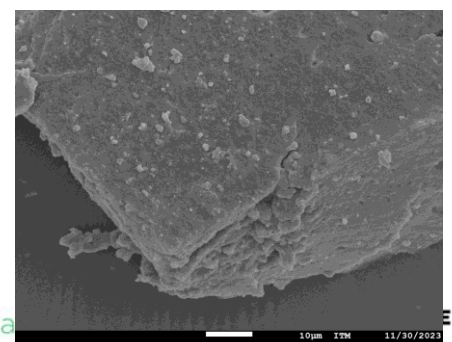
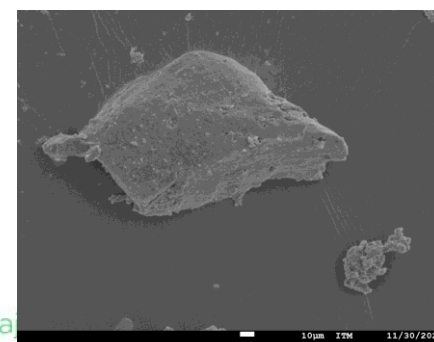
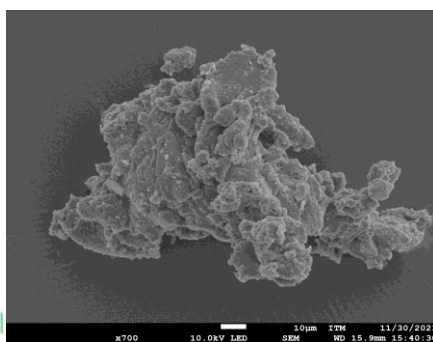
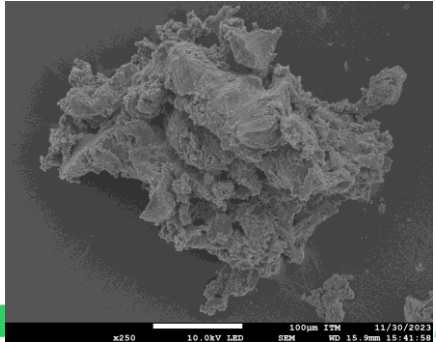
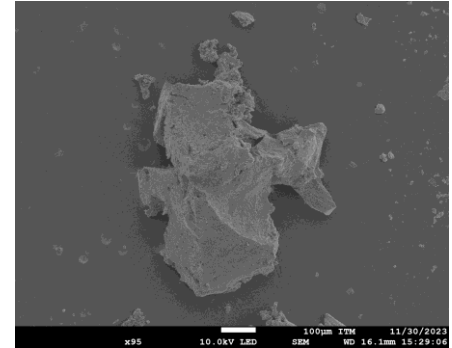
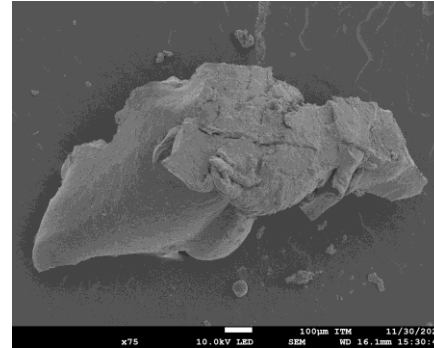
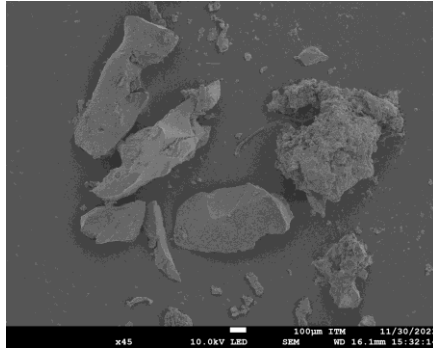
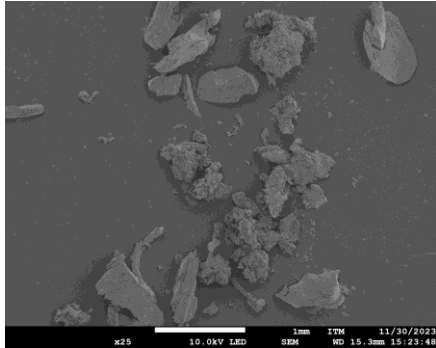
### III. METODOLOGÍA: EVALUACIÓN TÉCNICO-CIENTÍFICA DE LA CALIDAD DEL NEGRO DE CARBONO RECUPERADO (rCB)

