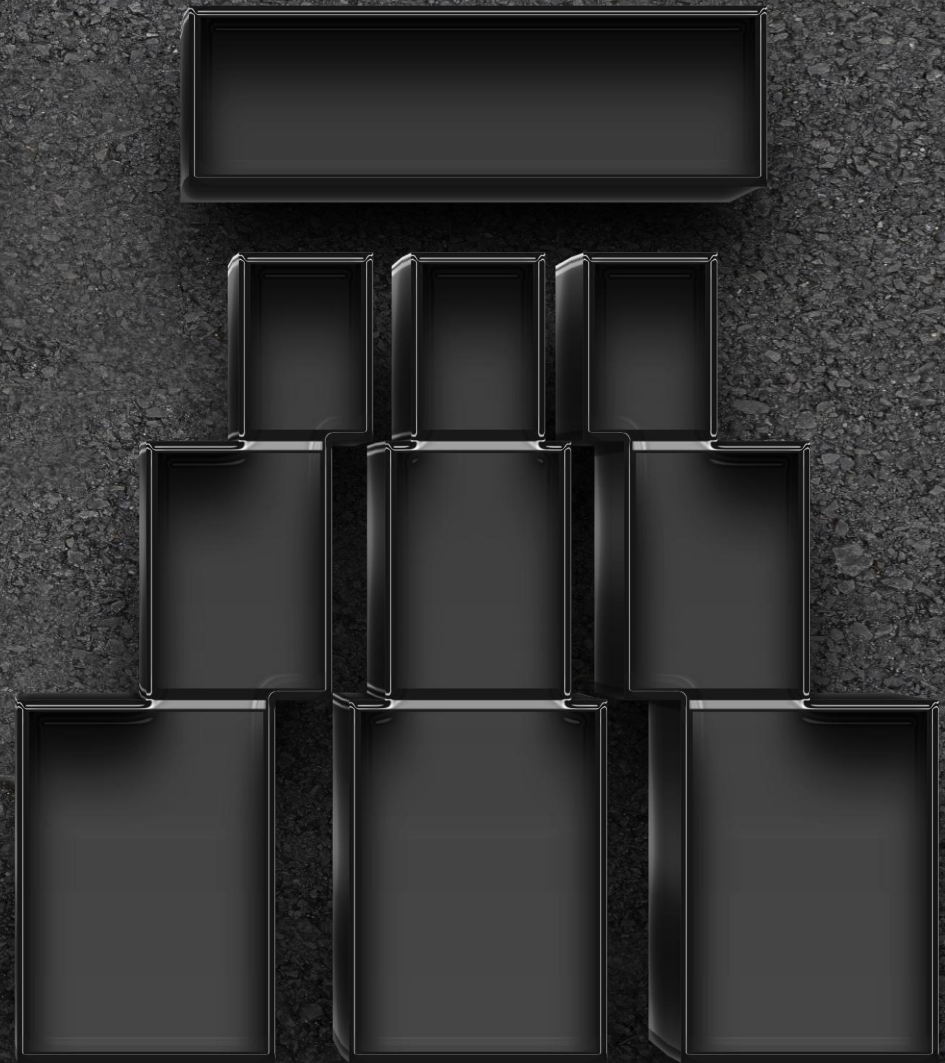




XIII Congreso Mexicano del Asfalto. 20, 21y 22 de agosto de 2025, Cancún, Quintana Roo, México



**Tema: DESEMPEÑO DE LOS RCD FRENTE A
ENSAYOS MECÁNICOS: UN ENFOQUE
COMPARATIVO CON AGREGADOS
NATURALES**



LUIS ANGEL MORENO ANSELM

22 de agosto 2025

DESEMPEÑO DE LOS RCD FRENTE A ENSAYOS MECÁNICOS: UN ENFOQUE COMPARATIVO CON AGREGADOS NATURALES

LUIS ANGEL MORENO ANSELM



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

CONTENIDOS



01

INTRODUCCIÓN.

02

OBJETIVOS

03

METODOLOGÍA.

04

RESULTADOS.

05

CONCLUSIONES.



INTRODUCCIÓN.

Residuos de Construcción e Demolición (RC&D)



INTRODUCCIÓN.

Composición de los residuos de construcción



Asociación Mexicana
del Asfalto, A.C.

@AMAACmx

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



INTRODUCCIÓN.

Composición Química

Óxido de calcio (CaO)
Rocas calizas

Dióxido de silicio (SiO_2)
Cemento

Óxido de aluminio (Al_2O_3)
Arcillas

Óxido férrico, de fórmula (Fe_2O_3)
Cerámicos e vidrios

Óxido de potasio (K_2O)
Cementos - reactivo

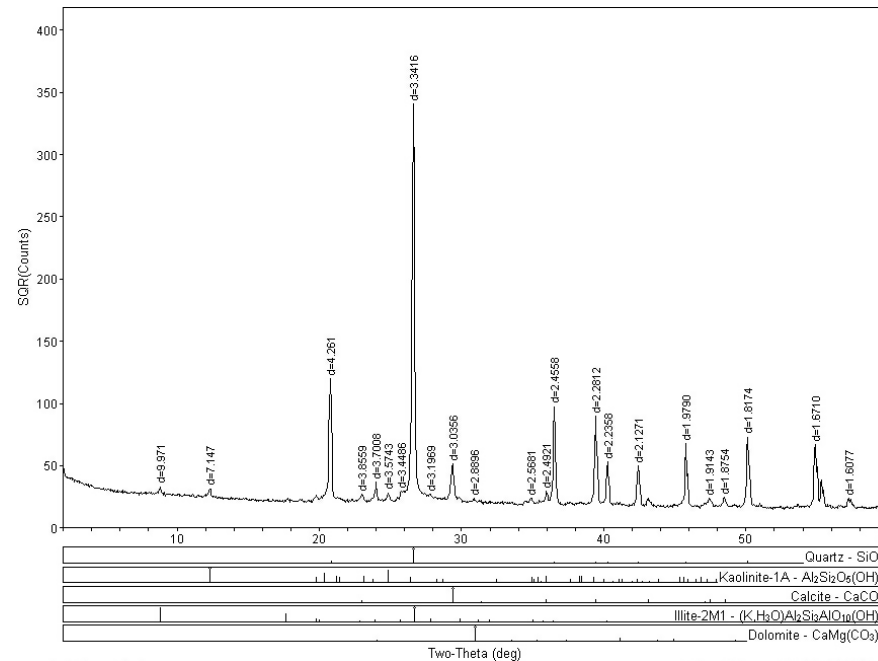
Óxido de sodio (Na_2O)
Cerámica y vidrios “Soda caustica”

Óxido de titanio (TiO_2)
Pinturas

Óxido de azufre (SO_3)
Contaminante

Óxido de fósforo (P_2O_5)
Elemento corrosivo

Óxido de bario (BaO)
Tubos de rayos catódicos



Cloro (Cl)



Asociación Mexicana
del Asfalto, A.C.

@AMAACmx

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



INTRODUCCIÓN.

Usos



INTRODUCCIÓN.

REGLAMENTACIÓN

ESPECIFICACIONES EN CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS

PAÍS	NORMA
Brasil	NBR 15115
Brasil	NBR 15116
Alemania	TLGESTEIN- STB
Austrália	DPTI
Bélgica	PTV 406
España	GEAR
Estados Unidos	MDOT
Estados Unidos	TxDOT

COLOMBIA

Decreto 2981, 20 de diciembre de
2013

Decreto 1076, Colombia, 26 de
mayo de 2015

Resolución 0472, Colombia, 28 de
febrero de 2017

ESPECIFICACIONES EN DISEÑOS DE CONCRETOS

PAÍS	NORMA
Brasil	NBR 15116
Alemanha	DIN 4226-100
Bélgica	EHE-08
España	GEAR
Estados Unidos	MDOT
Estados Unidos	FDOT
Holanda	NEN 5905
Inglaterra	UKBS 8500-2
Suiza	OT 70085
Francia	TC 121-DRG

INTRODUCCIÓN.

