

ARGOS - SIKA 2025

JUNTOS
ES POSIBLE

CONSTRUYENDO CONFIANZA



NANOTUBOS DE CARBONO EN EL CONCRETO

Grupo de Investigación en Estructuras
y Materiales - GIES

Milton Mena

Yon Bolaños

Ángela Patricia Rodríguez Marín

Daniel Ramírez

Juan Manuel Lizarazo Marriaga

El tema de la escala

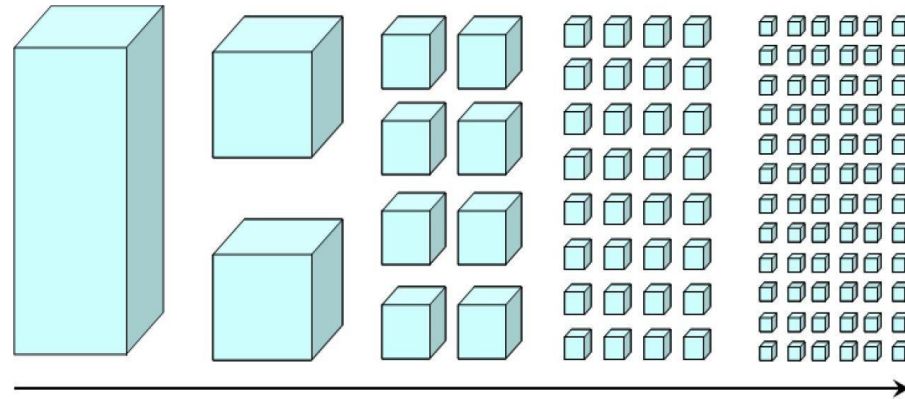


<http://www.gaiaciencia.com/2015/02/que-es-la-nanotecnologia/>

El tema de la escala

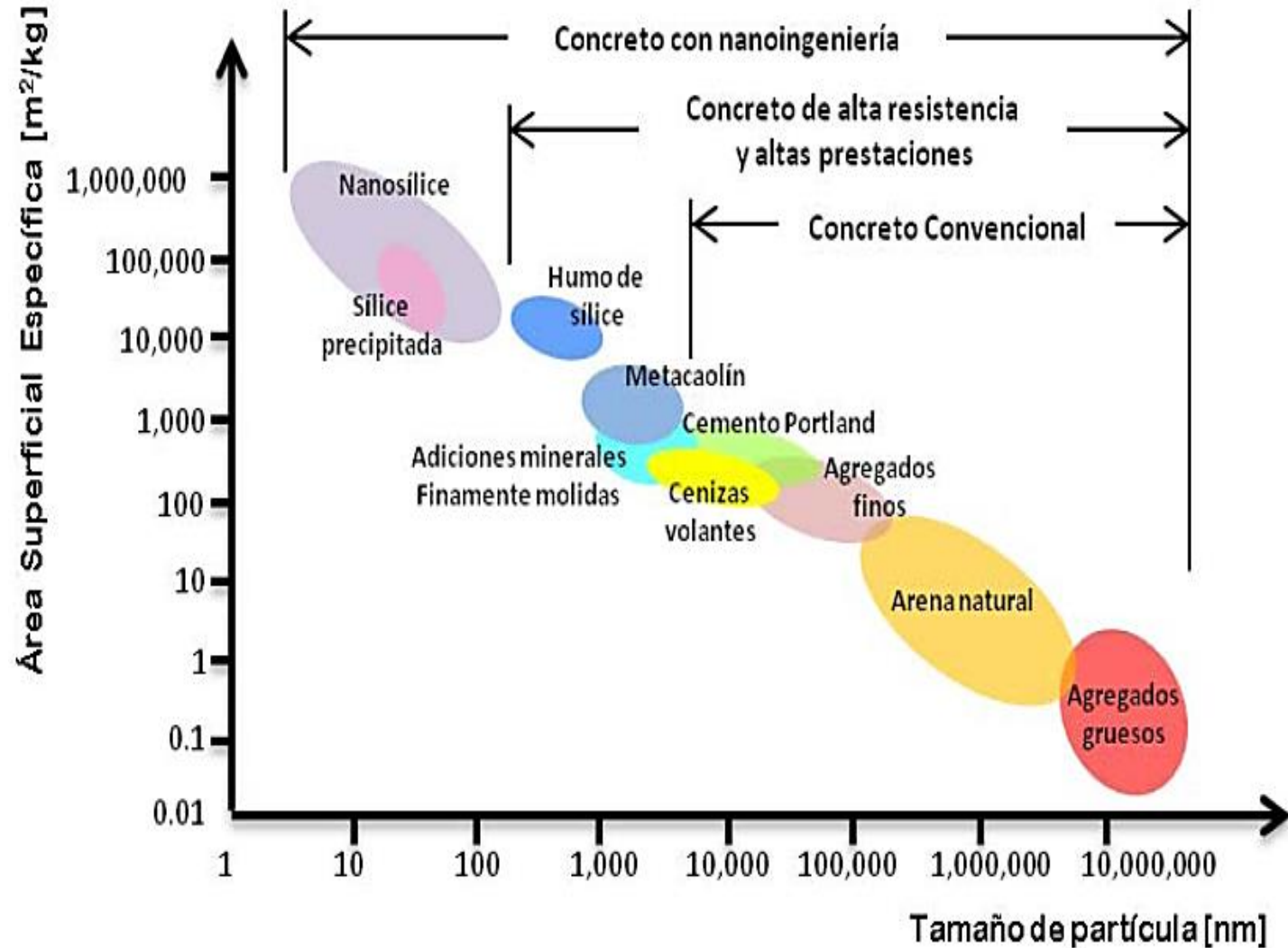
Los materiales que se encuentran en forma nanométrica tienen propiedades distintas que esos mismos compuestos cuando se presentan en forma de partículas de mayor tamaño:

- Hay una mayor reactividad química, debido a su mayor área superficial.
- Se manifiestan efectos cuánticos, electricos y de superficie cuando la materia se encuentra en forma nanométrica.



Superficie específica y nanopartículas

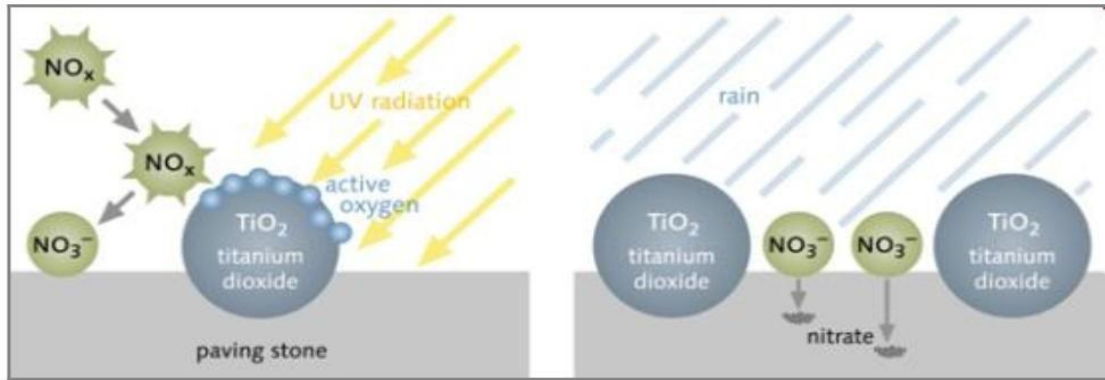
El tamaño importa?



Fuente: Tamaño de partícula y área superficial de materiales empleados para el concreto.
Nanotechnology in concrete materials, Transportation research board.

Aplicaciones de nanotecnología en la construcción

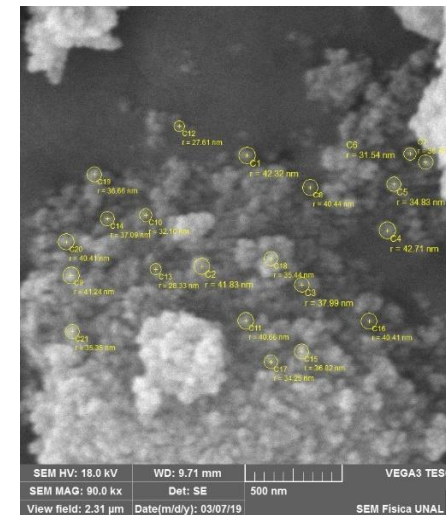
Adición de nanopartículas de **óxido de titanio** para mejorar propiedades auto-limpiantes y descontaminantes en el concreto.



2nd International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology (ICETET'2014), May 30-31, 2014 London (UK)

Adición de **nanosilice** como modificador de viscosidad (VMA) de mezclas en estado fresco

Estabilidad
Resistencia a la Segregación



Laboratorio de Concretos
Universidad Nacional de Colombia - Bogotá

Nanomateriales de Carbono

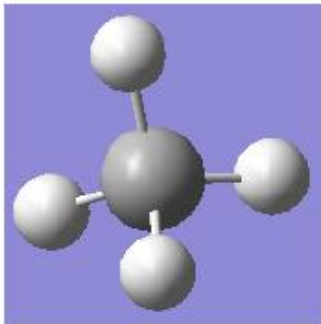
Los nanomateriales de carbono tienen numerosas aplicaciones técnicas, incluyendo:

- Micro y nanoelectrónica,
- Almacenamiento de gases,
- Producción de plásticos conductores,
- **Materiales compuestos base-cemento**
- Pantallas,
- Pinturas anti-incrustantes,
- Textiles,
- Baterías con mayor durabilidad,
- Biosensores de gases,
- Otros.....

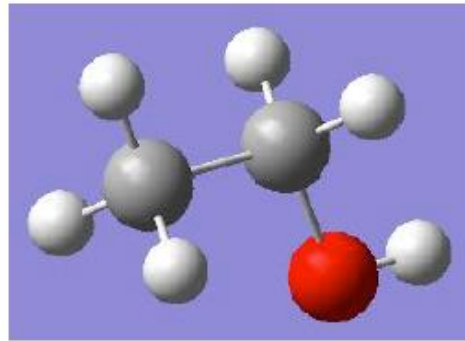
Carbono

- **Nombre:** Carbono, el cuarto elemento químico más abundante en el universo después del hidrógeno, helio y oxígeno.
- **Símbolo:** C
- **Número atómico:** 6
- **Peso atómico:** 12.0107 g
- **Estado estándar:** sólido a 298 K
- **Color:**
 - el grafito es negro; el diamante es incoloro

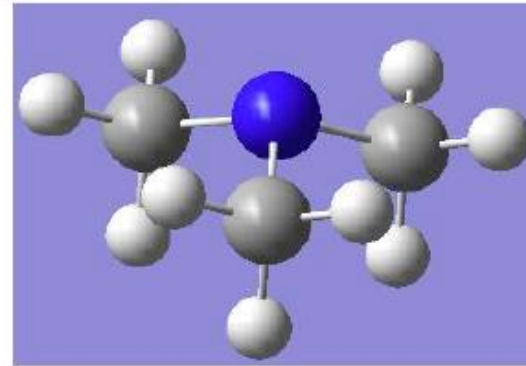




Metano
 CH_4



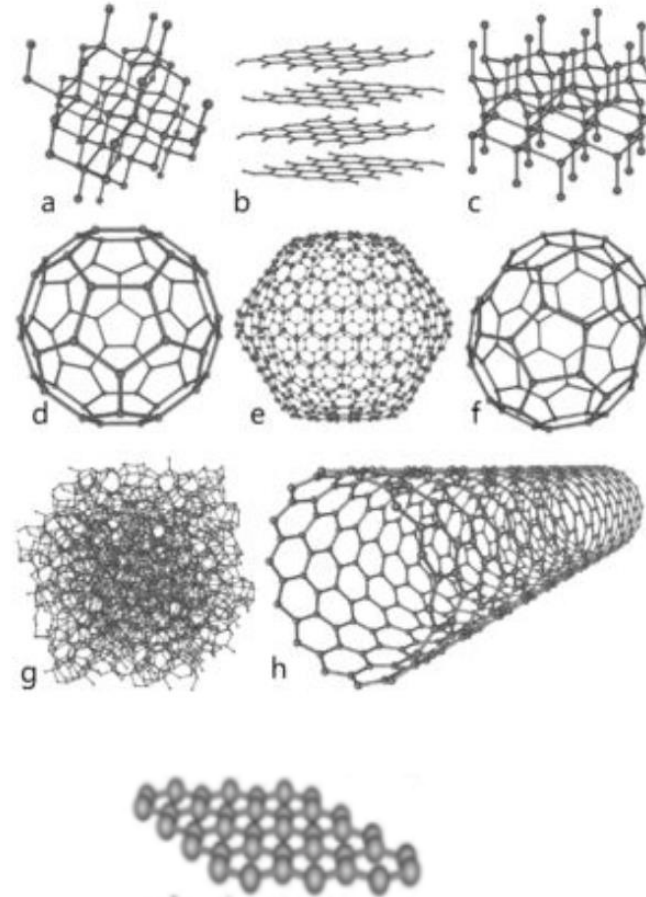
Alcohol
 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$



Amonio
 $\text{N}(\text{CH}_3)_3$

Algunos alótopos de carbono incluyen:

- a) Diamante
- b) Grafito
- c) Lonsdaleíta
- d) Fullerenos (C₆₀)
- e) Fullerenos (C₅₄₀)
- f) Fullerenos (C₇₀)
- g) Carbono amorfo
- h) Nanotubos de carbono
- i) Grafeno



Propiedades Comparativas de Alótropos de Carbono

- **Diamante:** Material muy duro. Excelente aislante eléctrico, el mejor conductor térmico conocido en materiales naturales, altamente transparente y cristaliza en un sistema cúbico.
- **Grafito:** Materiales muy blandos, excelente lubricante, conductor de electricidad, utilizado para aislamiento térmico (por ejemplo, cortafuegos y escudos térmicos), opaco y cristaliza en el sistema hexagonal.
- **Carbono Amorfo:** Totalmente isotrópico.
- **Nanotubos de Carbono:** Material altamente anisotrópico muy conductivo eléctricamente.