#### 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

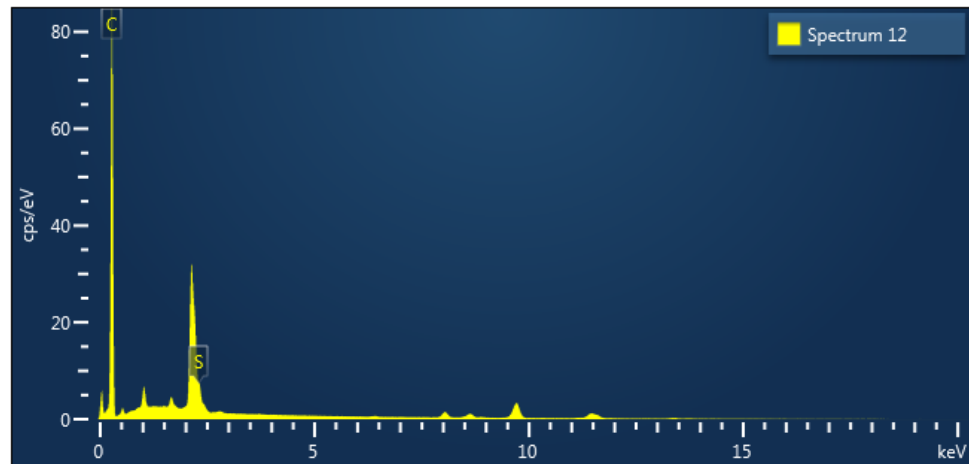
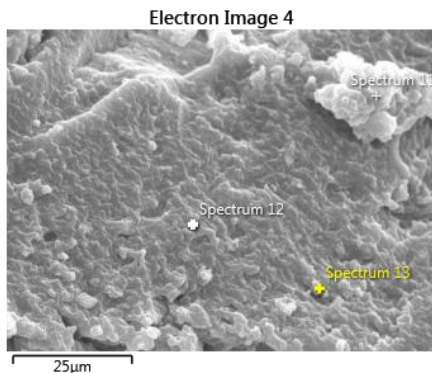