ASFALTOS

Remplazo de material grueso 2005, 2006, 2007, 2010, 2012, 2013

Remojo de material t tratamiento térmico 2018

Ácido Acético, ácido clorhídrico, ácido sulfúrico, 2019

Tratamientos térmicos, 2019

Caucho reciclado, 2017

CONCRETOS

Ácido Acético, ácido clorhídrico, ácido sulfúrico, sulfatos y lavado con agua 2007-2013-2015-2016 -2019

Desgaste en la maquina de los ángeles 2019

Tratamientos térmicos 2016

Metasilicato de calcio 2013, 2016, 2019

Curado de dióxido de carbono 2014

Desgaste en trompo mezclador, ceniza volante y sílice 2018

Polímeros a base de silicio 2010 2013

Repelentes de agua 2013

Bacterias 2014, 2018

Superplastificantes 2013

Nano materiales 2016

Aceite y emulsion asfáltica 2019

Gel de sílice 2017

Escoria de alto horno en polvo y sílice 2014

Carbonatación 2020

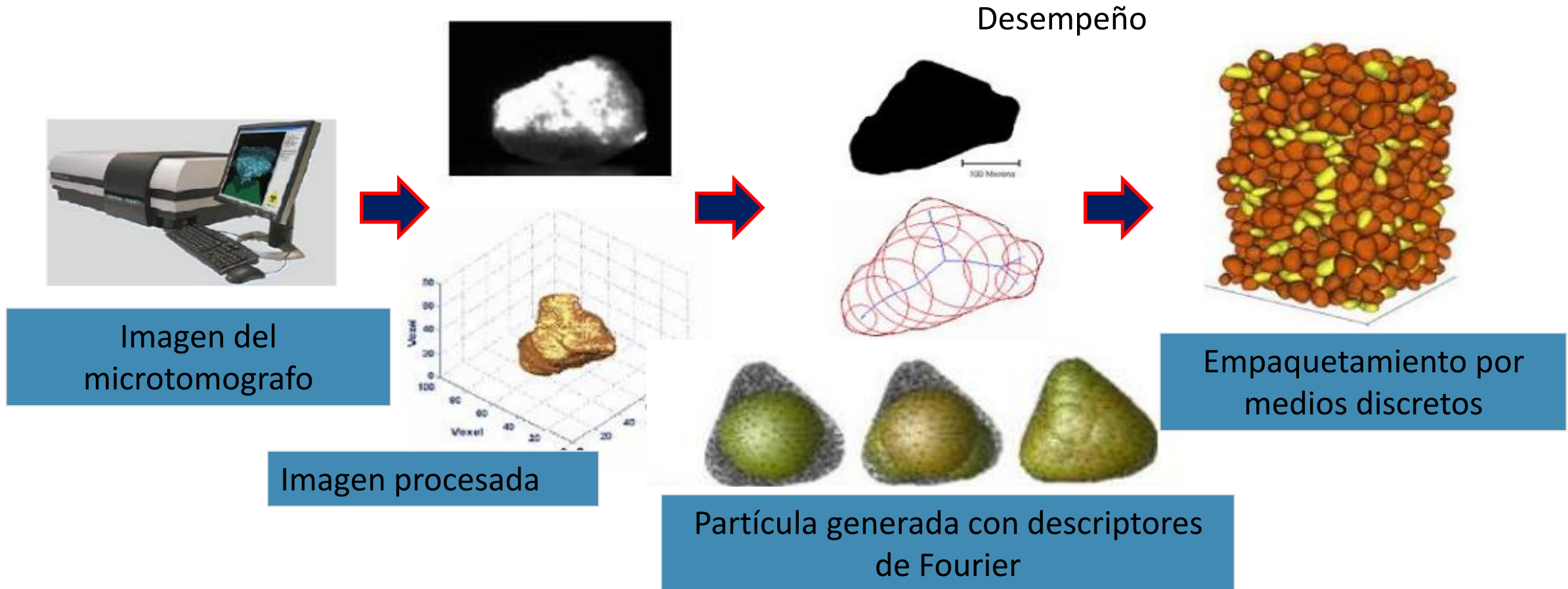
Cemento 2012

Asfalto y cal 2018

Curado con dióxido de carbono 2014

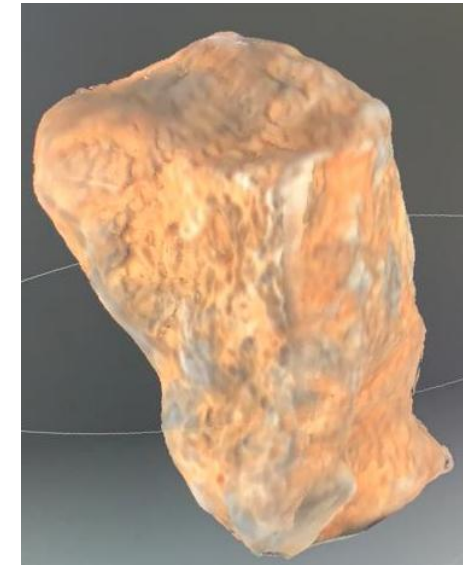
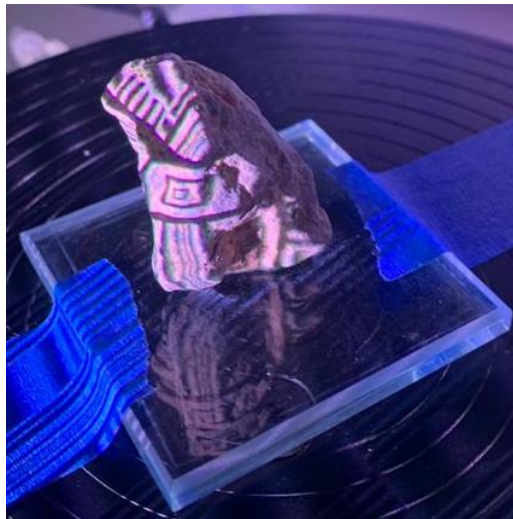
INTRODUCCIÓN.

Microtomografía para obtener imágenes de partículas individuales 3D y todo el empaquetamiento.

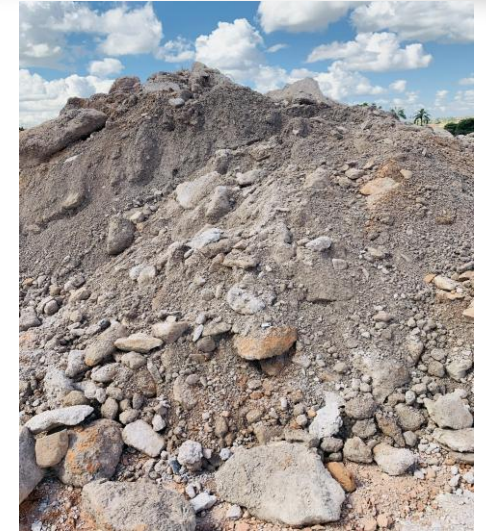


OBJETIVO.

Evaluar comparativamente la degradación física de agregados reciclados provenientes de residuos de construcción y demolición (RCD) y de agregados naturales, mediante la aplicación combinada de ensayos mecánicos convencionales (desgaste Los Ángeles, pérdida por lavado y 10% de finos) y técnicas avanzadas de caracterización morfológica tridimensional, con el fin de determinar su viabilidad técnica en aplicaciones viales y establecer criterios de aceptación que contribuyan a una gestión sostenible de materiales en la ingeniería civil.