Nanotubos de carbono (CNTs)

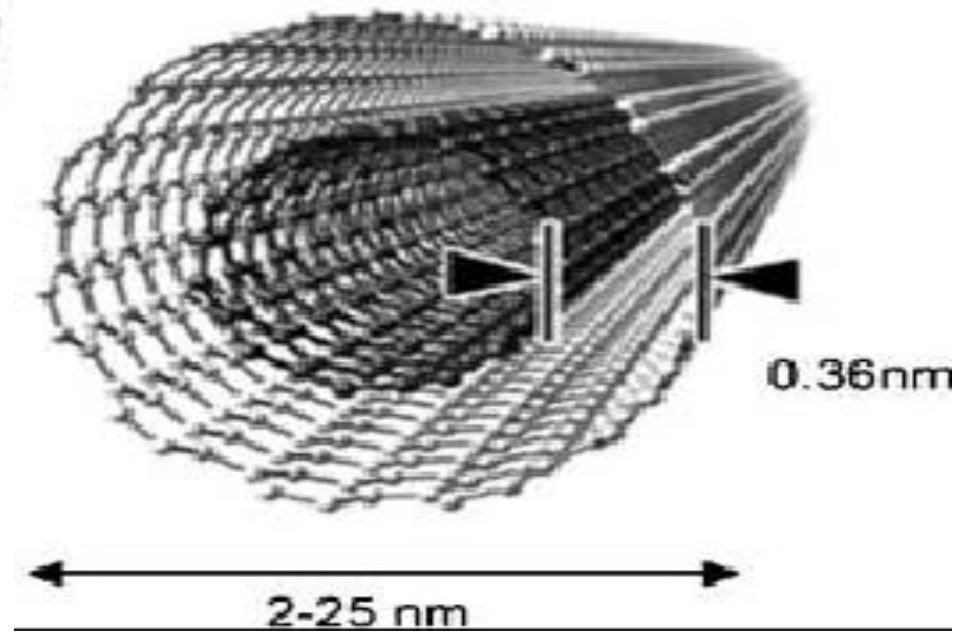
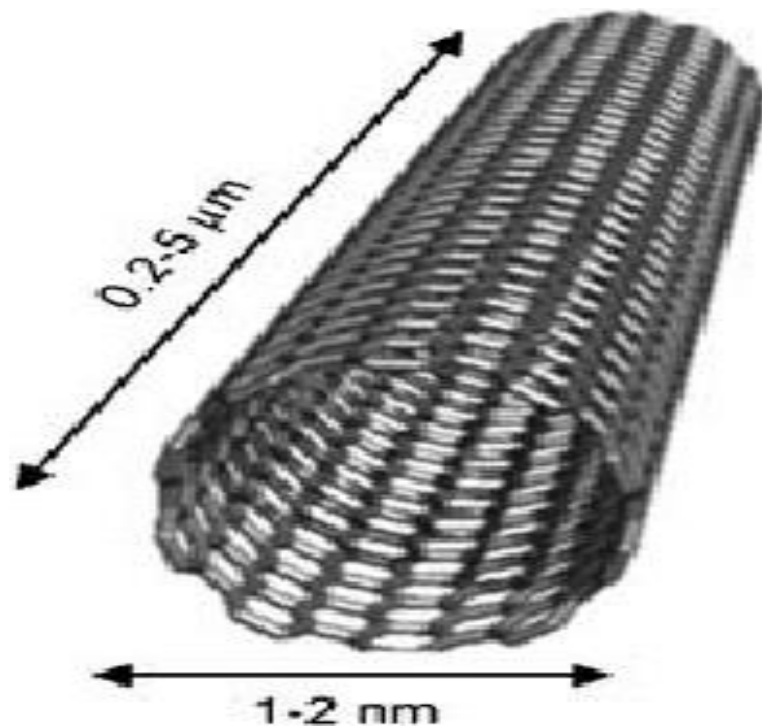
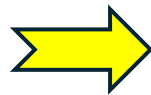
- Los CNTs son uno de las alótopos de carbono más recientes con potenciales propiedades para aplicaciones técnicas.
- Se caracterizan por estructuras cilíndricas con un diámetro de varios nanómetros, formadas por láminas de grafeno enrolladas.
- Los nanotubos de carbono pueden variar en longitud, diámetro, y número de capas.
- Según su estructura, los CNTs se pueden clasificar en dos grupos principales:
 - nanotubos de pared simple (SWCNTs)
 - nanotubos de paredes múltiples (MWCNTs).

Los SWCNTs tienen un diámetro de alrededor de 1 a 3 nm y una longitud de algunos micrómetros.

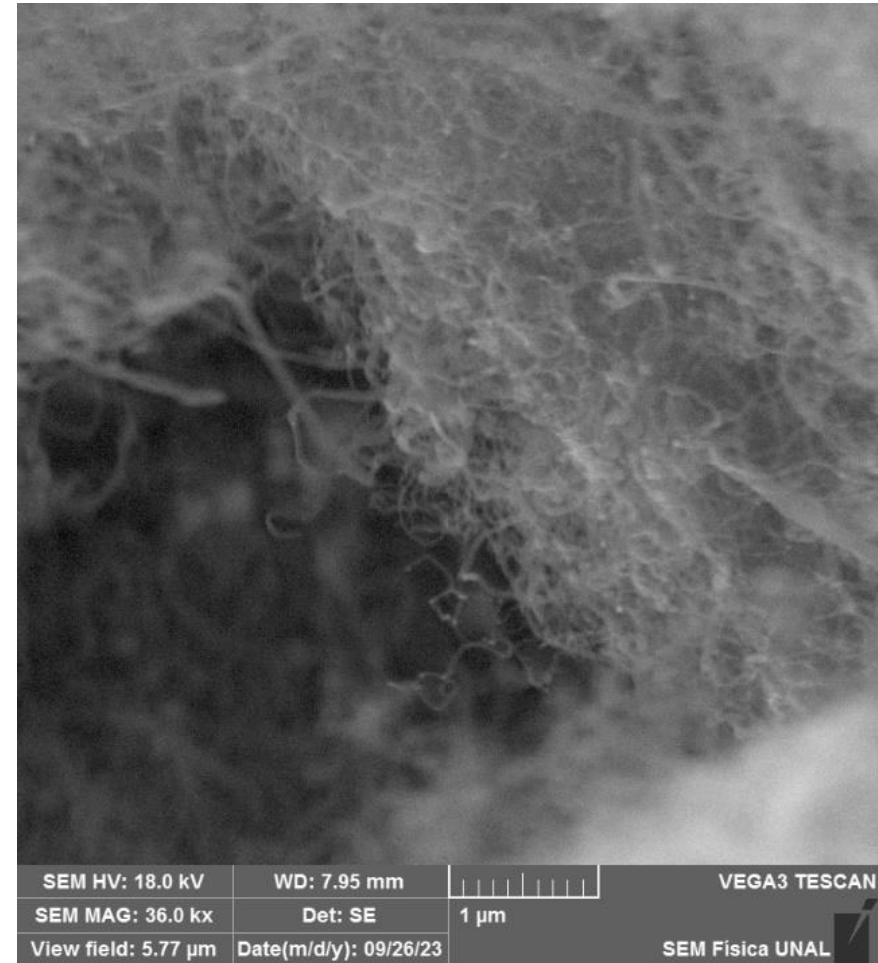
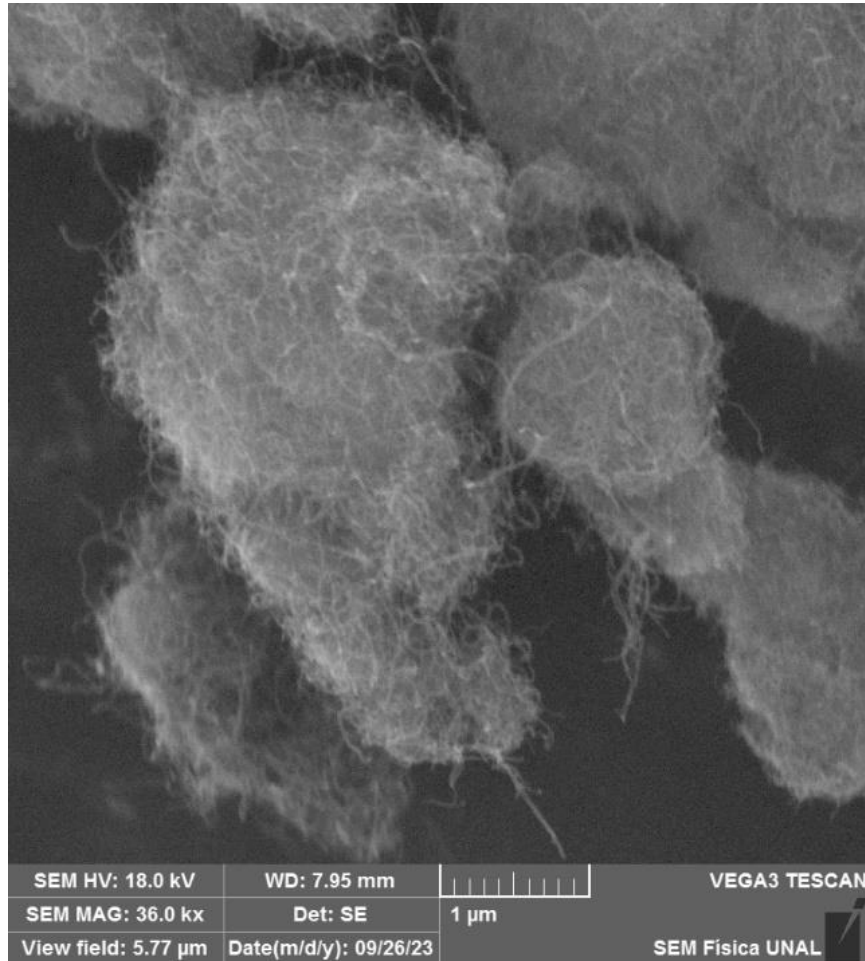
Los nanotubos de paredes múltiples (MWCNTs) tienen un diámetro de 5 a 40 nm y una longitud de aproximadamente 10 μm .

La estructura de los CNTs les confiere excelentes propiedades con una combinación única de rigidez, resistencia y elasticidad en comparación con otros materiales fibrosos.

Por ejemplo, los CNTs presentan una alta conductividad térmica y eléctrica en comparación con otros materiales conductores.

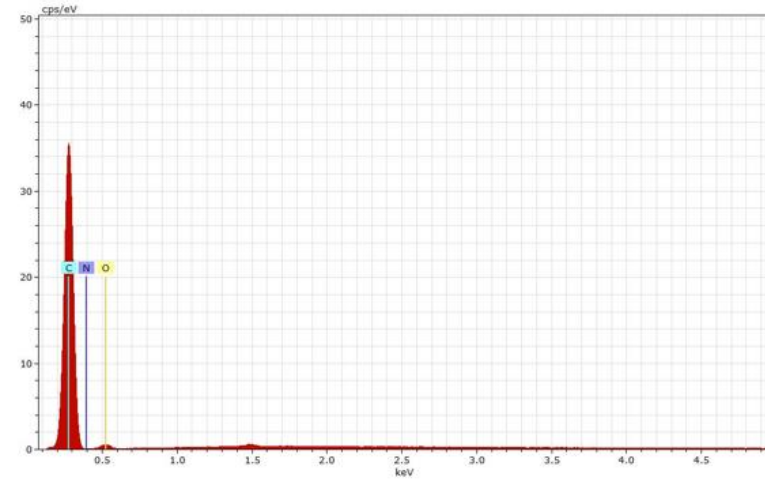


Nanotubos de carbono de pared múltiple (MWCNT)



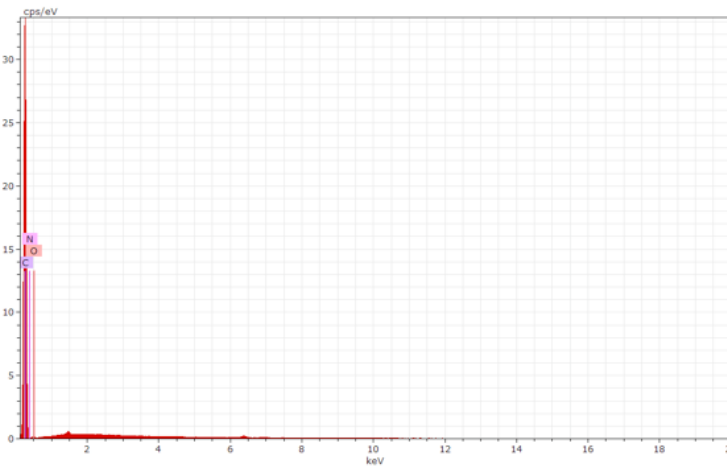
Microscopia electrónica de barrido (SEM) - UNAL

Nanotubos de carbono de pared múltiple (MWCNT)



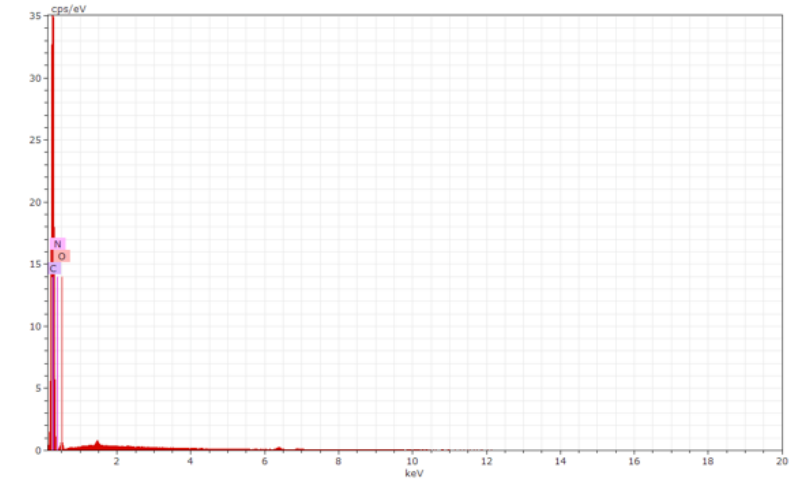
Spectrum: AM8 12287

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
C	6	K-series	84,76	84,76	87,10	9,27
N	7	K-series	10,37	10,37	9,14	1,94
O	8	K-series	4,87	4,87	3,76	0,88
Total:			100,00	100,00	100,00	



Spectrum: AM8 13115

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
C	6	K-series	87,59	87,59	89,39	9,43
N	7	K-series	10,12	10,12	8,86	1,73
O	8	K-series	2,29	2,29	1,76	0,48
Total:			100,00	100,00	100,00	