## IV. RESULTADOS DE LA PIRÓLISIS Y EVALUACIÓN DEL rCB A NIVEL DE LABORATORIO

Tipo de neumático seleccionado, granulometría y características R30 RIM 22.5

### SEM-EDX

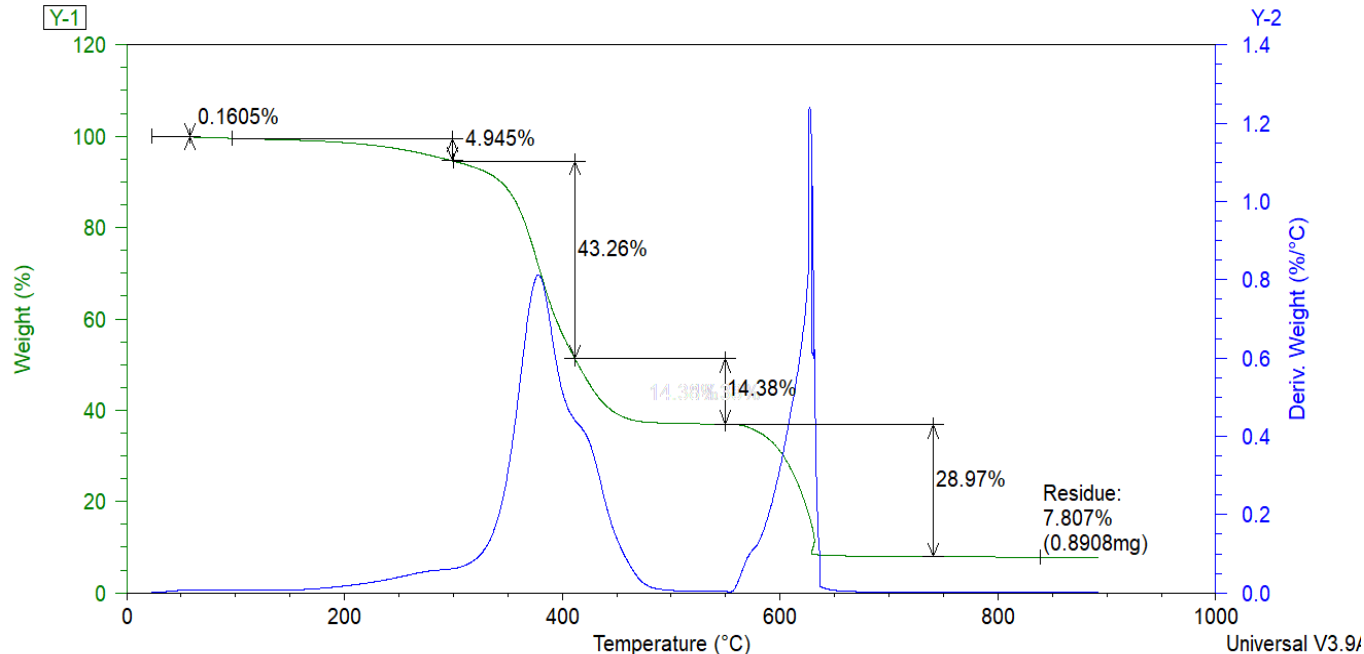


Element	Wt%	Wt% Sigma
C	99.31	0.01
S	0.69	0.01
Total:	100.00	

## 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

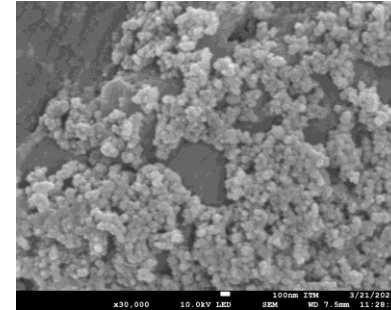
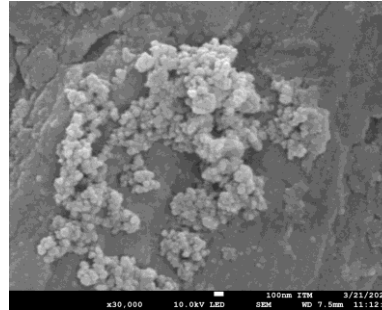
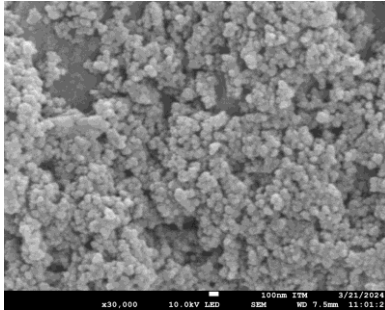




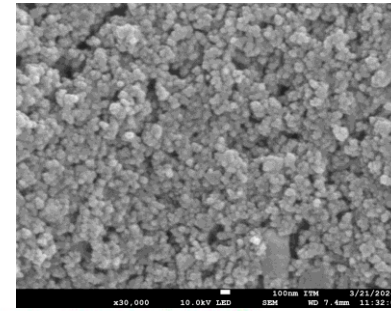
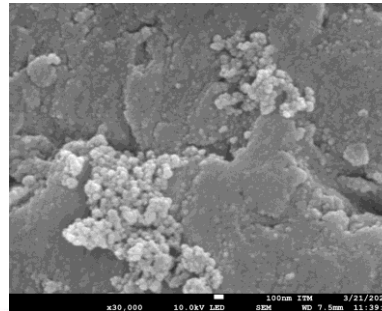
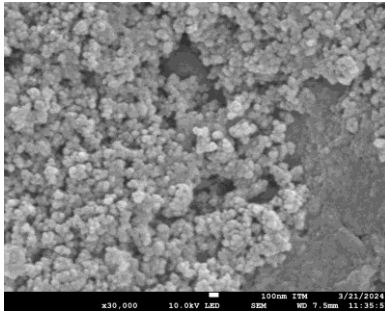
## IV. RESULTADOS DE LA PIRÓLISIS Y EVALUACIÓN DEL rCB A NIVEL DE LABORATORIO

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

400°C



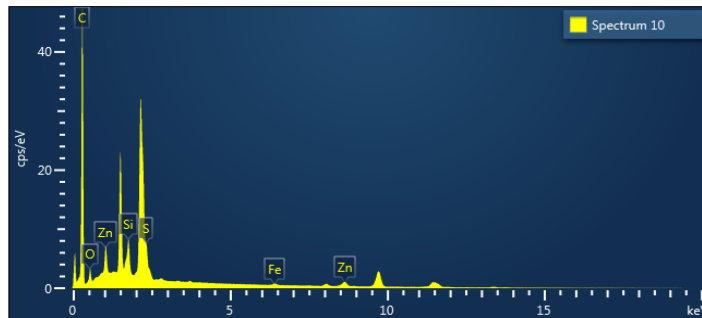
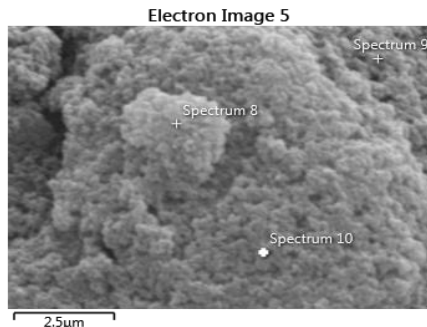
700°C