METODOLOGÍA



Unidad de disposición de residuos (URE) DF



Trituradora São Sebastian



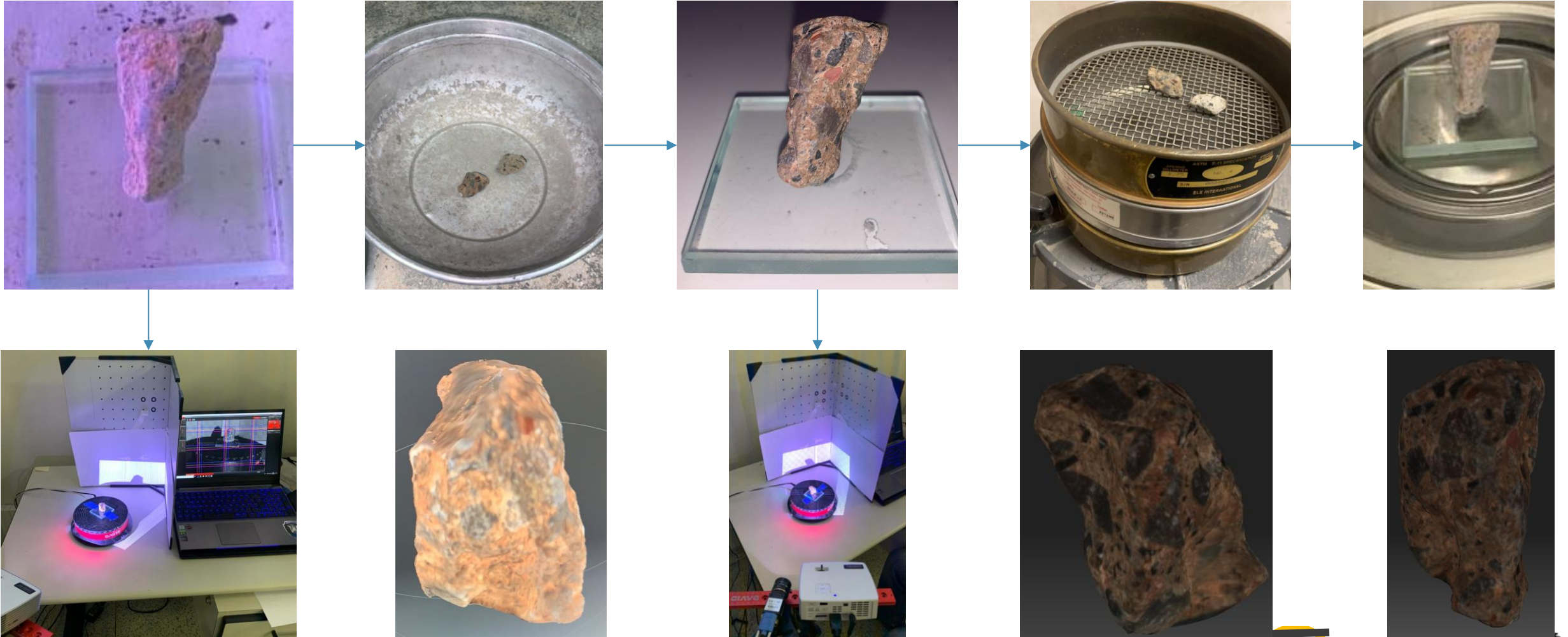
Trituradora Bela vista

METODOLOGÍA

Evaluar



METODOLOGÍA



METODOLOGÍA



**Captura
de imagen**

**Processamento de
Imagens**

**Calculo de
parametros**

**Repositorio virtual de partículas
- Técnicas estocásticas-**

**Equipo de captura de
imagen:**

- Microscopio
- AIMS
- MicroTrac
- MicroTrac 3D
- 3D Scanner
- 3D HD Scanner
- Tomógrafo
- Micro tomógrafo

1. Procesamiento de imágenes:

- Noise Elimination
- Binarization
- Segmentation
- Otras técnicas

**2. Extracción de los datos de las
partículas:**

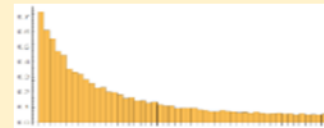
- Obtención de los cortes y contornos 2D
- Obtención de los bordes y contornos ortogonales

3. Obtaining meshes:

- Mallas de superficie
- Points Cloud
- Radio vectores y componentes

1. Obtención de:

- Descriptores de Fourier



- Descriptores armónicos esféricos
- Fractales
- Radio vectores y componentes

**2. Caracterización estática de los
parámetros. Descriptores estadísticos**

**3. Delimitación de la función de
distribución estática que describe los
parámetros.**

**1. Modelo estocástico virtual de
la partícula:**

- Métodos de descriptores de Fourier
- Random Fields and Fourier Descriptors Methods
- Spherical Harmonics and Rotation Invariants Method
- Metodo de descriptores fractales
- Radius Vectors and Components Method

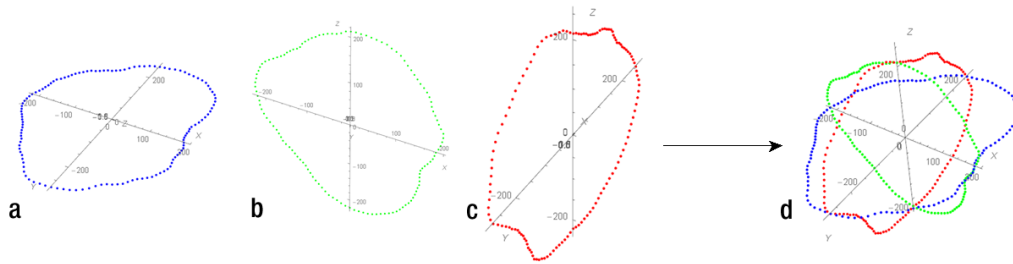
**2. Caracterización de la
morfología de las partículas
2D and 3D.**