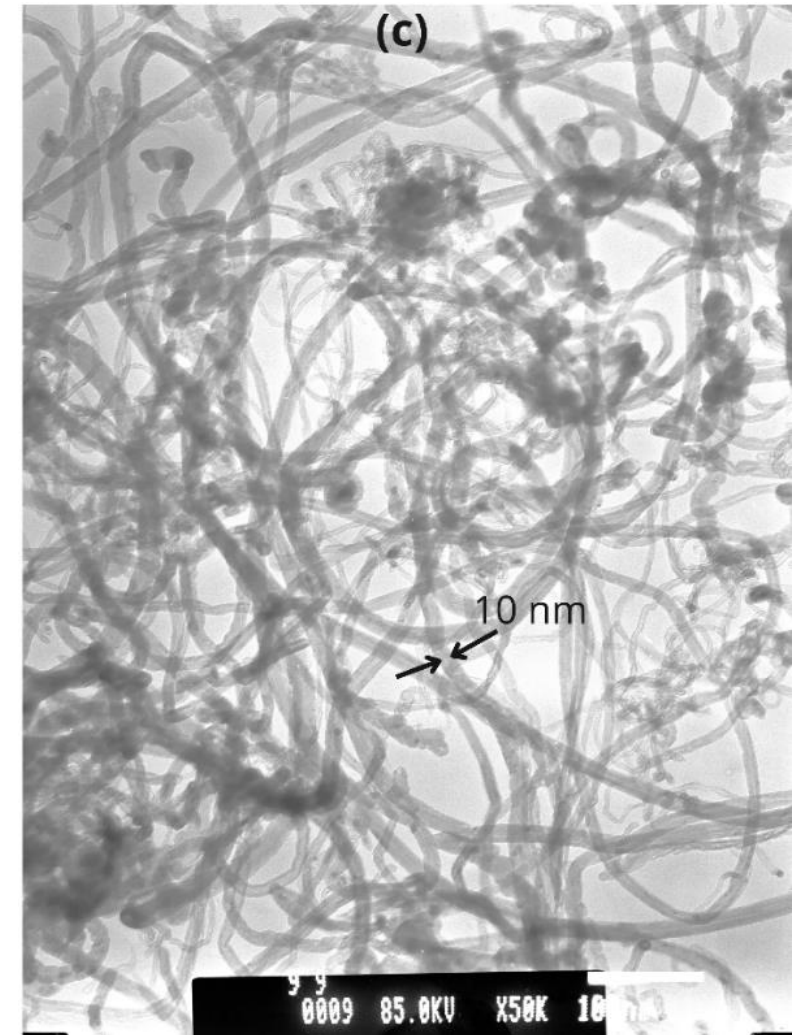
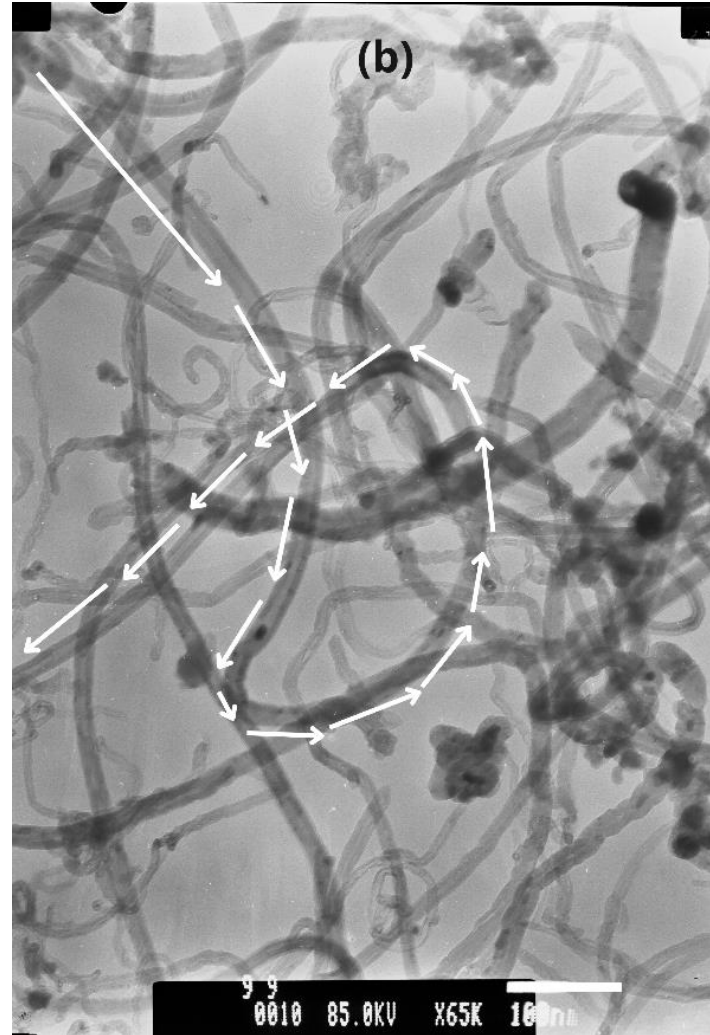
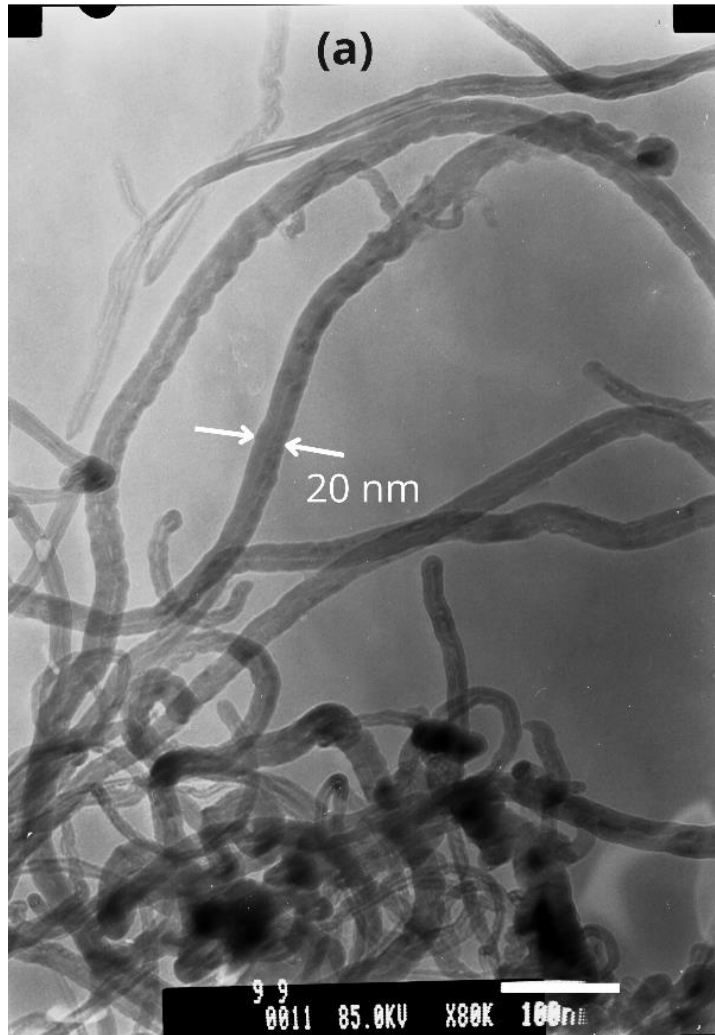


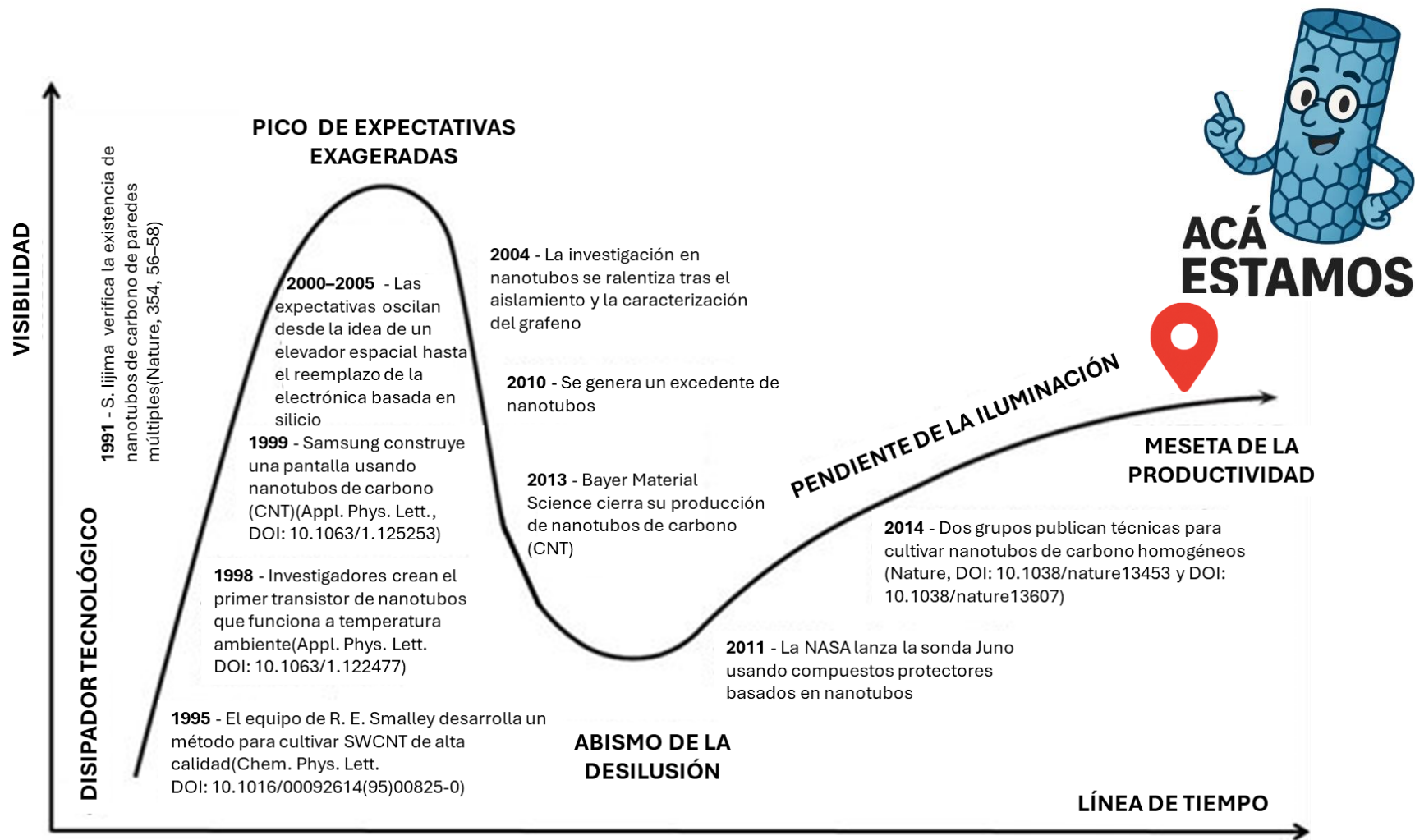
Spectrum: AM8 13116

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
C	6	K-series	84,14	84,14	86,70	9,14
N	7	K-series	9,34	9,34	8,26	1,67
O	8	K-series	6,52	6,52	5,04	1,07
Total:			100,00	100,00	100,00	

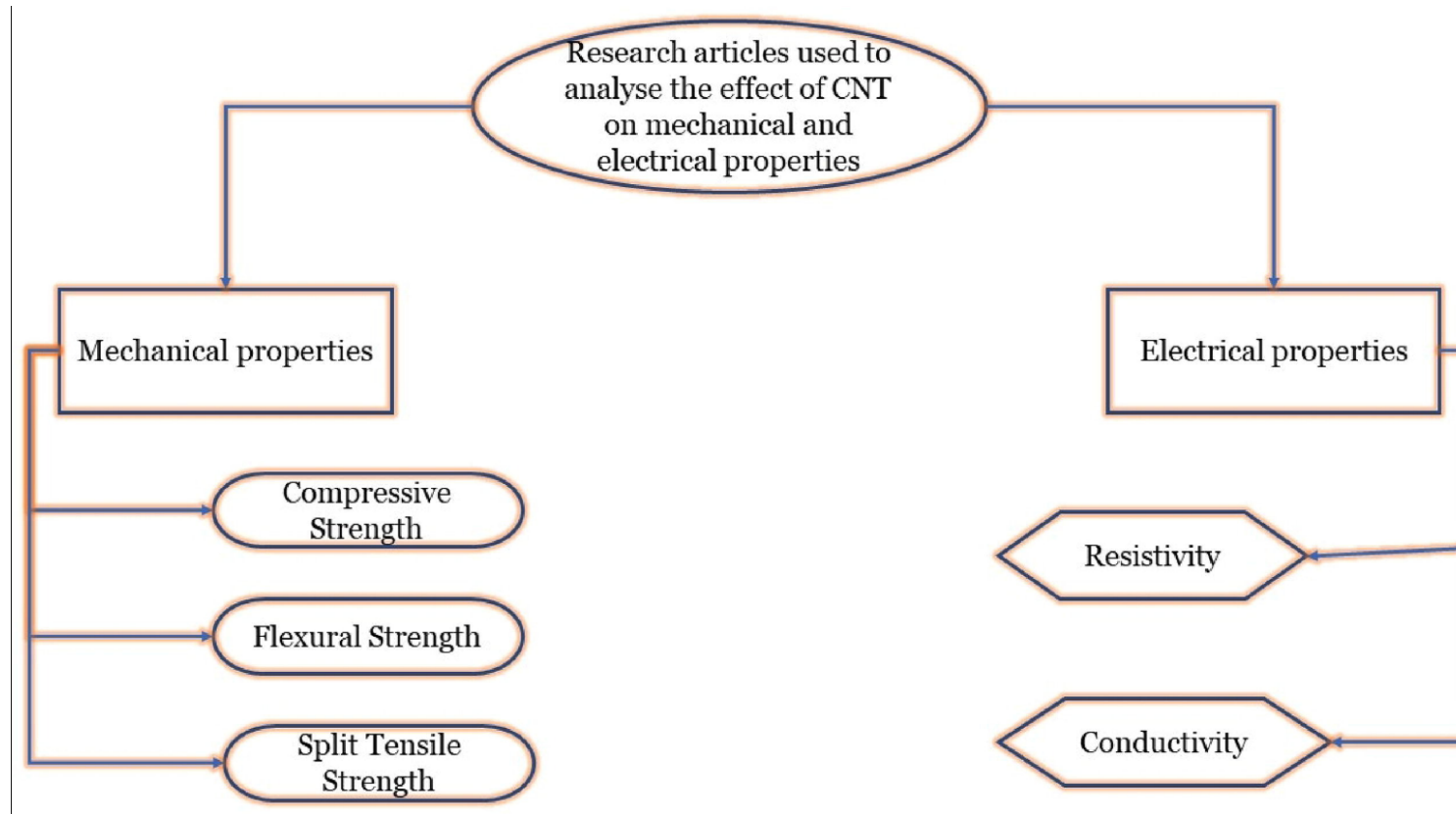
Composición elemental mediante espectroscopia de energía dispersiva de rayos X (EDX) - UNAL

Nanotubos de carbono de pared múltiple (MWCNT)