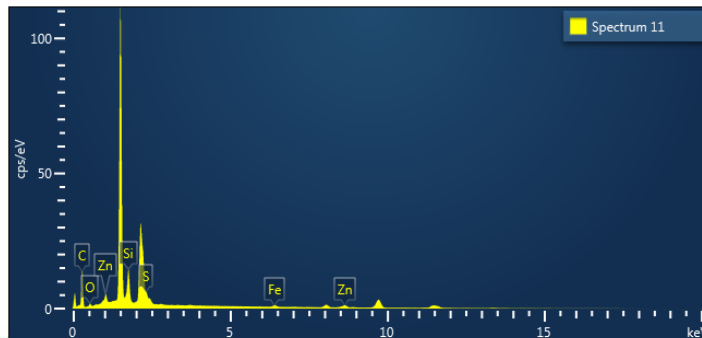
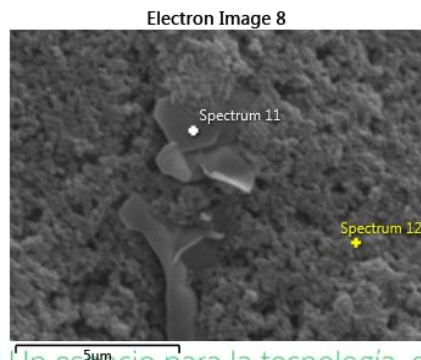
# IV. RESULTADOS DE LA PIRÓLISIS Y EVALUACIÓN DEL rCB A NIVEL DE LABORATORIO