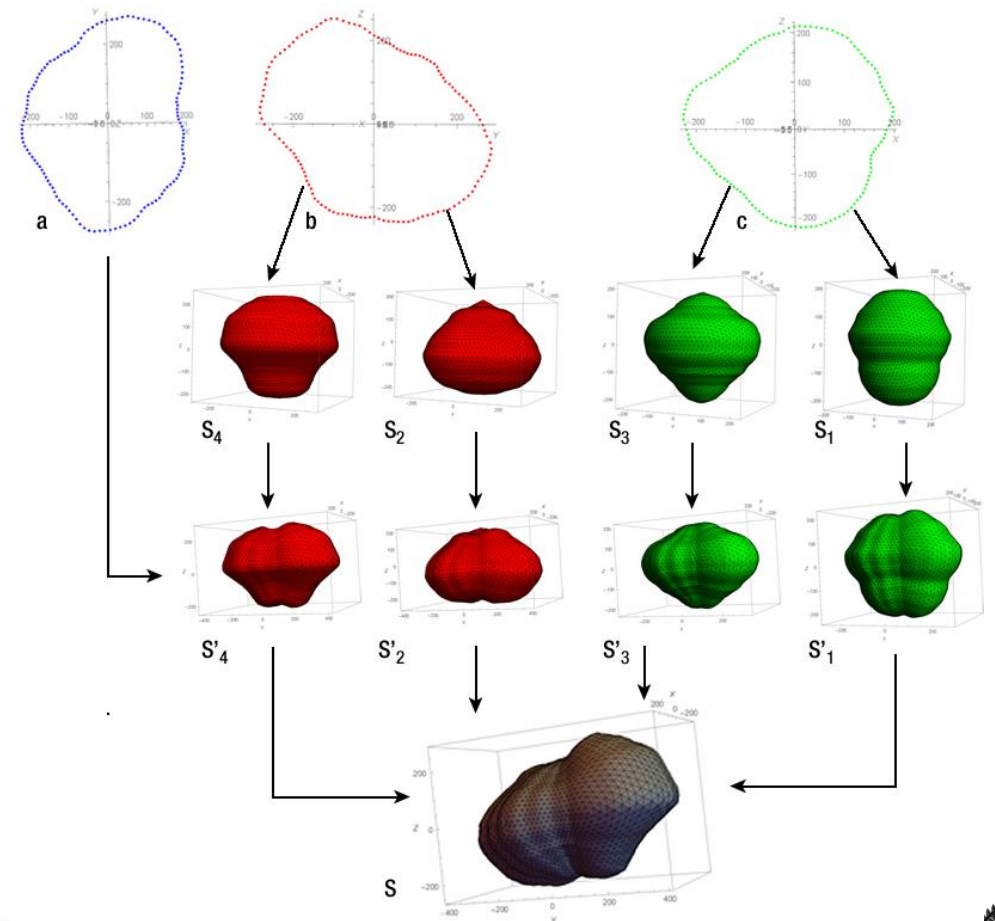
METODOLOGÍA

Descriptores de Fourier 3D

Reconstrucción de las partículas 3D



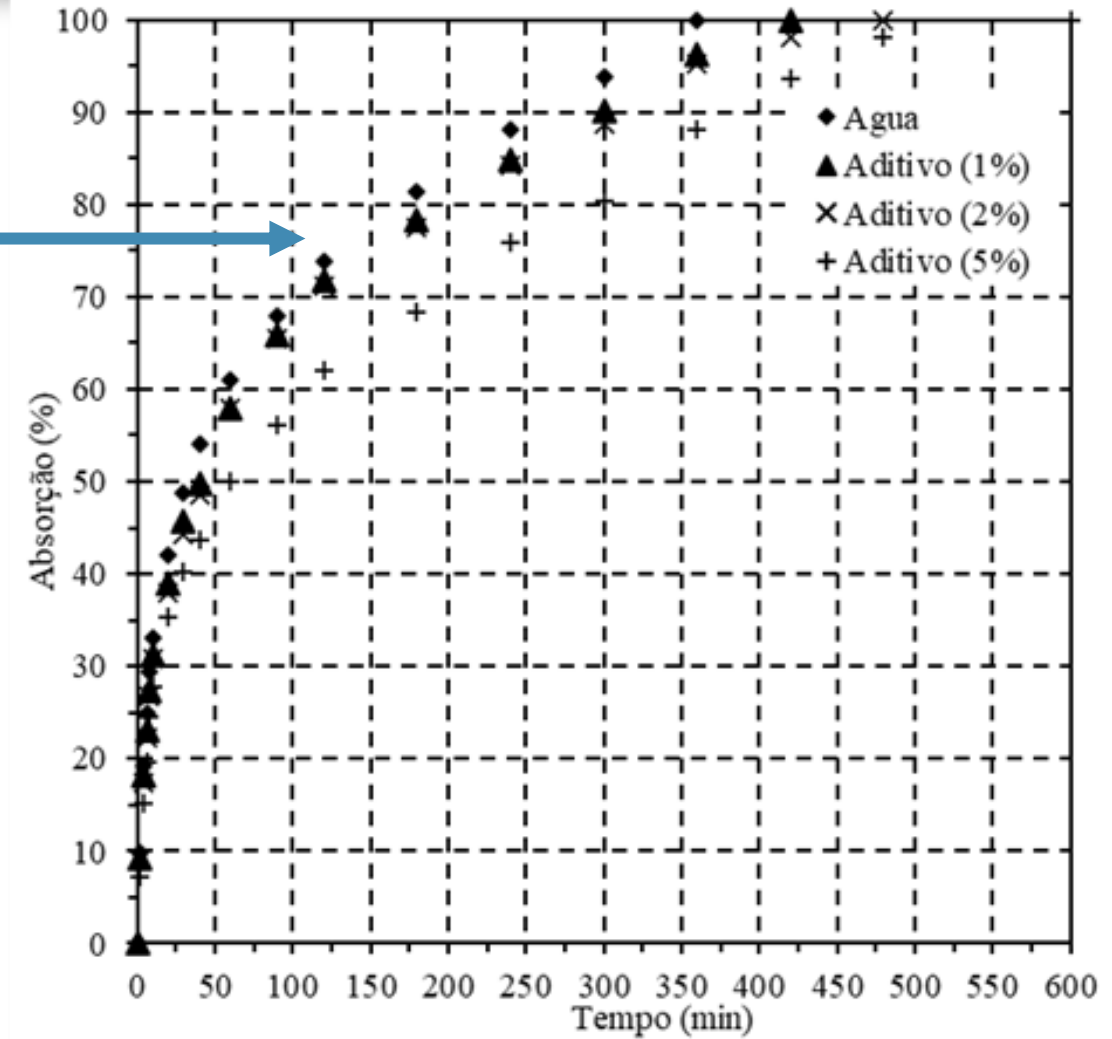
Ejemplos de reconstrucción



METODOLOGÍA

Evaluar

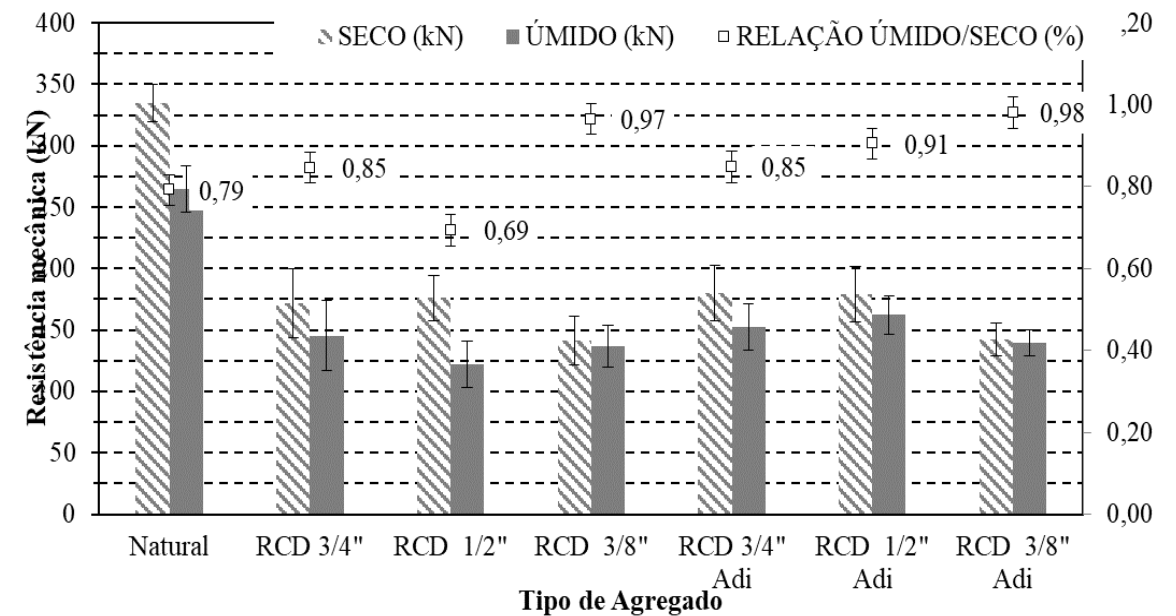
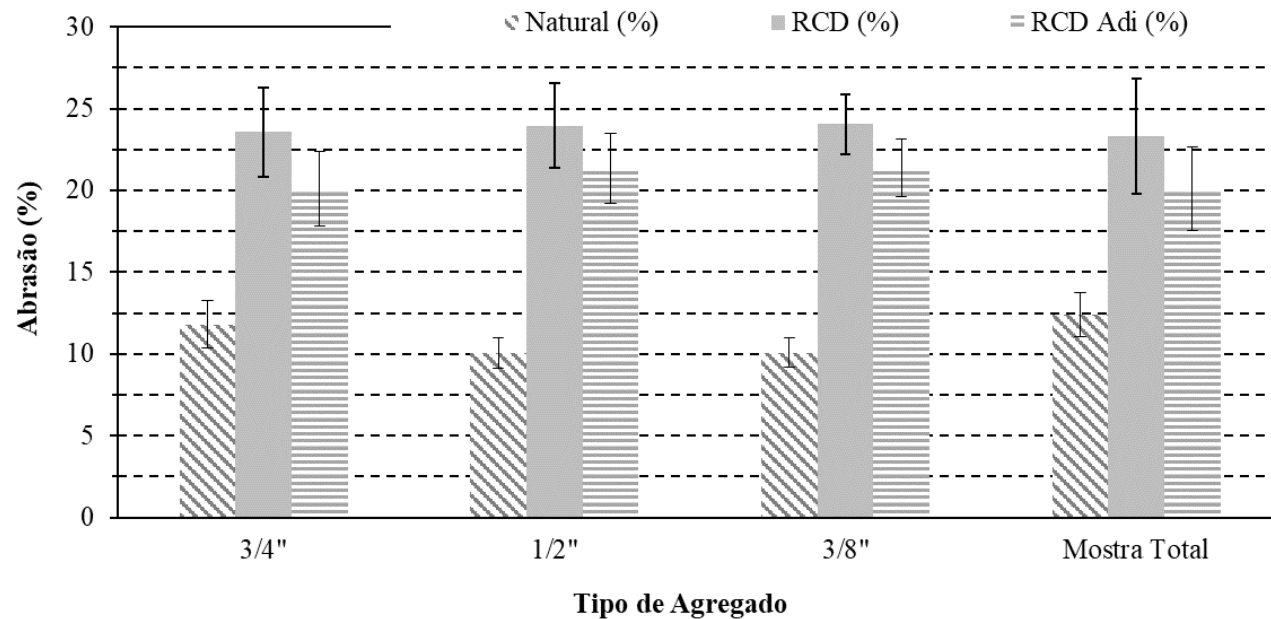
Adsorción
vs tiempo