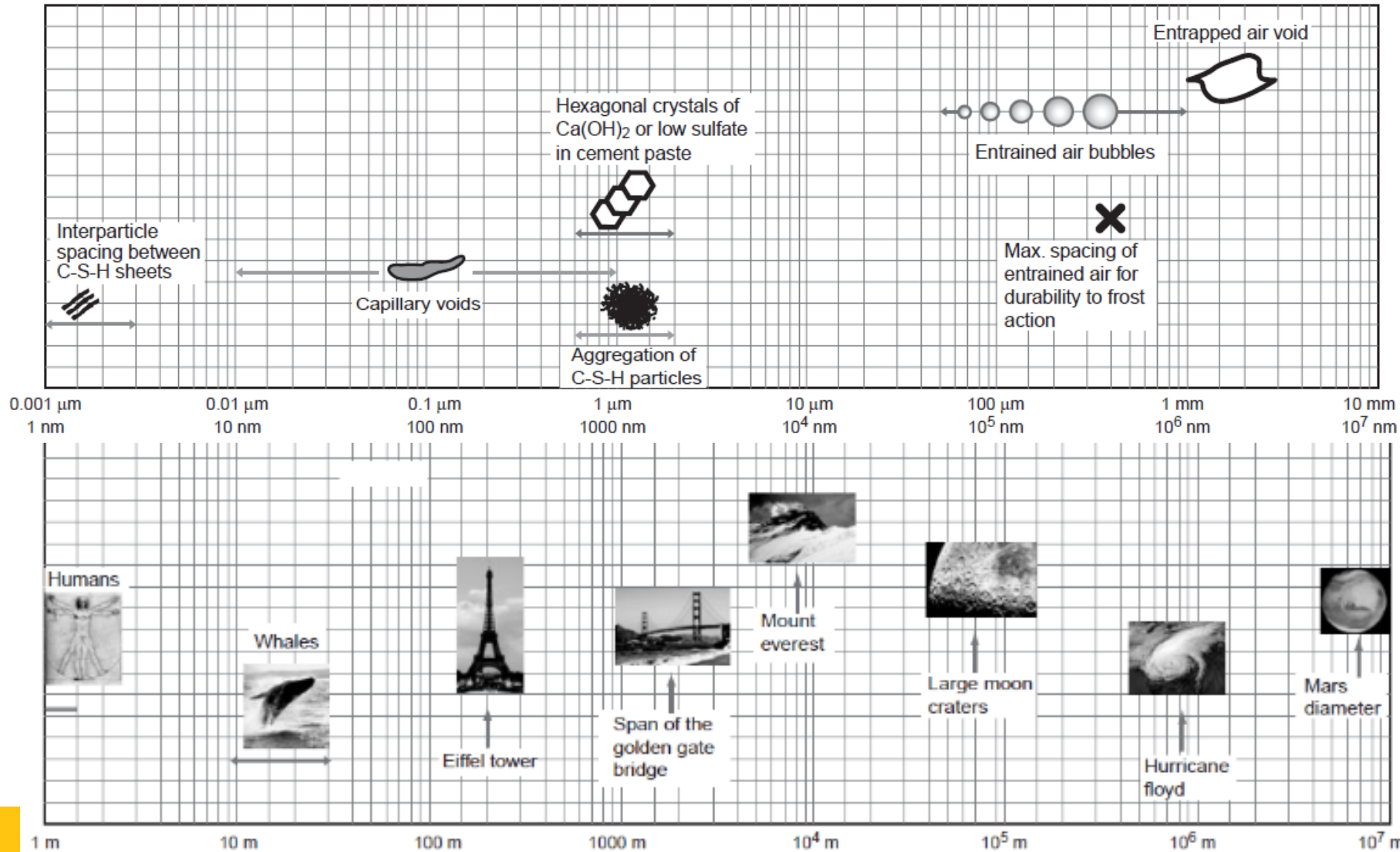


Tendencias actuales en la aplicación de nanotubos para el concreto

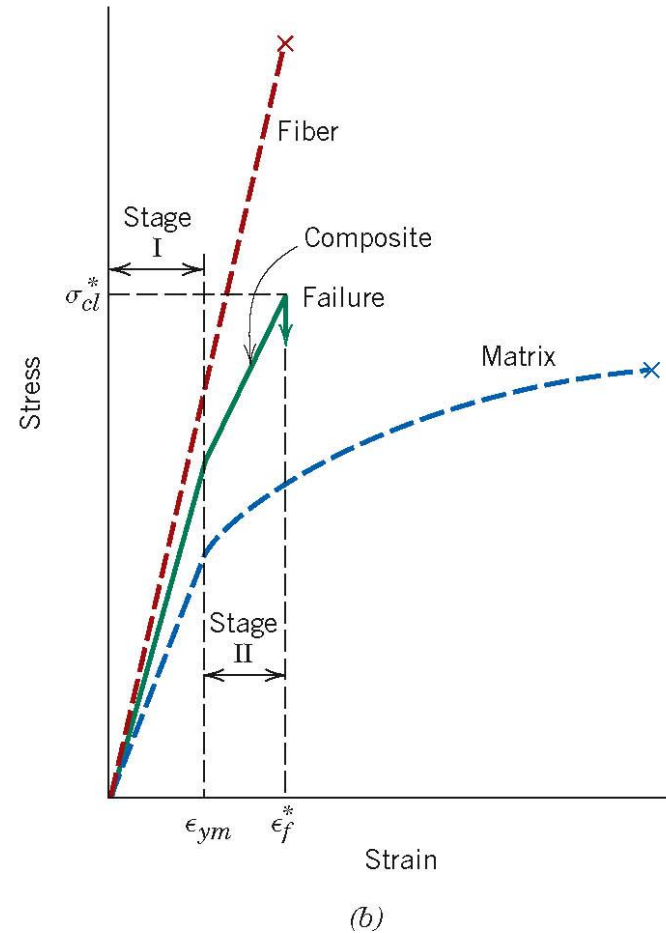
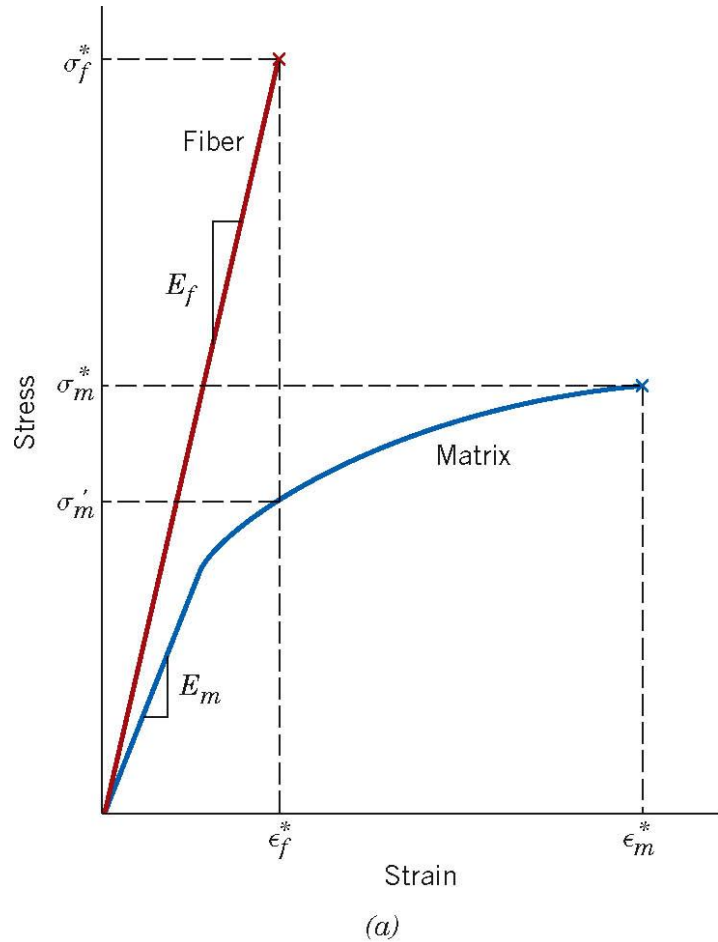


Influence of carbon nanotube on the mechanical and electrical characteristics of concrete – A review Author links open overlay panel. A. Dinesh, R. Ashwathi, B. Kamal, C. Akash, S. Sujith a

El tema de la escala



Mejora de las propiedades mecánicas como material compuesto



- Las fibras deben ser por naturaleza “poderosas”
 - Suministran una alta resistencia y ductilidad al material

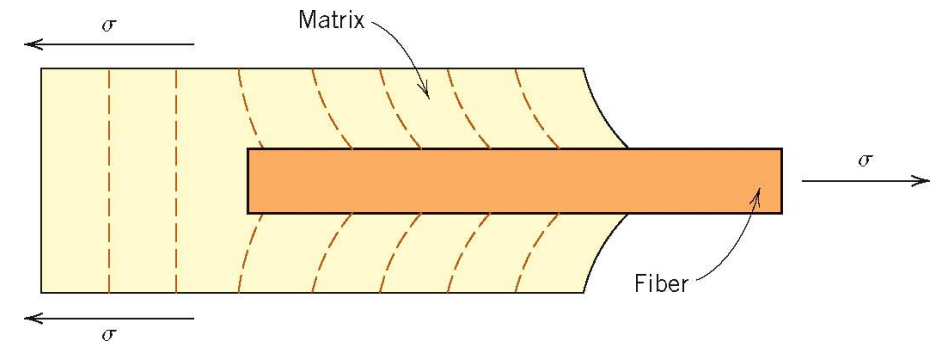
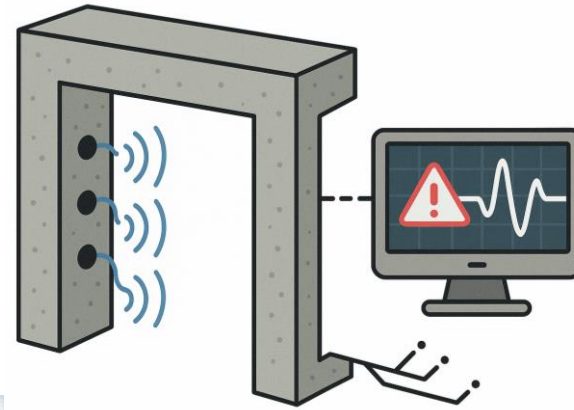




Figura 1. Crecimiento de la construcción de viviendas en Bogotá. Fuente: [1].



Monitoreo Estructural: “Smart Structures”

Evaluar su estado en tiempo real **Predecir** posibles fallos



Figura 2. Avance de la construcción del metro de Bogotá. Fuente: [2].



Figura 3. Vista externa de la Estación 1 con su estructura en concreto terminada. Fuente: [3]

“Self-sensing”

Pilares de la sostenibilidad del hormigón

- Reducir el factor de clínker en el cemento. Sustituir el clínker por alternativas con menor contenido de carbono.
- Uso de materiales reciclados.
- Viabilidad en todas las etapas de la cadena de valor.
- Mayor durabilidad.
- Mejores propiedades mecánicas. Utilizar menos hormigón para lograr el mismo rendimiento.
- **Prolongación del ciclo de vida de una estructura de hormigón.**

Sensores estructurales base CNT

Los nanotubos de carbono son materiales avanzados que, al incorporarse al cemento, mejoran significativamente sus propiedades eléctricas. Esta integración permite transformar las estructuras de cemento en sensores inteligentes.

Un material piezoresistivo es aquel cuya resistividad eléctrica varía cuando se le aplica una deformación mecánica. Es decir, cambia su resistencia eléctrica en función de esfuerzos como compresión, tracción o flexión. Este efecto se utiliza comúnmente en sensores de presión, deformación o fuerza.

Materiales compuestos multifuncionales



Adquisición de CNT - Trabajos en desarrollo

Los nanotubos de carbono utilizados en las investigaciones en la Universidad Nacional han sido importados desde china, ya que su costo es más accesible.

- Pureza: > 95% en peso
- Diámetro interior: 3-5nm
- Diámetro exterior: 8-15nm
- Longitud: 3-12 μ m
- Superficie específica: >233m²/G
- Densidad: 0,15g/cm³
- Densidad real: 2,1g/cm³
- Resistividad: 1412 $\mu\Omega$ m



FACTORES CONTROLABLES

- Volumen de muestras:
171 gramos de agua
desionizada
- Cantidad de MWCNT:
0.5 % y 1.0 %



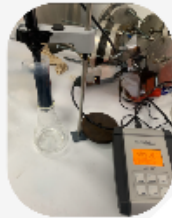
- Dispositivos
de dispersión
- Energía de
dispersión

ENTRADA



Potenciostato y
electrodo serigrafiado

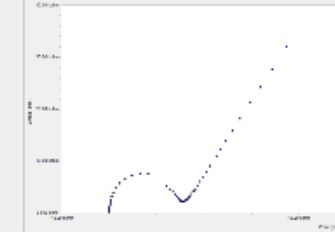
Conductímetro



SELECCIÓN DEL MÉTODO DE DISPERSIÓN OPTIMO

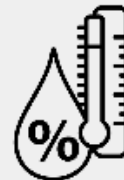
SALIDA

Diagramas de Nyquist



Valores de conductividad

Humedad relativa
(% HR)



Temperatura
ambiente

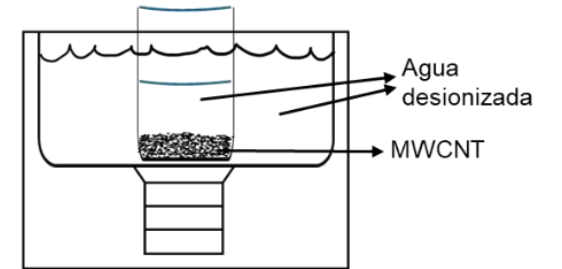
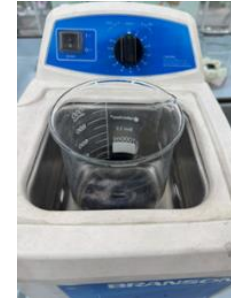
FACTORES NO CONTROLABLES

La dispersión de los nanotubos de carbono se realizó mediante tres métodos, mezcla manual, baño de ultrasonido y ultrasonido con sonda.