## 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	

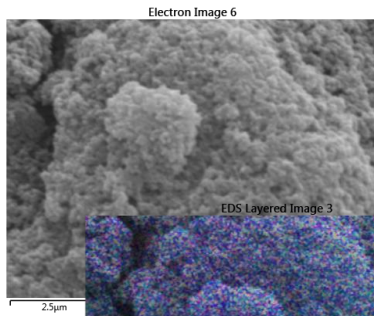


JORNADAS RECICLAJE  
BOGOTÁ 2025

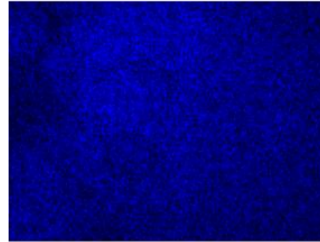
## IV. RESULTADOS DE LA PIRÓLISIS Y EVALUACIÓN DEL rCB A NIVEL DE LABORATORIO

### Caracterización de los negros de carbono SEM-EDS

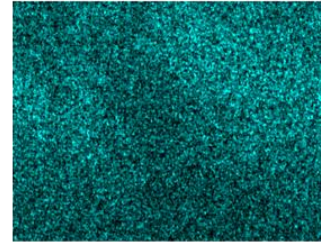
400°C



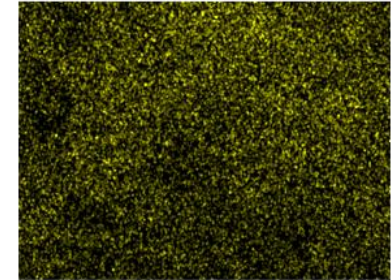
C Kα1\_2



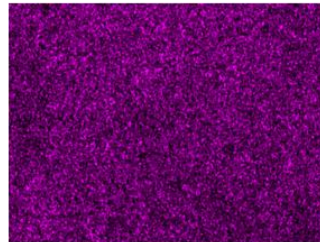
Si Kα1



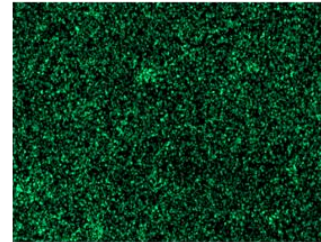
O Kα1



S Kα1



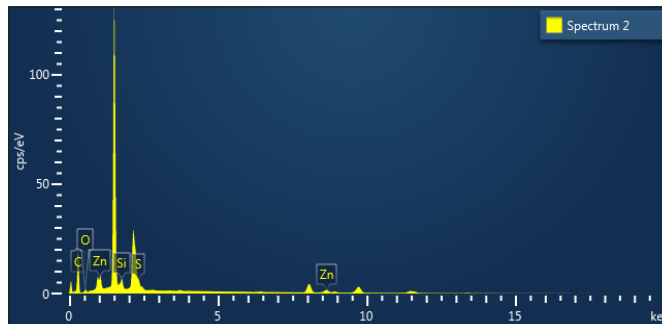
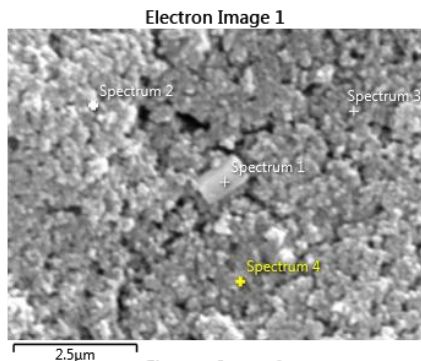
Zn Kα1



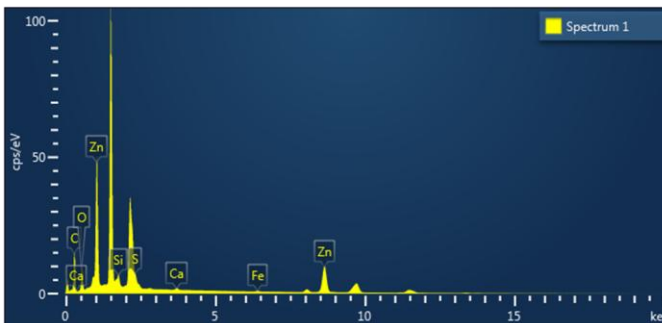
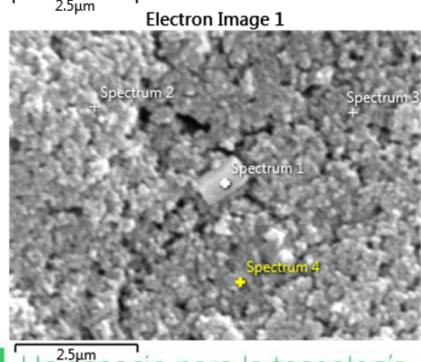
# IV. RESULTADOS DE LA PIRÓLISIS Y EVALUACIÓN DEL rCB A NIVEL DE LABORATORIO

## 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	



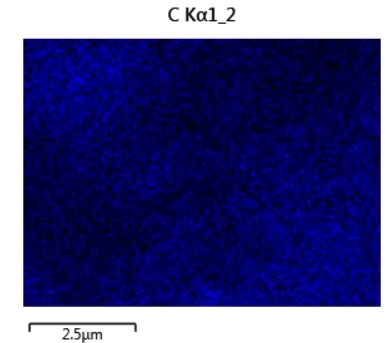
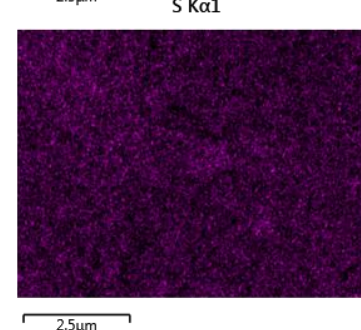
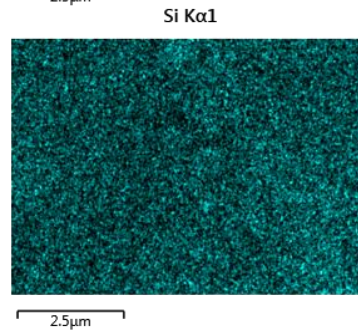
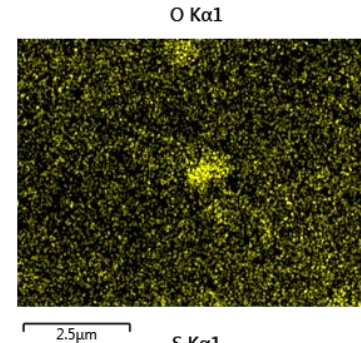
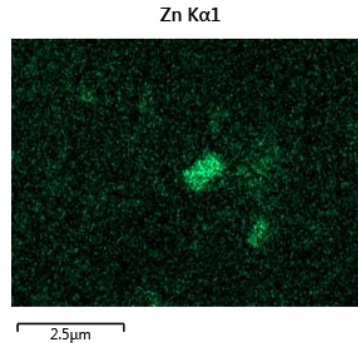
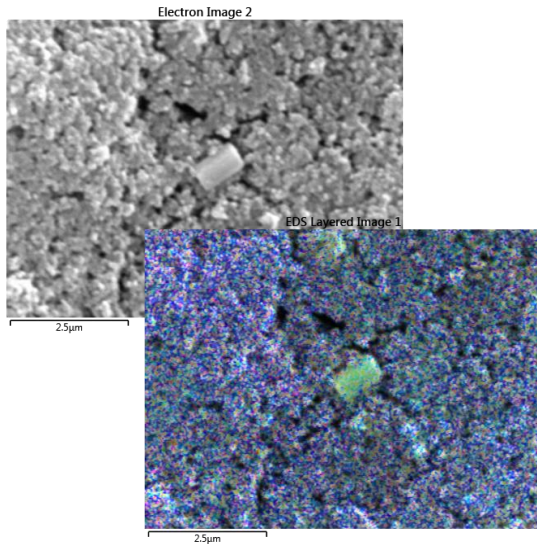
Element	Wt%	Wt% Sigma
C	60.40	0.27
O	22.37	0.23
Si	0.89	0.01
S	0.94	0.02
Ca	0.15	0.01
Fe	0.16	0.01
Zn	15.08	0.11
Total:	100.00	