Proceso de incorporación

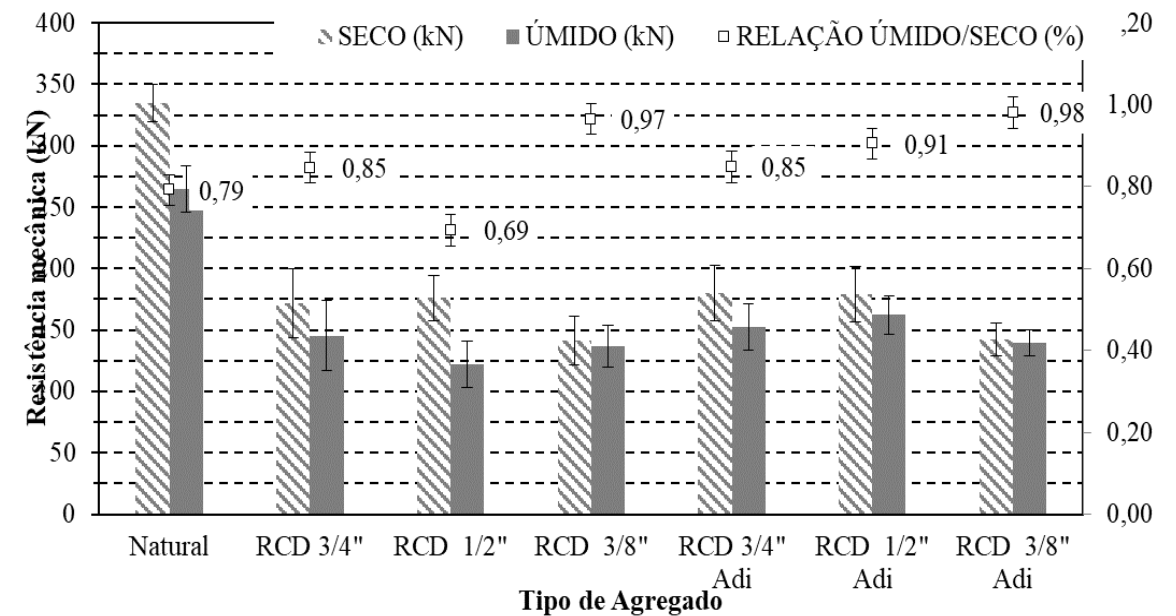
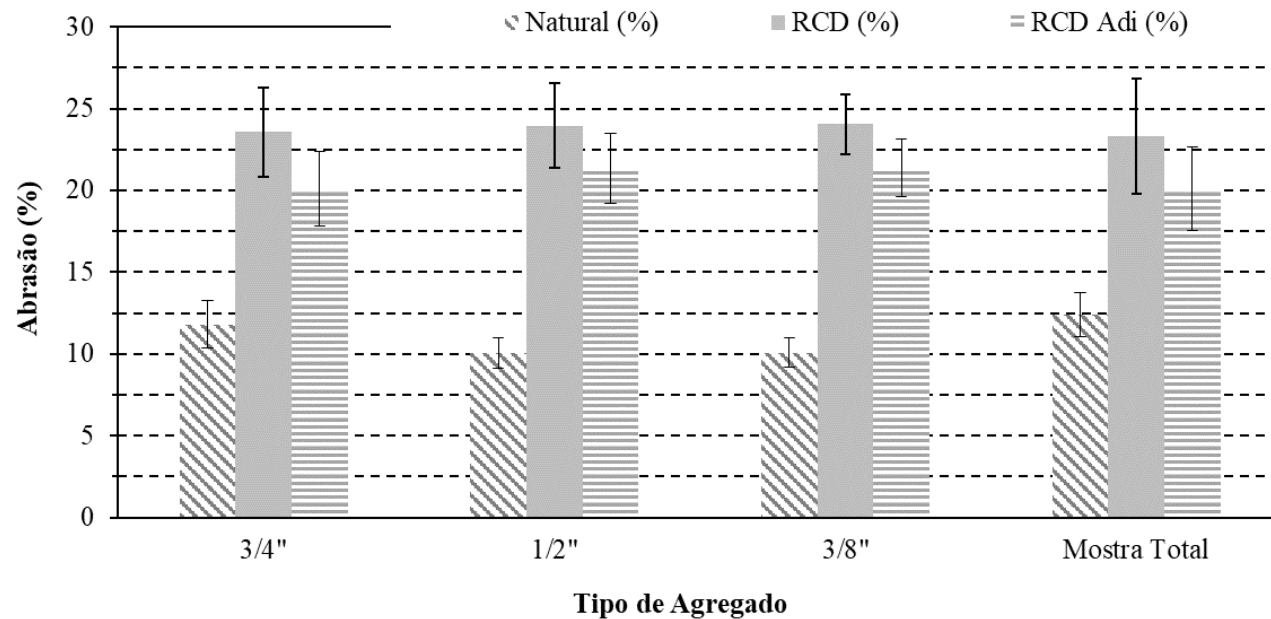
RESULTADOS.

Resultados de pérdida de masa en los ensayos convencionales



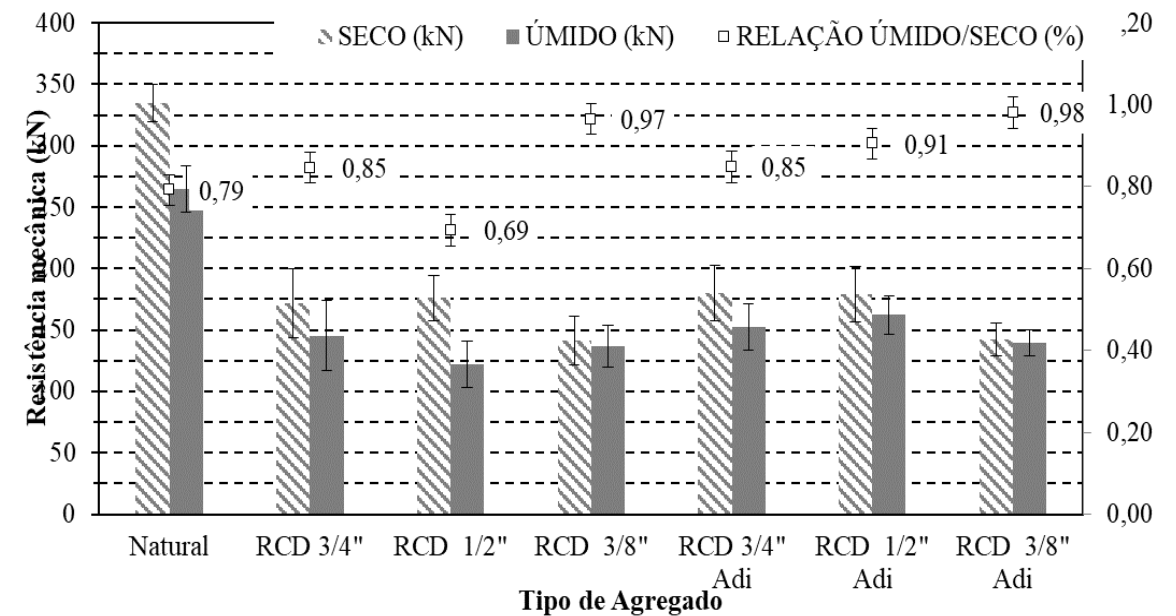
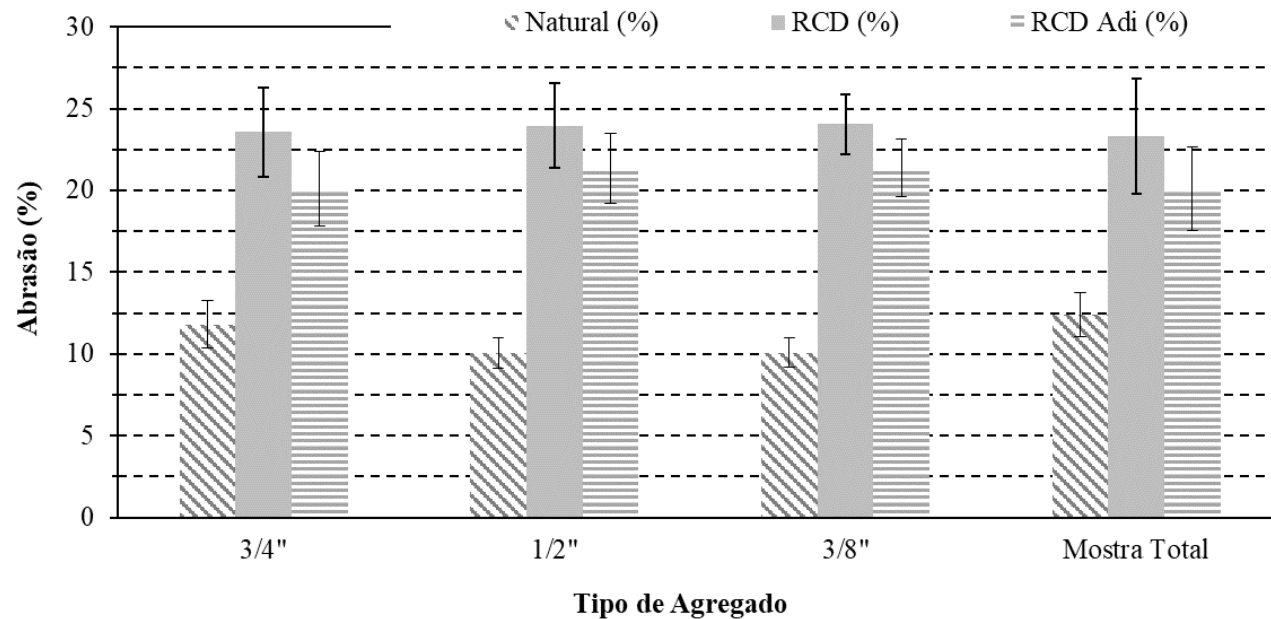
RESULTADOS.