Método de ultrasonido por baño

Dispersión de MWCNT



Método de ultrasonido por sonda

Dispersión de MWCNT





Cantidad de MWCNT

Referencia	% MWCNT de la masa de cemento
Hawreen & Bogas (2019)	0.5 %
Vesmawala et al. (2019)	0.5 %
Farias de Medeiros et al. (2015)	0.5 %
Ruan et al. (2018)	0.5 %
(J. Zhang et al., 2020)	0.5 %
Siahkouhi et al. (2021)	1.0 %
Parvaneh & Khiabani (2019)	1.0 %
Reis et al. (2023)	2.0 %

Selección del método de dispersión

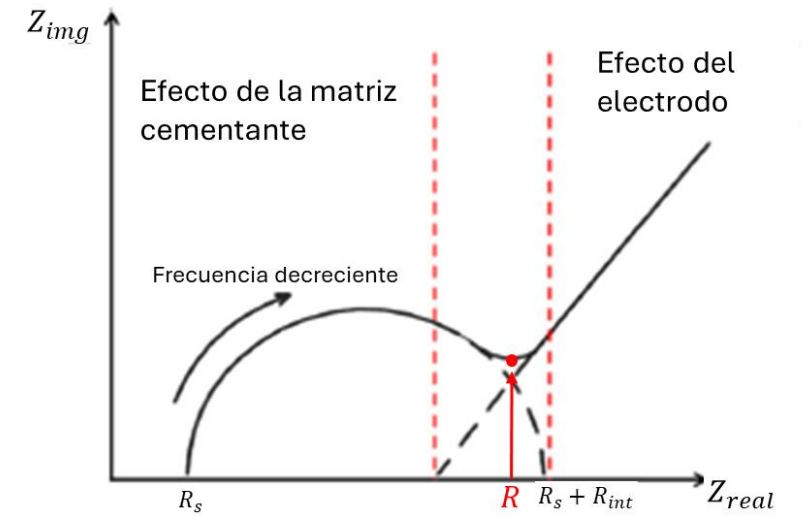
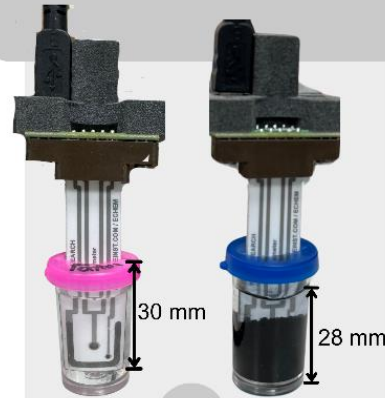
Potenciostato Gamry

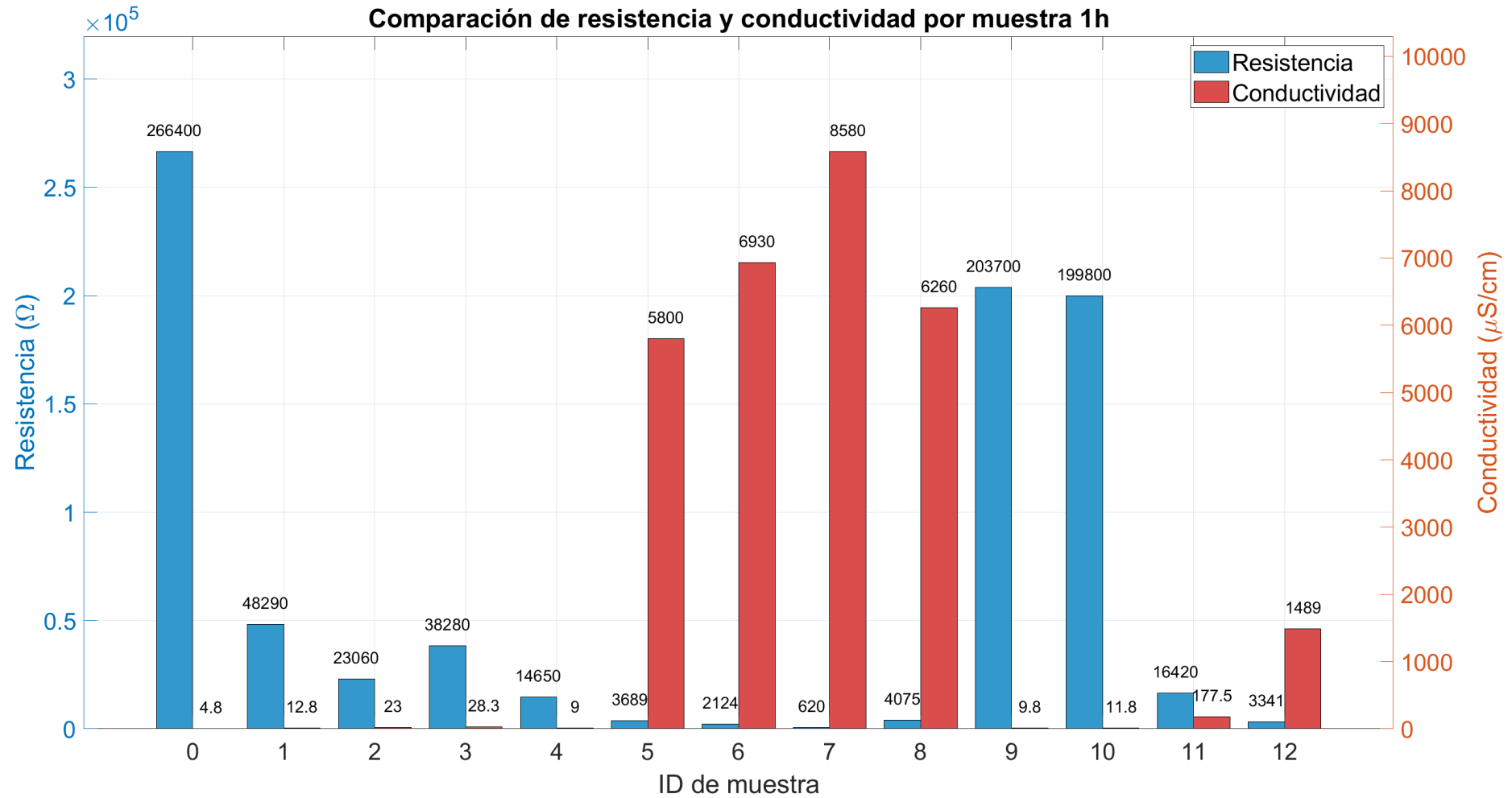


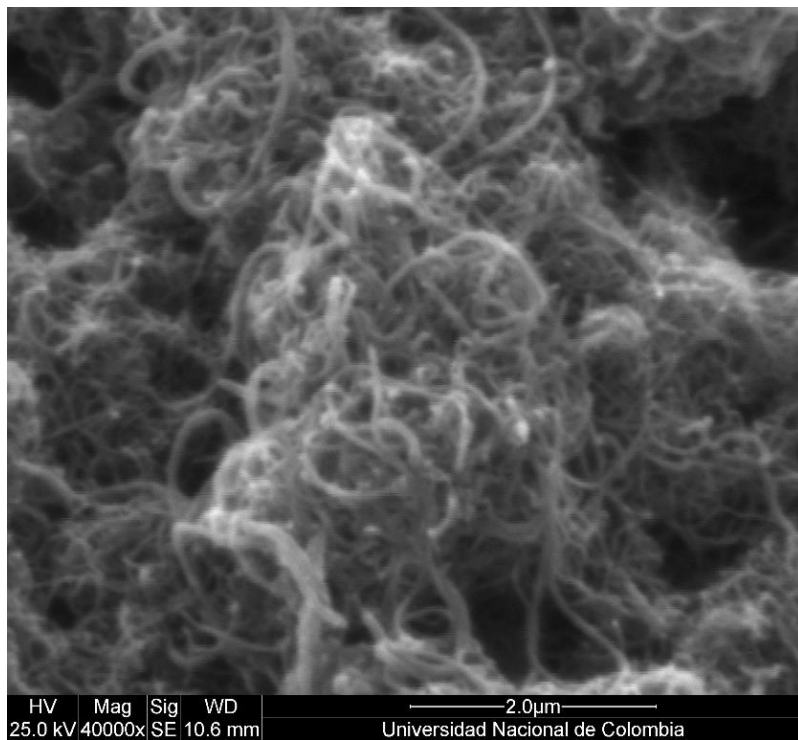
Kit de conexión universal para células especiales