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

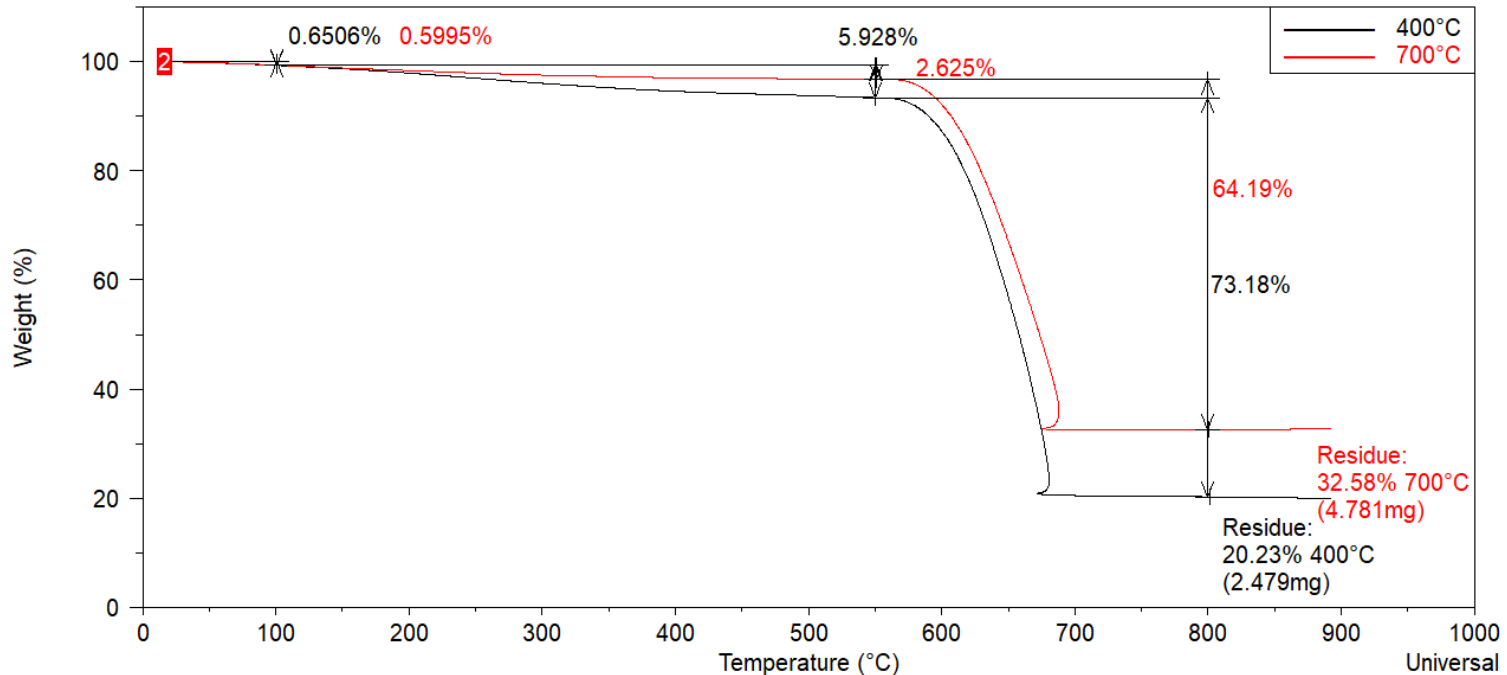
### Caracterización de los negros de carbono SEM-EDS