Resultados de pérdida de masa en los ensayos convencionales



RESULTADOS.

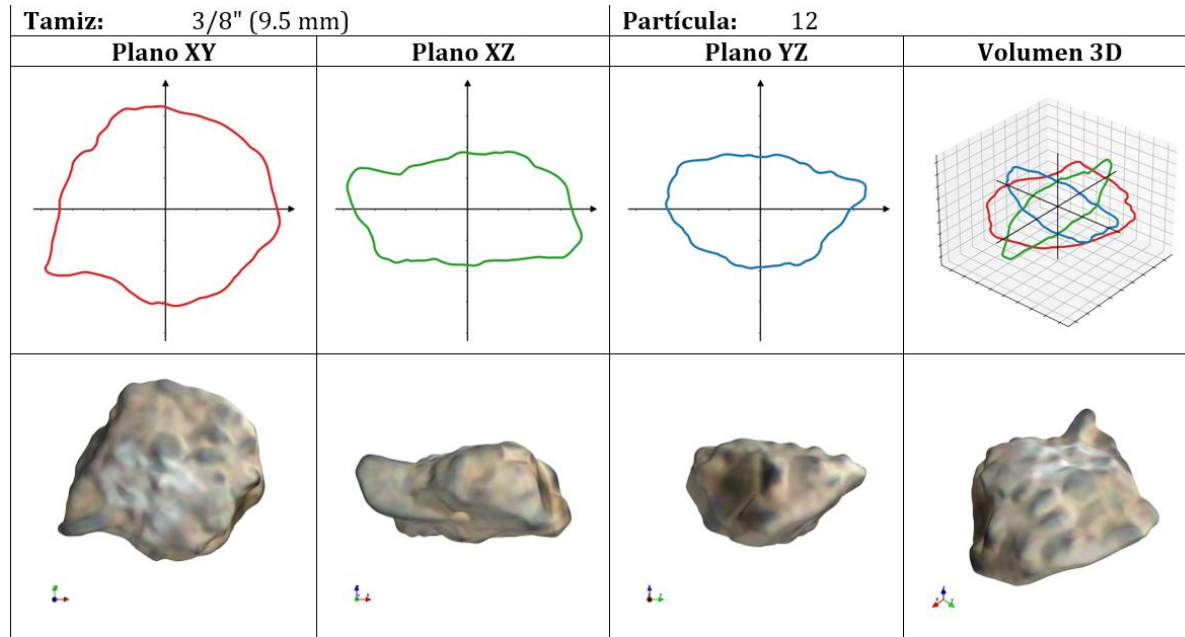
Resultados de pérdida de masa en los ensayos convencionales



RESULTADOS.

Morfología das partículas

Catálogo de partículas.



Características de la partícula			
Área de superficie: 651.8052		Volumen: 1098.9987	
Dimensión mayor (dl): 18.92 mm		Dimensión intermedia (di): 16.12 mm	Dimensión menor (ds): 9.2 mm
Achatamiento (F): 0.57	Alargamiento (E): 0.852	Relación F&E: 2.058	Esfericidad: 0.745
Diámetro equivalente (dv): 12.804 mm		Diámetro equivalente (ds): 35.283 mm	Diámetro equivalente (dsv): 10.117 mm
Centro de masa: [-1.643 12.479 500.556]		Momentos de inercia: [16252.7 22161.0 30092.4]	Vectores de inercia: [0.149 -0.649 0.746] [0.984 0.172 -0.046] [0.099 -0.741 -0.664]
Ejes principales: [22106.8 -7.9 -1175.9] [-7.9 24031.4 6764.0] [-1175.9 6764.0 22367.9]			



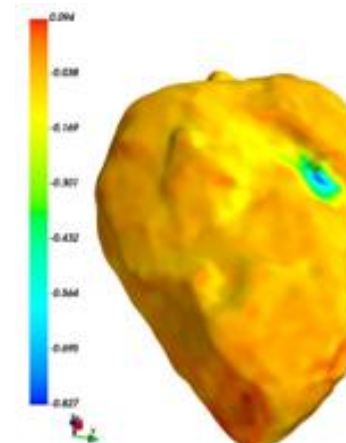
a) Sem lavar



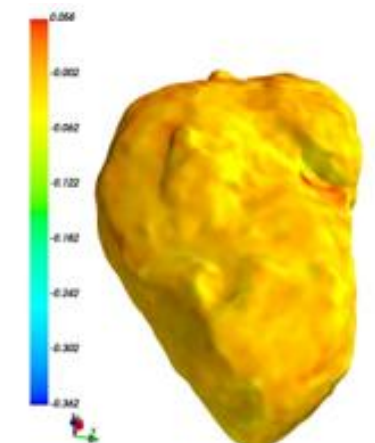
b) Lavada



c) Peneirada



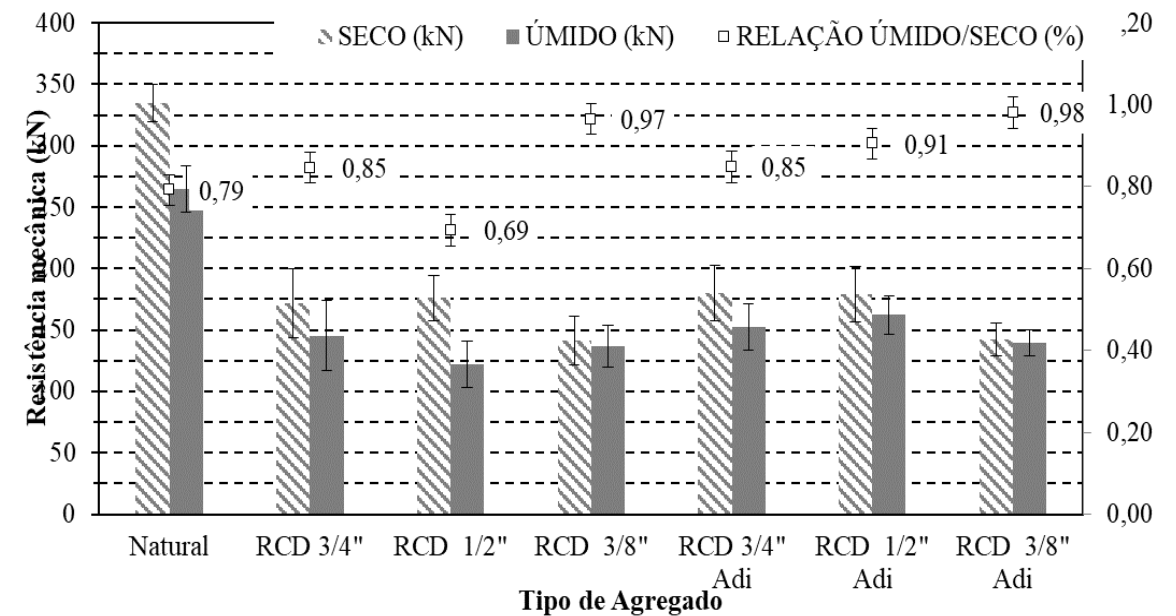
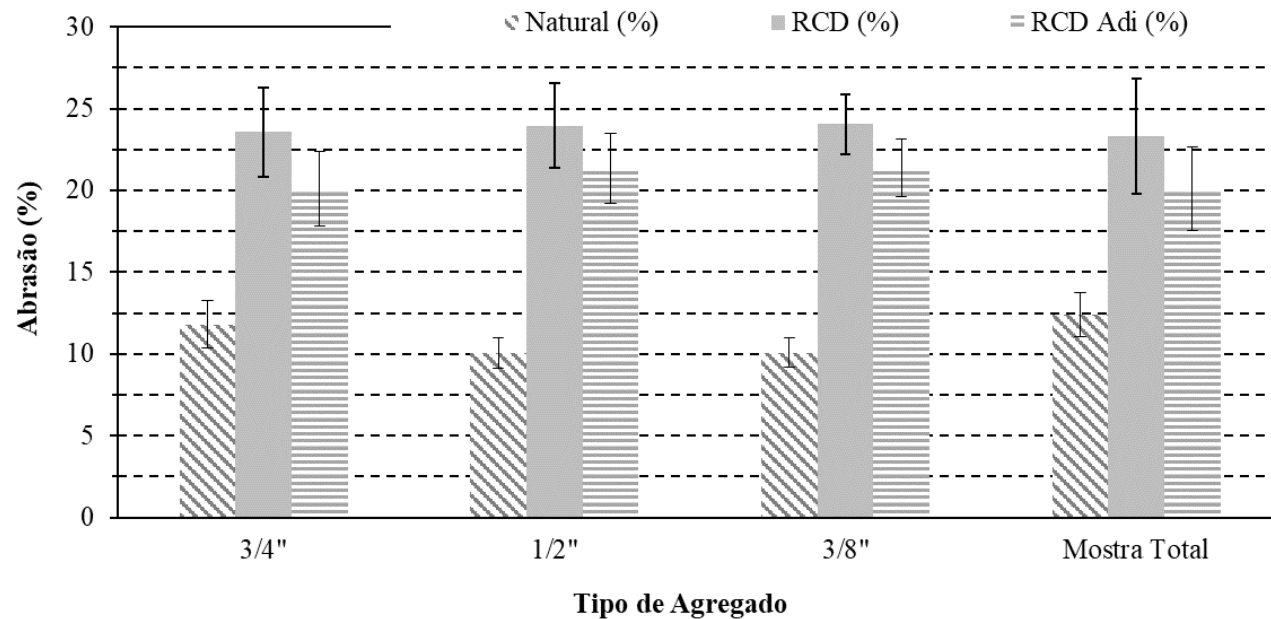
a) Variação de Sem Lavagem para Lavada