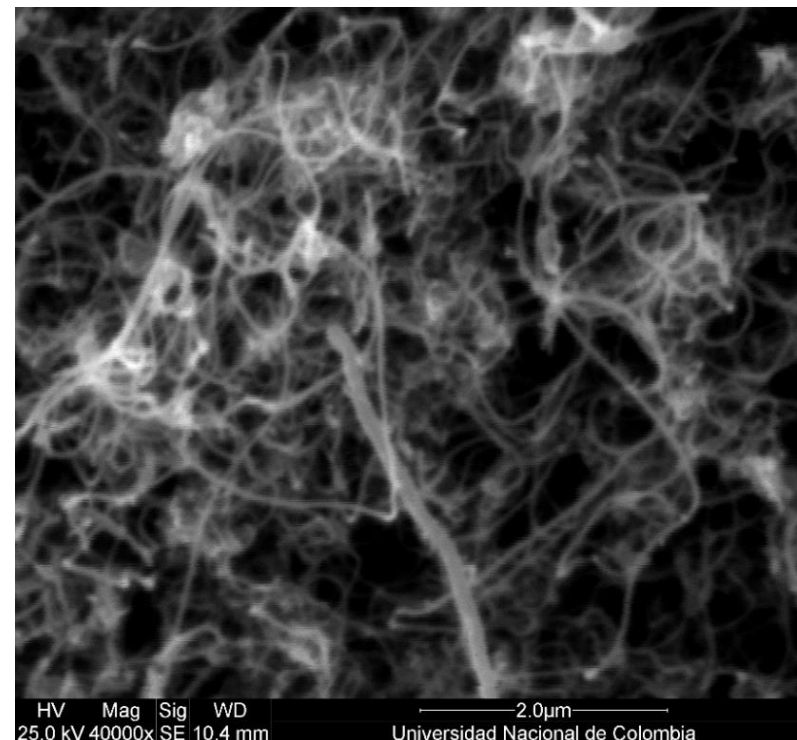
Electrodo embebido







Sin dispersión



Con dispersión

Resultados

ID: 4



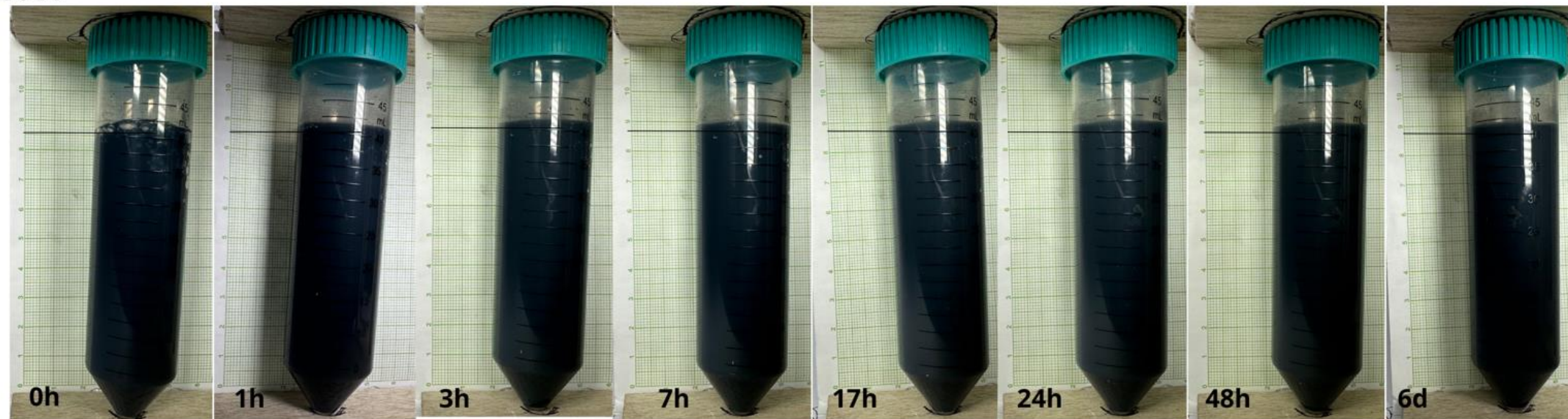
ID: 7



ID: 9



ID: 11

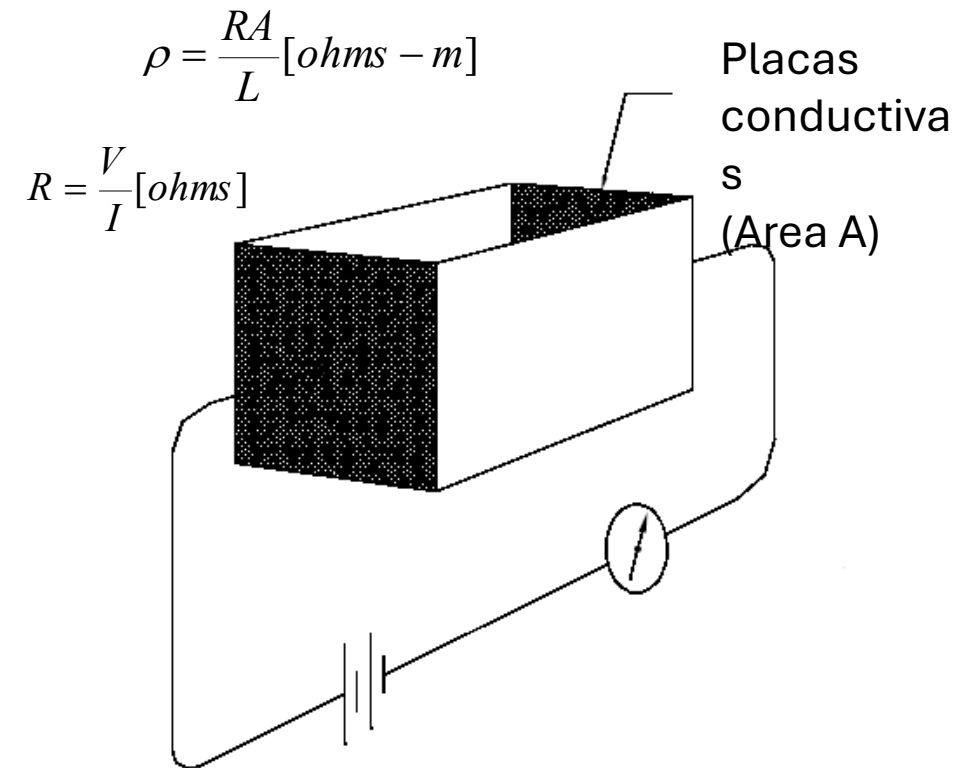


Efectos de los nanotubos en el mortero fresco

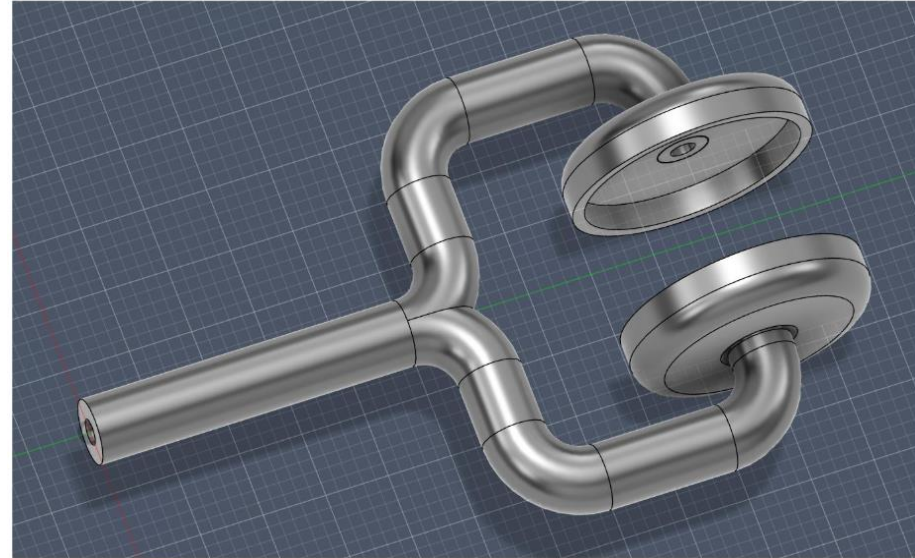
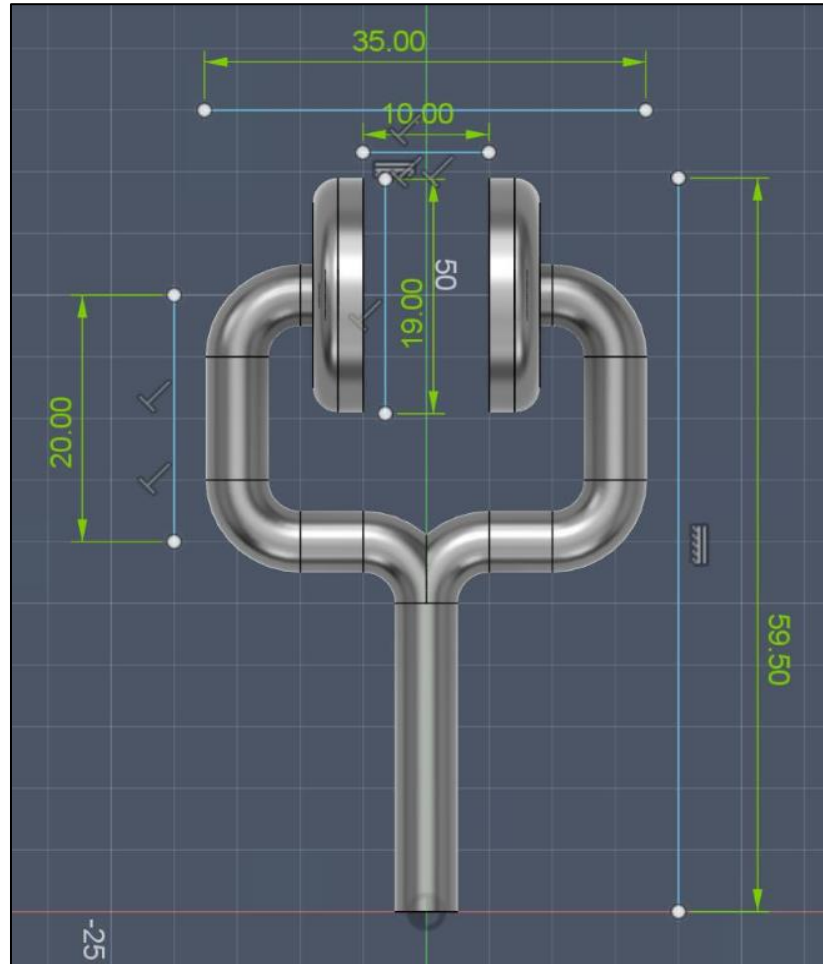


Adición con respecto al peso del cemento	% de Fluidéz	% de Reducción
0.0 % MWCNT	108.88	
0.5 % MWCNT	86.06	- 20.96
1.0 % MWCNT	63.39	- 41.78

Medición de propiedades eléctricas



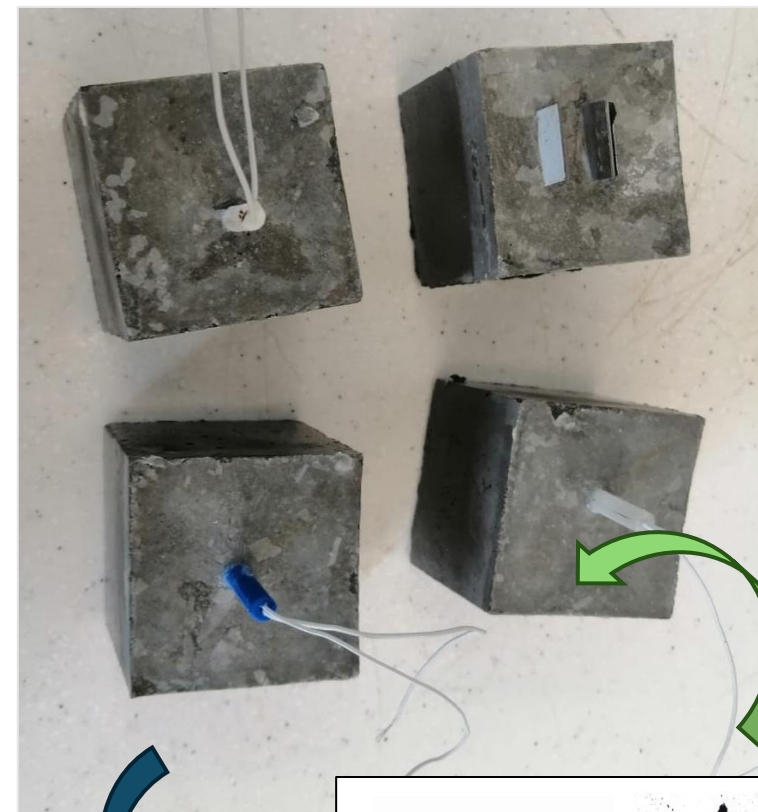
Prototipo 1, sensor de plástico impreso 3D



“Horqueta para separación de electrodos”



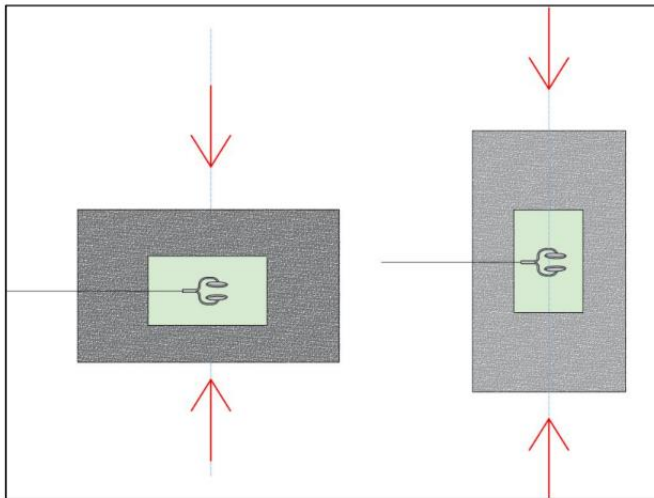
El sensor SRETH es un sistema compuesto por mortero, NTCs y la horqueta de los electrodos.



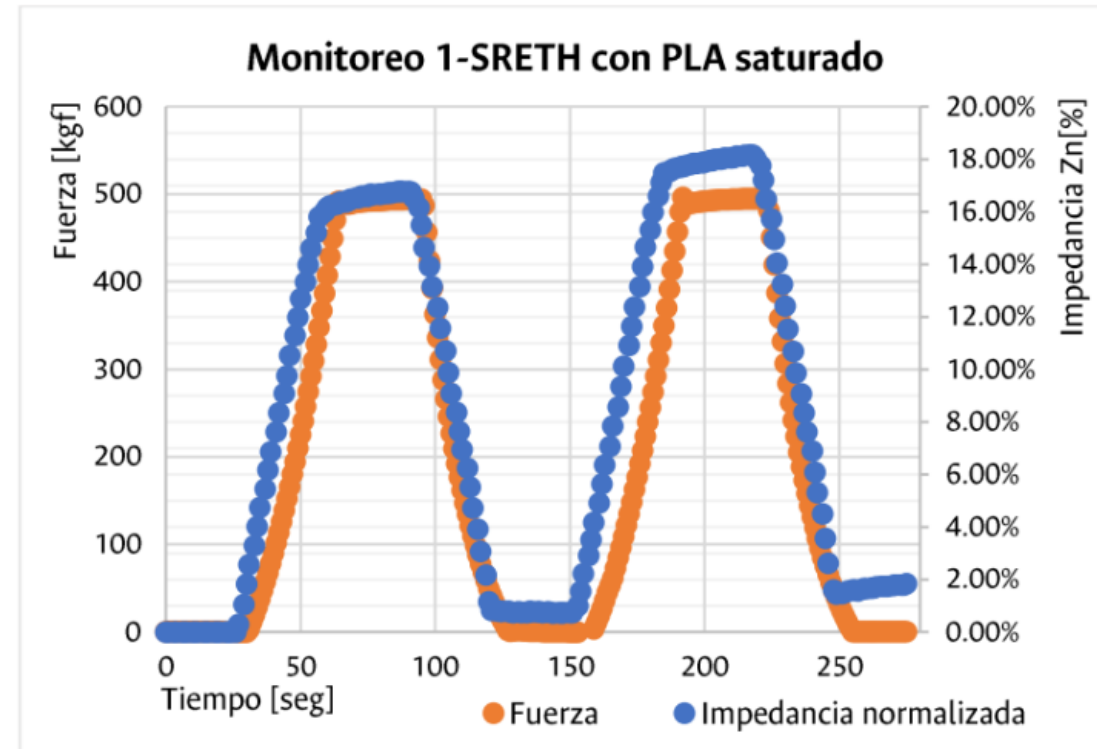
Desarrollo de un sensor para la medición de la Resistividad Eléctrica del Concreto sensor (SRETH-UNAL)



Resultados al aplicar carga y medir la impedancia de las probetas

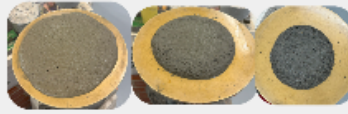


Facultad de Ingeniería
Sede Bogotá

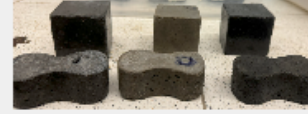
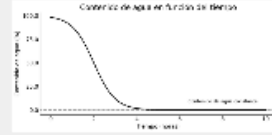


FACTORES CONTROLABLES

- Mezcla 0 %, 0.5 % y 1.0 % de MWCNT



- Contenido de agua en los especímenes en el momento de ensayo



- Geometría



- Electrodo

ENTRADA



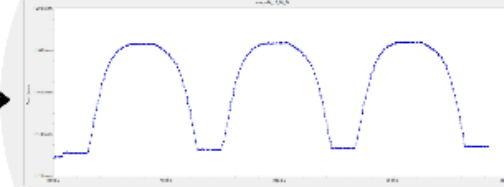
Potenciostato

Maquina universal



**MEDICIÓN DEL
CAMBIO DE
RESISTIVIDAD DE
LOS ESPECÍMENES
SOMETIDOS A
CARGAS MECÁNICAS**

SALIDA



Cambios de impedancia

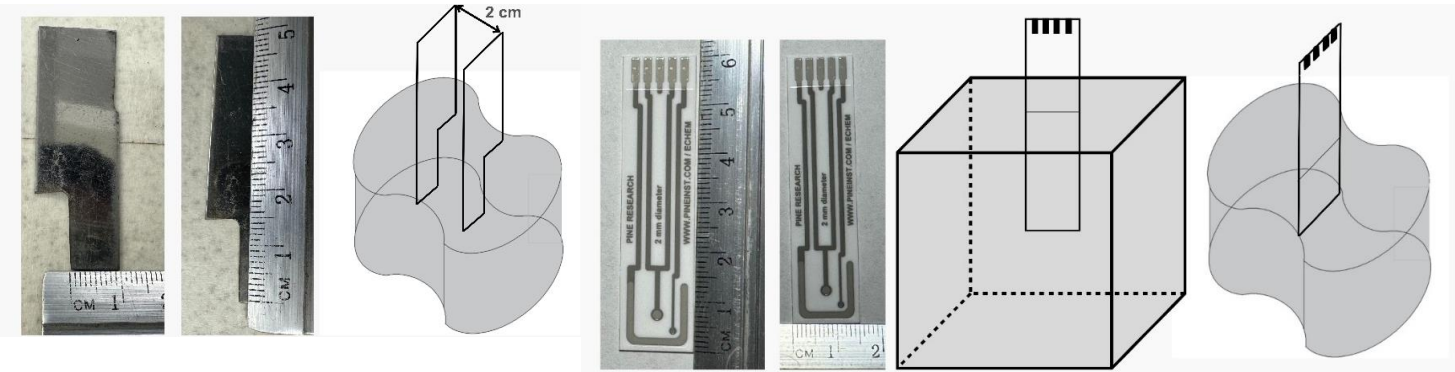
Humedad relativa
(% HR)



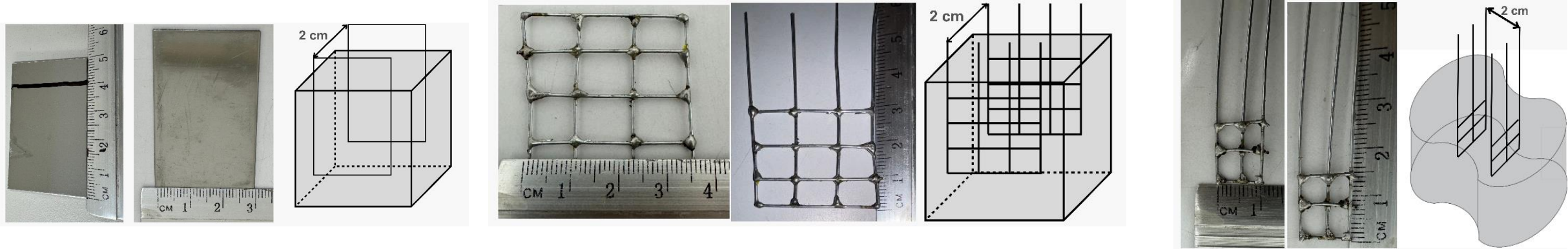
Temperatura
ambiente

FACTORES NO CONTROLABLES

Diseño de electrodos



Adición de MWCNT	Molde	Tipo de electrodo		
		Lamina de acero	Malla de alambre de acero	Electrodo serigrafiado o cerámico
0.0 %	Cubo	3	3	1
0.5 %		3	3	1
1.0 %		3	3	1
0.0 %	Briqueta	3	3	1
0.5 %		3	3	1
1.0 %		3	3	-