700°C



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

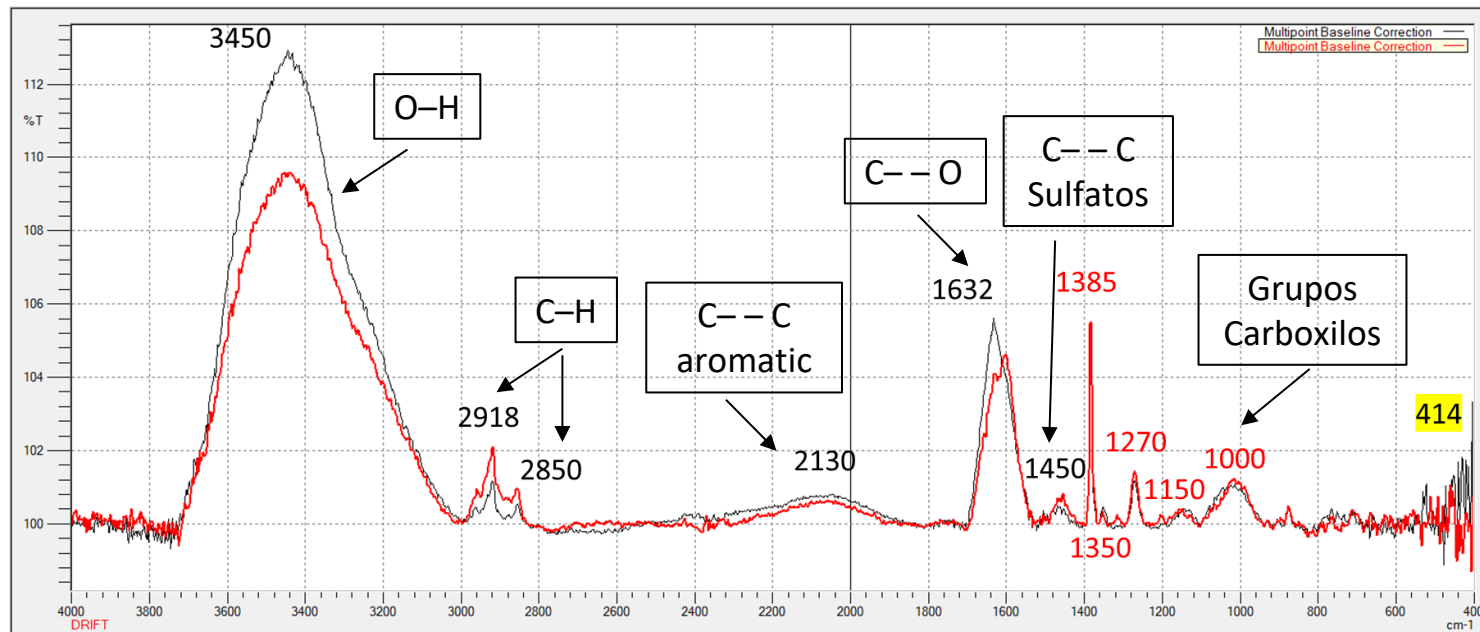
### Caracterización de los negros de carbono TGA