b) Variação de Lavada para Peneirada

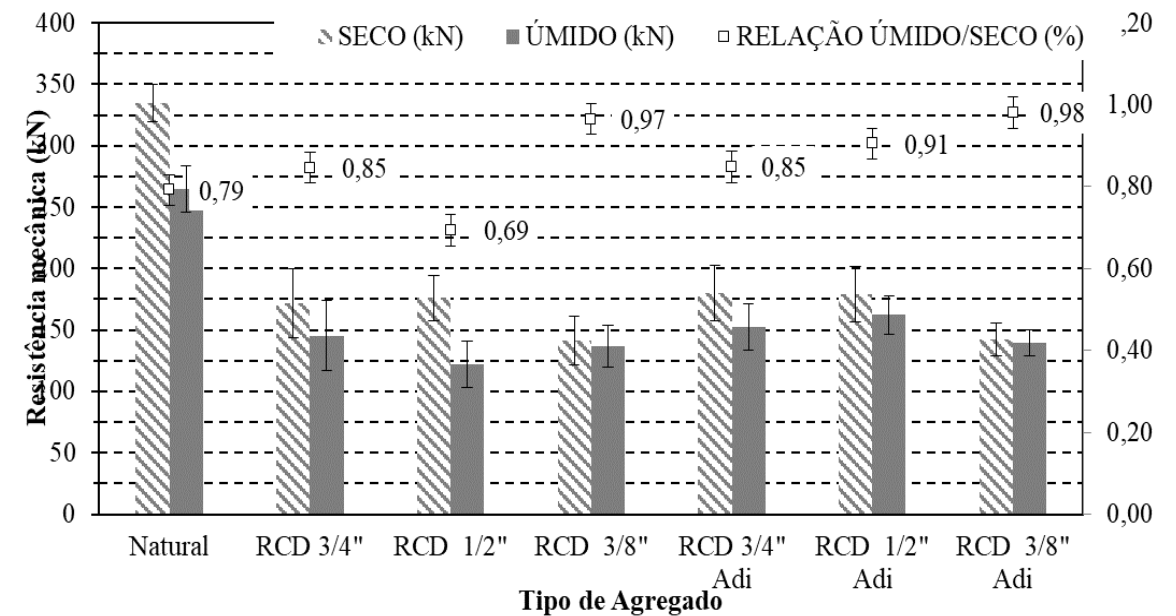
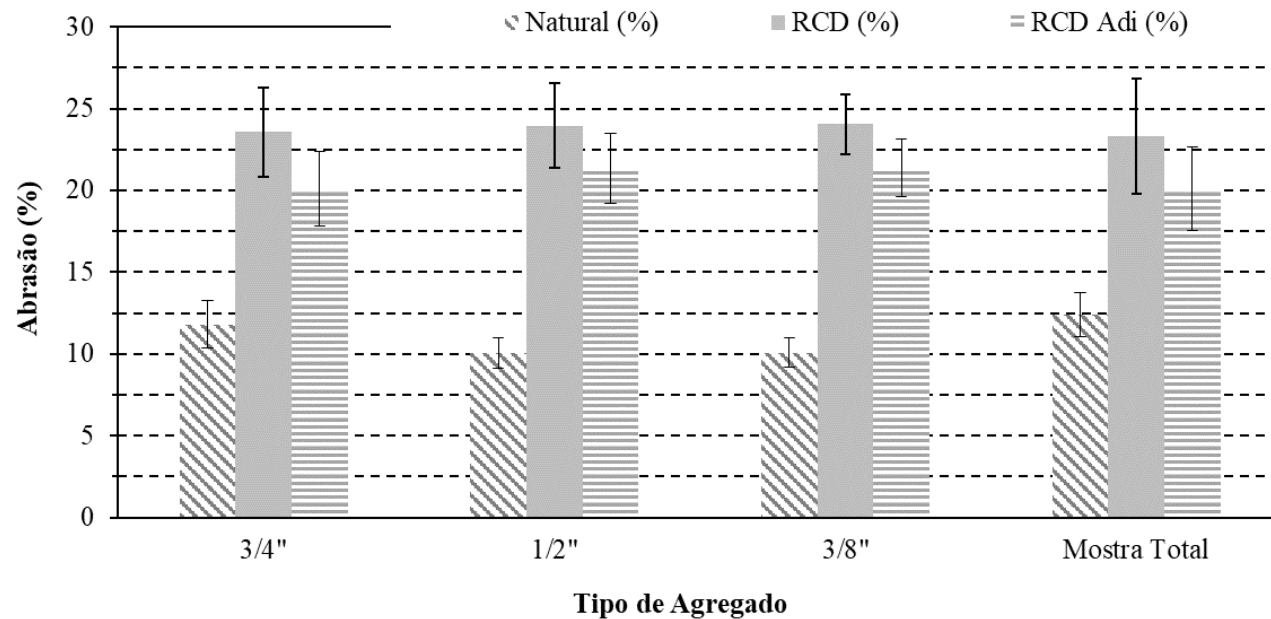
RESULTADOS.

Resultados de pérdida de masa en los ensayos convencionales



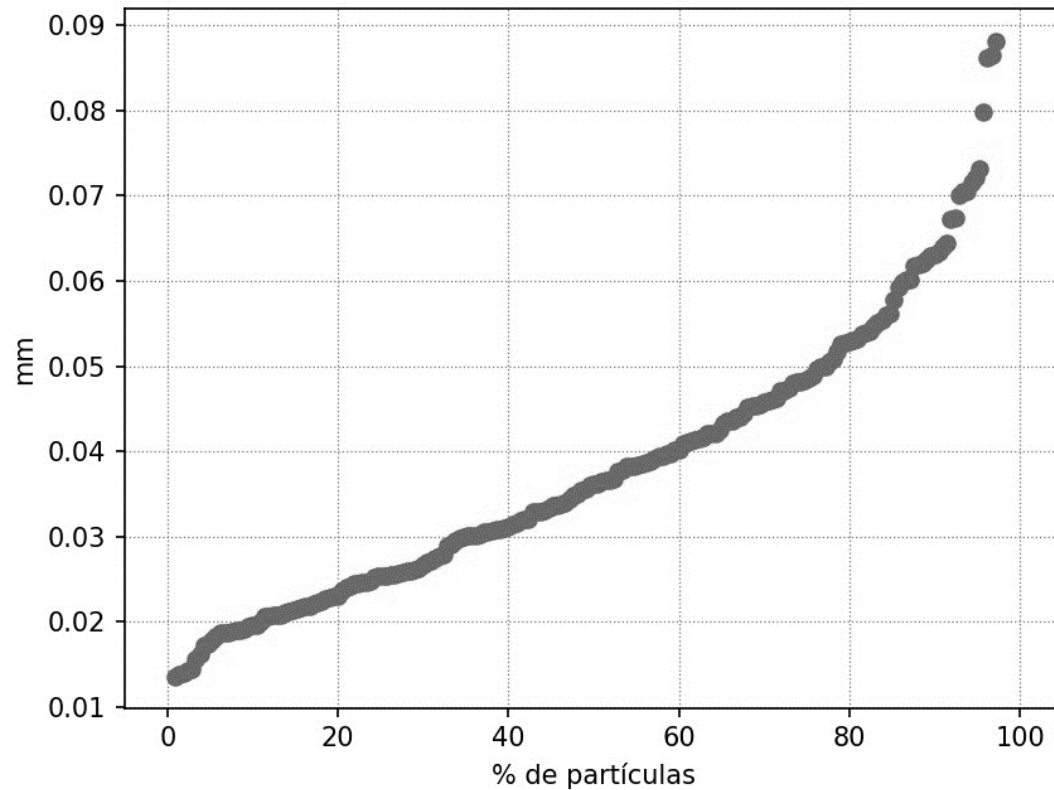
RESULTADOS.