DISPOSITIVOS

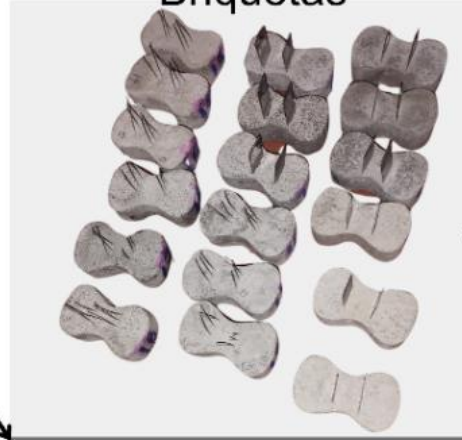
Potenciostato



Maquina Universal

ESPECÍMENES

Briquetas



Cubos

MONTAJE DE MEDICIÓN

Electrodo serigrafiado



Electrodo de laminas de acero

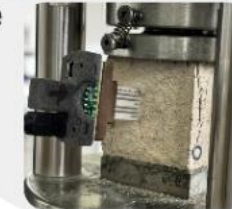


Electrodo de malla de acero



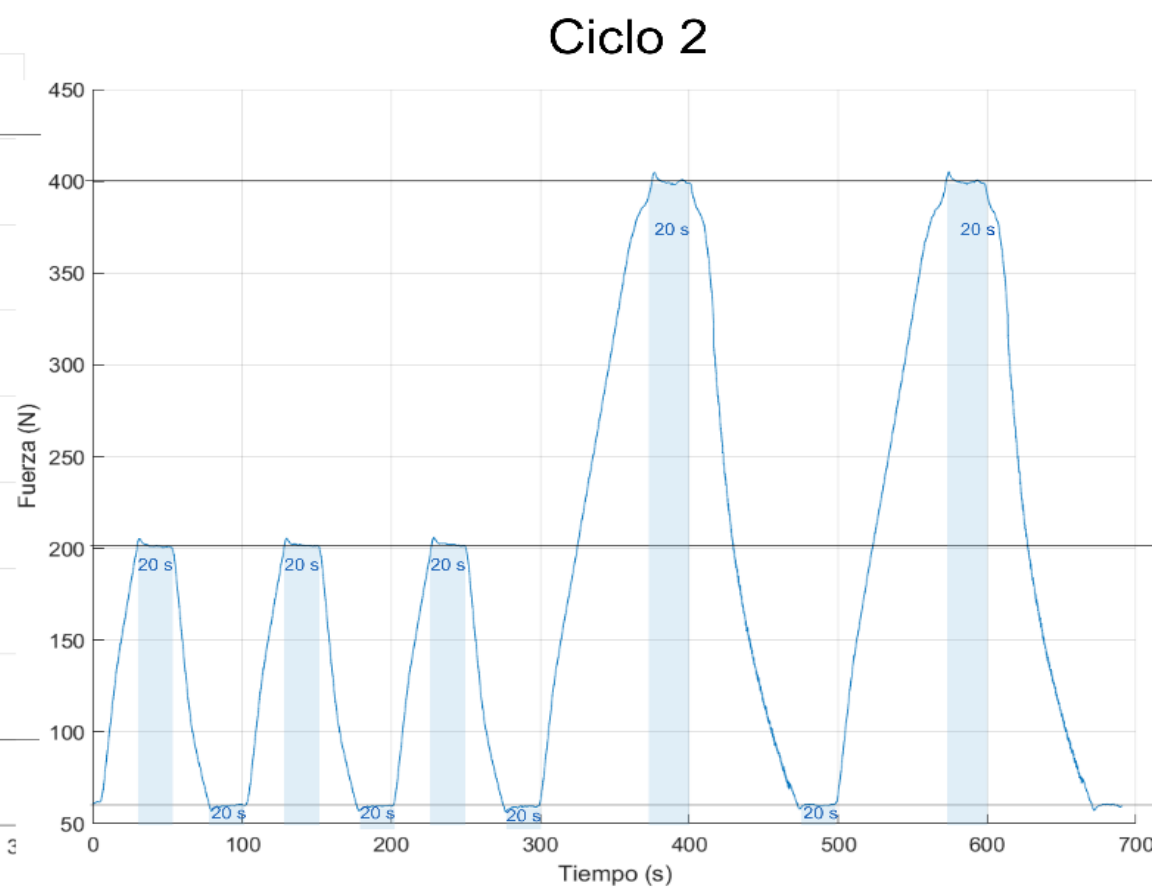
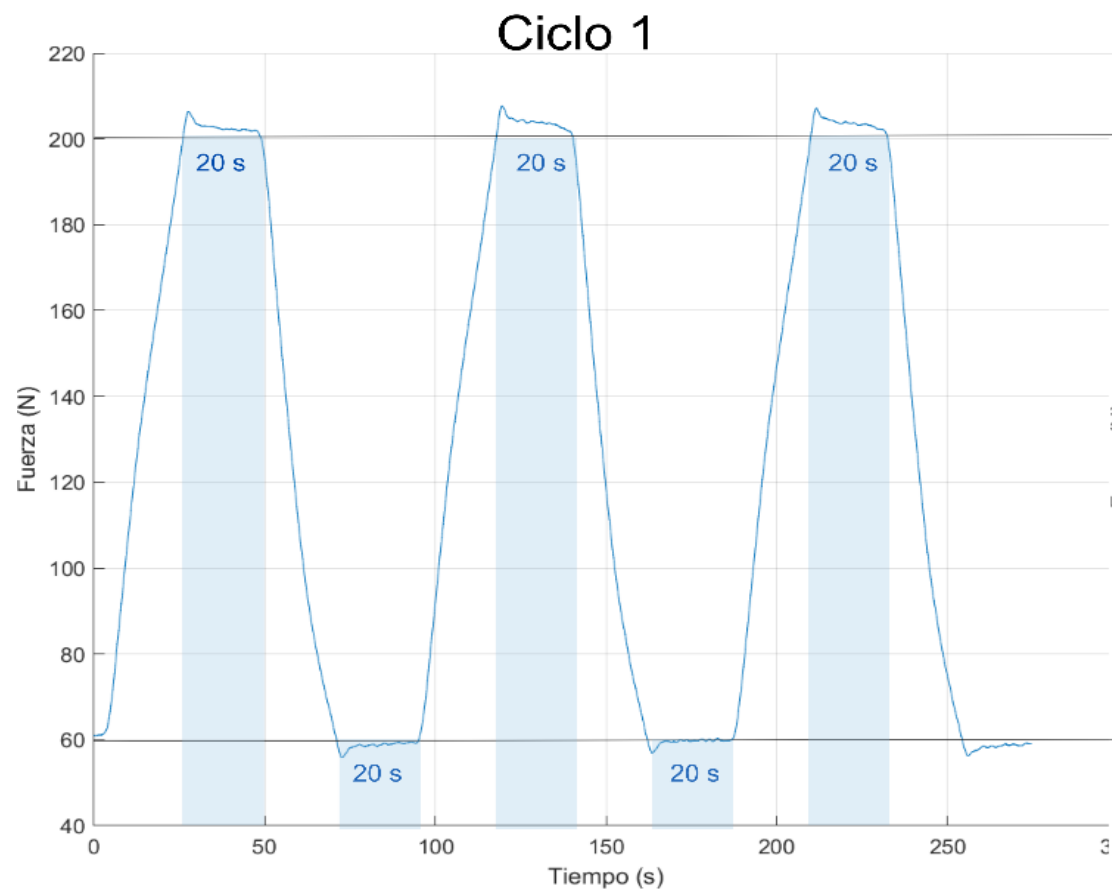
Electrodo de malla de acero

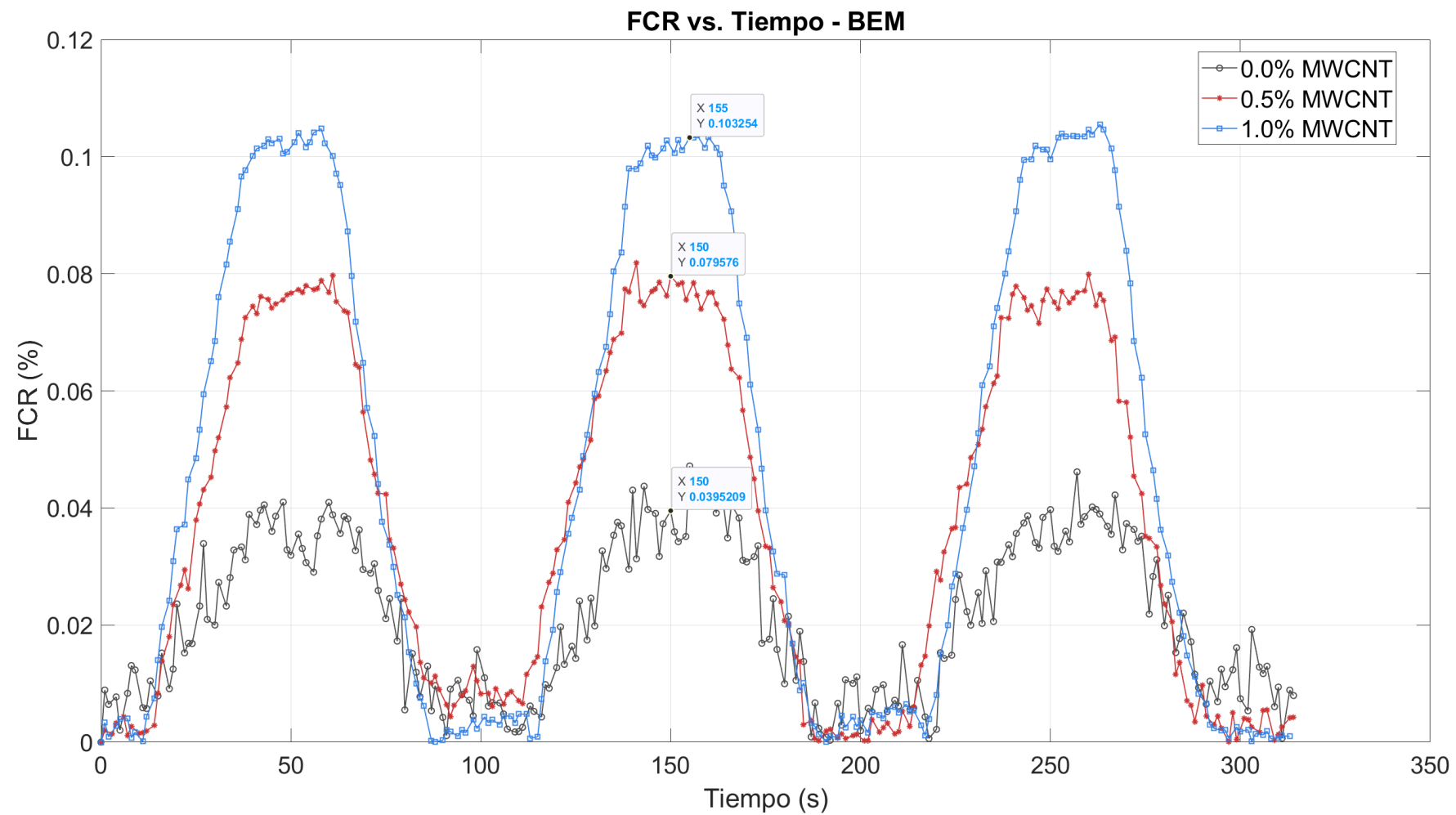
Electrodo de laminas de acero



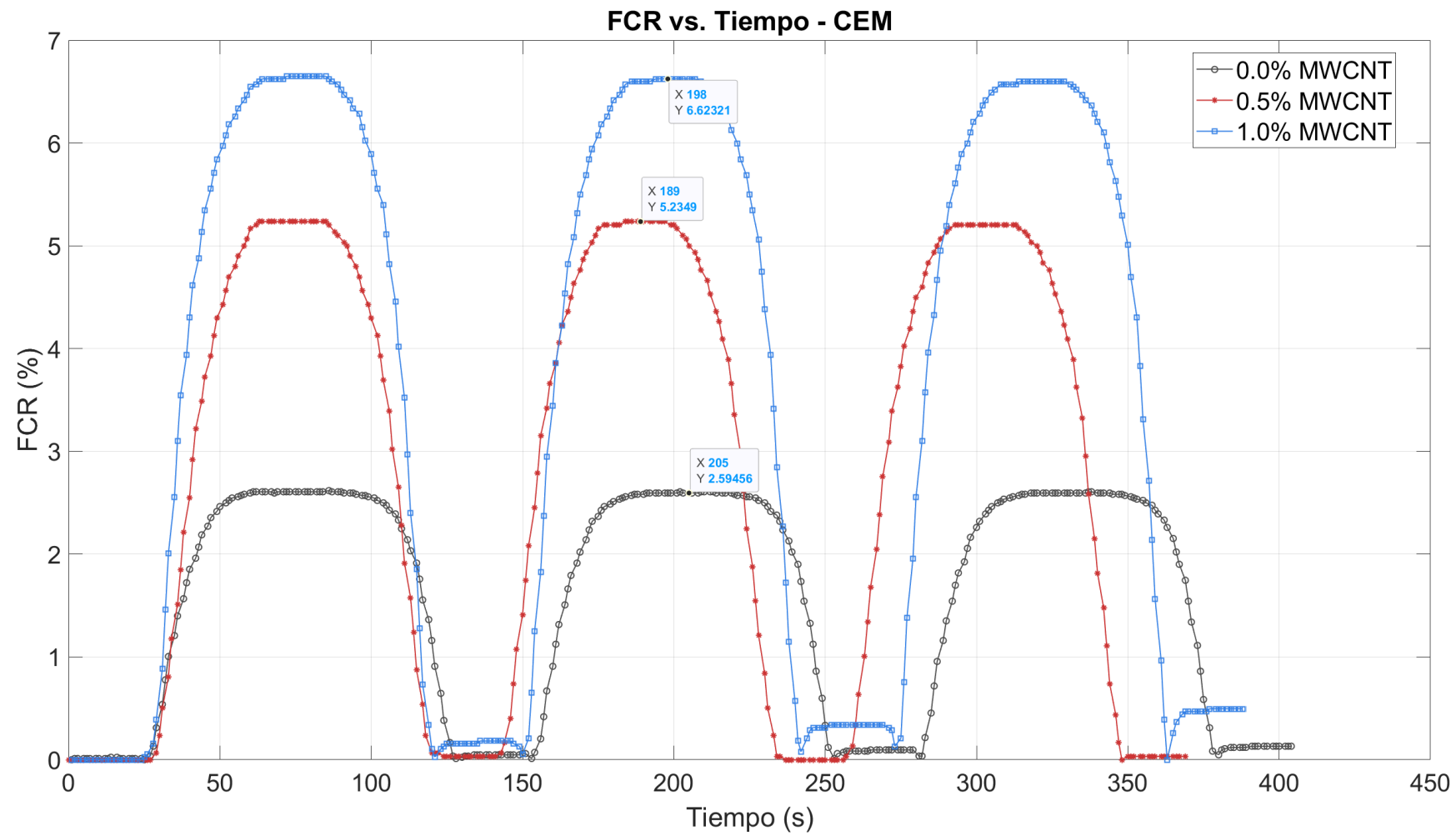
Electrodo serigrafiado

Monitoreo mediante el Cambio Fraccional en la Resistencia (FCR)