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

Caracterización de los negros de carbono – FTIR

400°C - 700°C

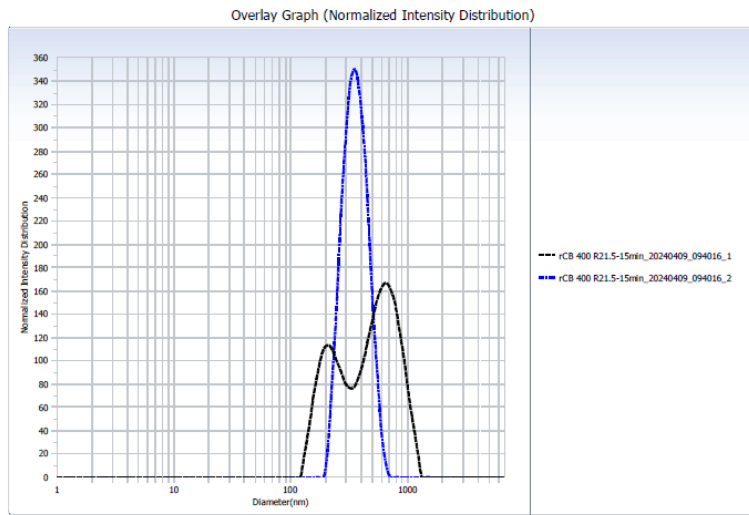




# IV. RESULTADOS DE LA PIRÓLISIS Y EVALUACIÓN DEL rCB A NIVEL DE LABORATORIO

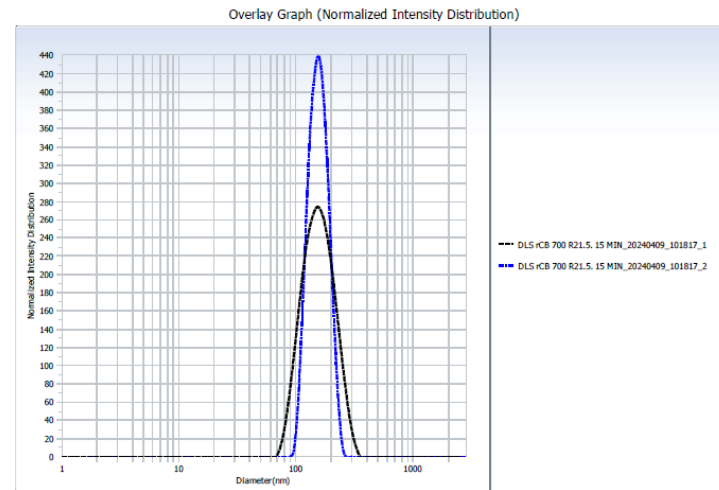
## Caracterización de los negros de carbono DLS

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



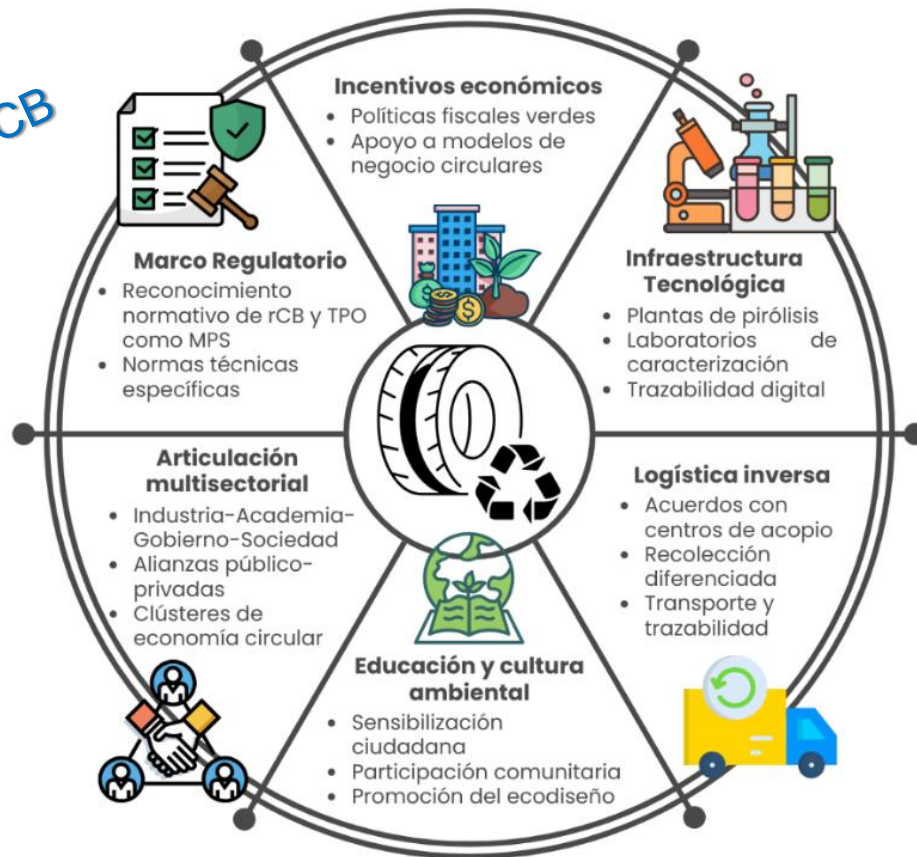
No	Data	Repet. No	pH	Ave.Diameter(nm)	PD	Mean.(nm)	D (10%) (nm)	D (50%) (nm)	D (90%) (nm)
1	DLS rCB 700 R21.5. 15 MIN_20240409_101817_1	1	NA	157.5	0.202	161.5	98.7	147.9	222.8
2	DLS rCB 700 R21.5. 15 MIN_20240409_101817_2	2	NA	165.4	0.212	157.7	115.4	148.6	192.4
Average :				161.4	0.207	159.6	107.0	148.3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