Resultados de pérdida de masa en los ensayos convencionales

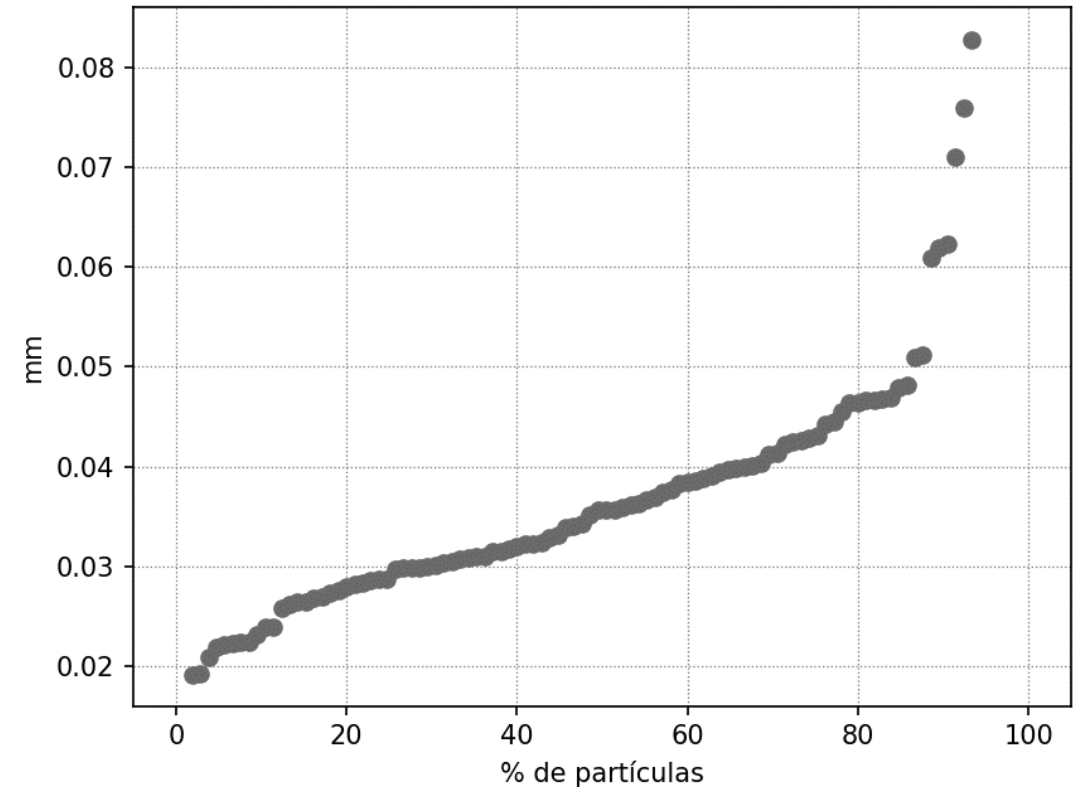


RESULTADOS.

Resultados de pérdida de masa en los ensayos convencionales



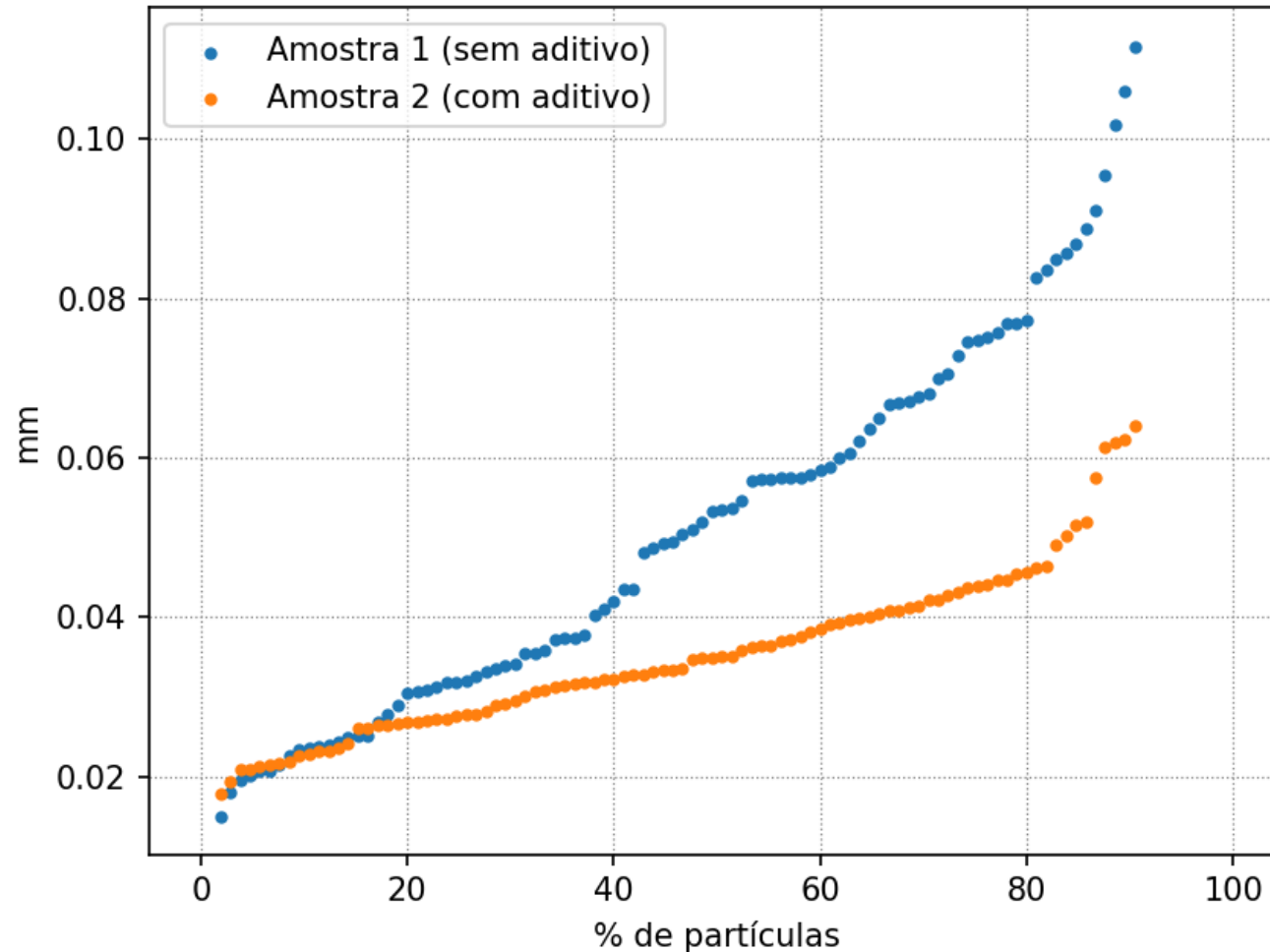
Perdida média de espesor del processo de lavado



Aumento de espesor por el aditivo

RESULTADOS.

Resultados de pérdida de masa en los ensayos convencionales



CONCLUSIONES

- Mayor susceptibilidad de los RCD: Presentan más degradación por impacto, abrasión y agua que los agregados naturales, con mayores pérdidas de masa y menor resistencia mecánica.
- Influencia del tamaño de partícula: Las fracciones más finas muestran mayor desgaste, lo que exige evaluaciones segmentadas y no globales.
- Aporte del escaneo 3D: Permite identificar zonas vulnerables y cuantificar pérdidas localizadas (2,5–12%) sin ensayos destructivos.
- Base para futuros estudios: La caracterización 3D abre camino a correlaciones entre forma y resistencia bajo condiciones más severas.
- Potencial de uso controlado: Con tratamientos y clasificación adecuada, los RCD pueden emplearse en capas inferiores o subbases como parte de estrategias de economía circular.
- Metodología integral: La combinación de ensayos físicos y análisis digital mejora la toma de decisiones para su uso seguro en obras civiles.



¡muchas gracias!

Ponente: LUIS ANGEL MORENO ANSELM

Contacto: luis.moreno@unimilitar.edu.co. Agradecimiento a la Universidad Militar Nueva Granada DIS-4174 (2025).