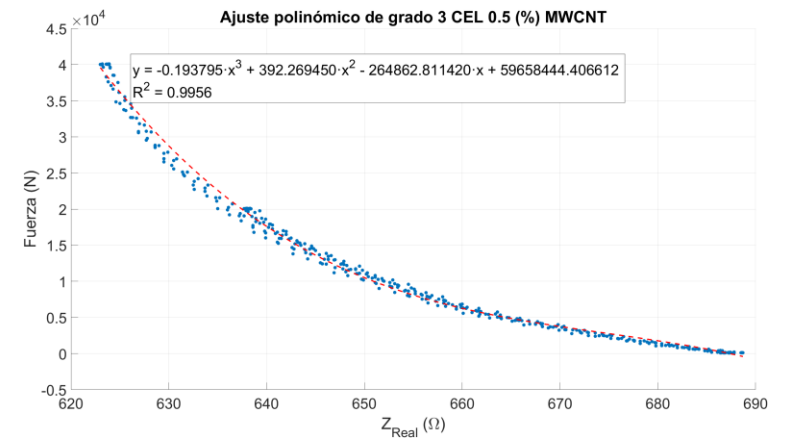
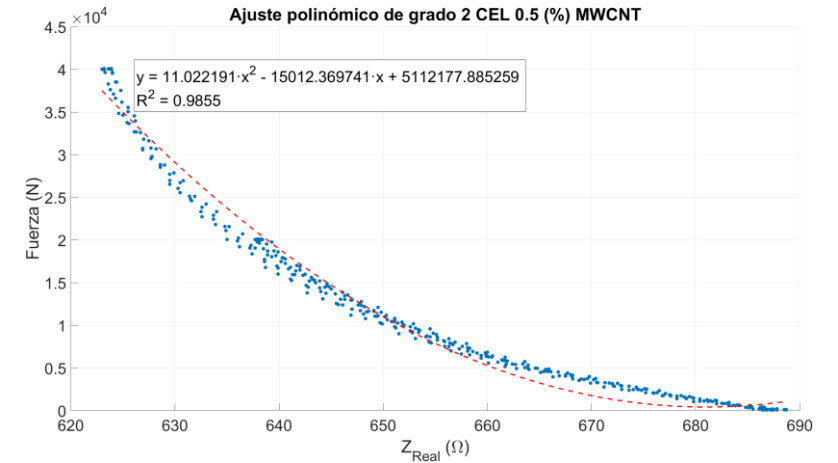
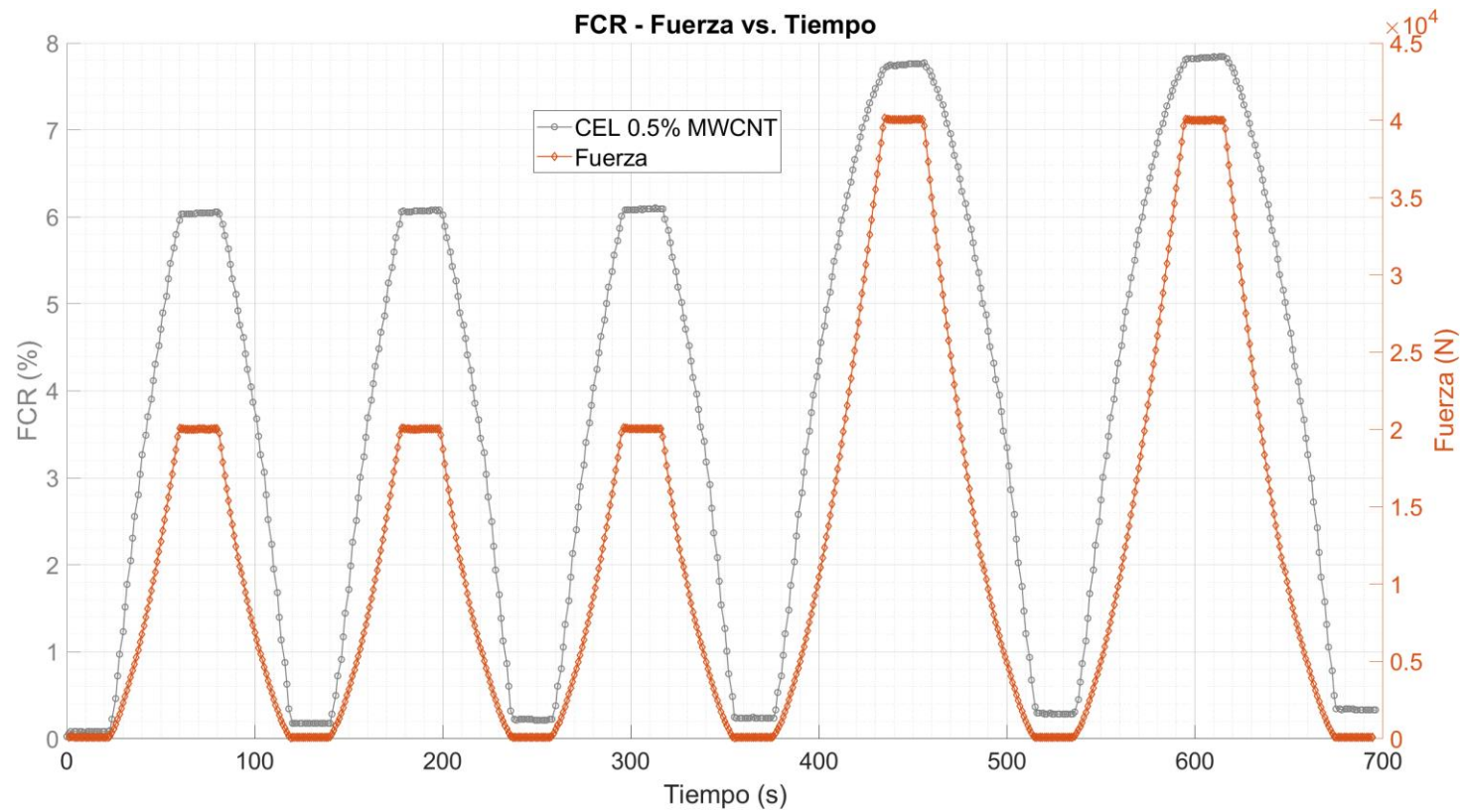


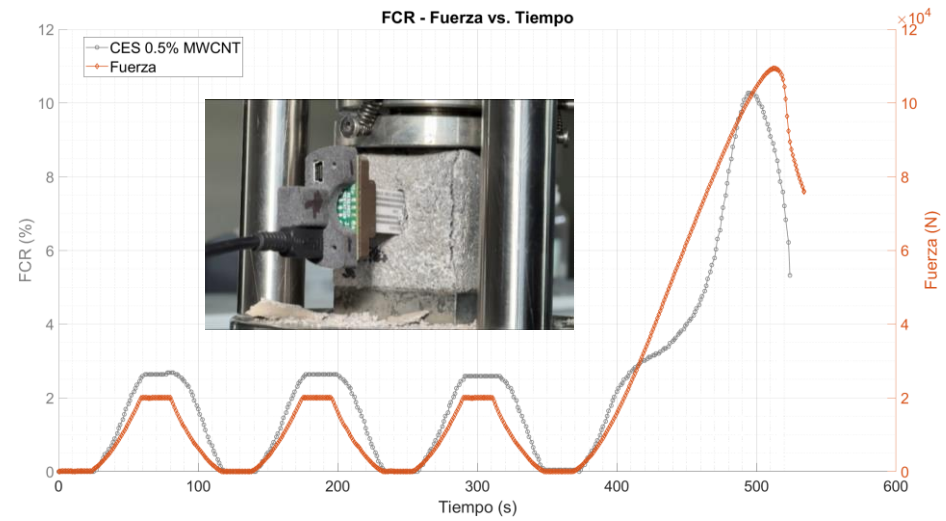
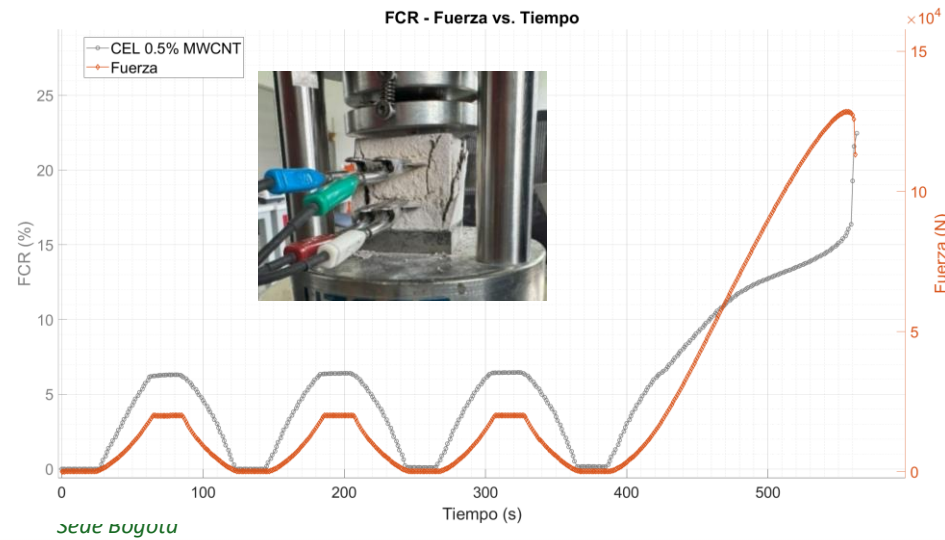
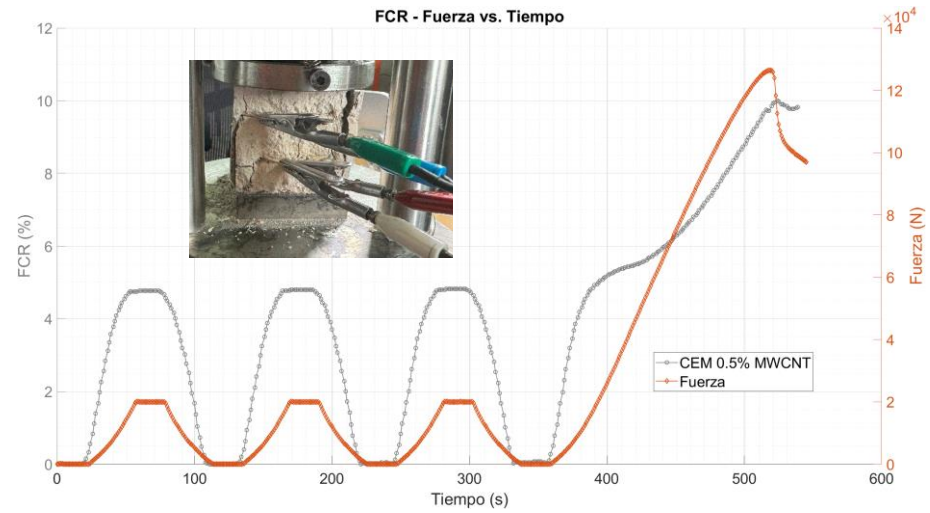


Cambio Fraccional de la Resistencia (FCR)

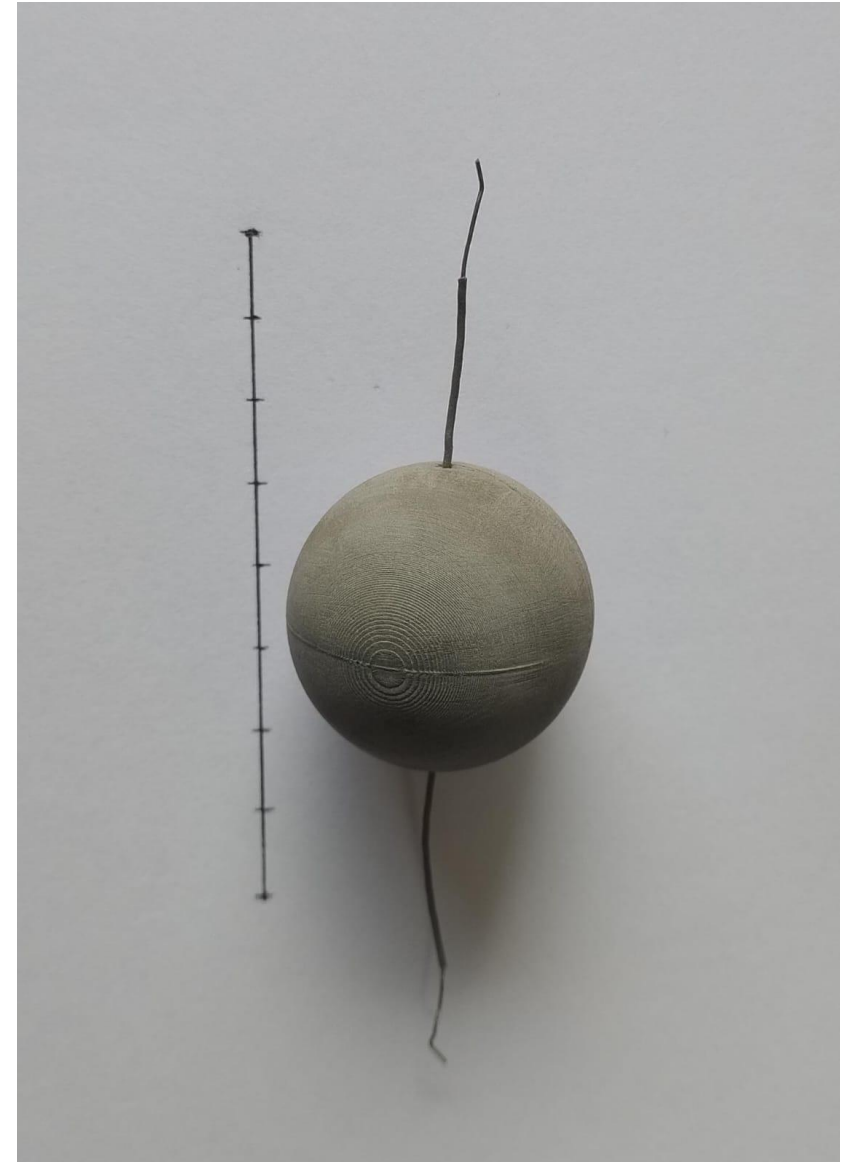
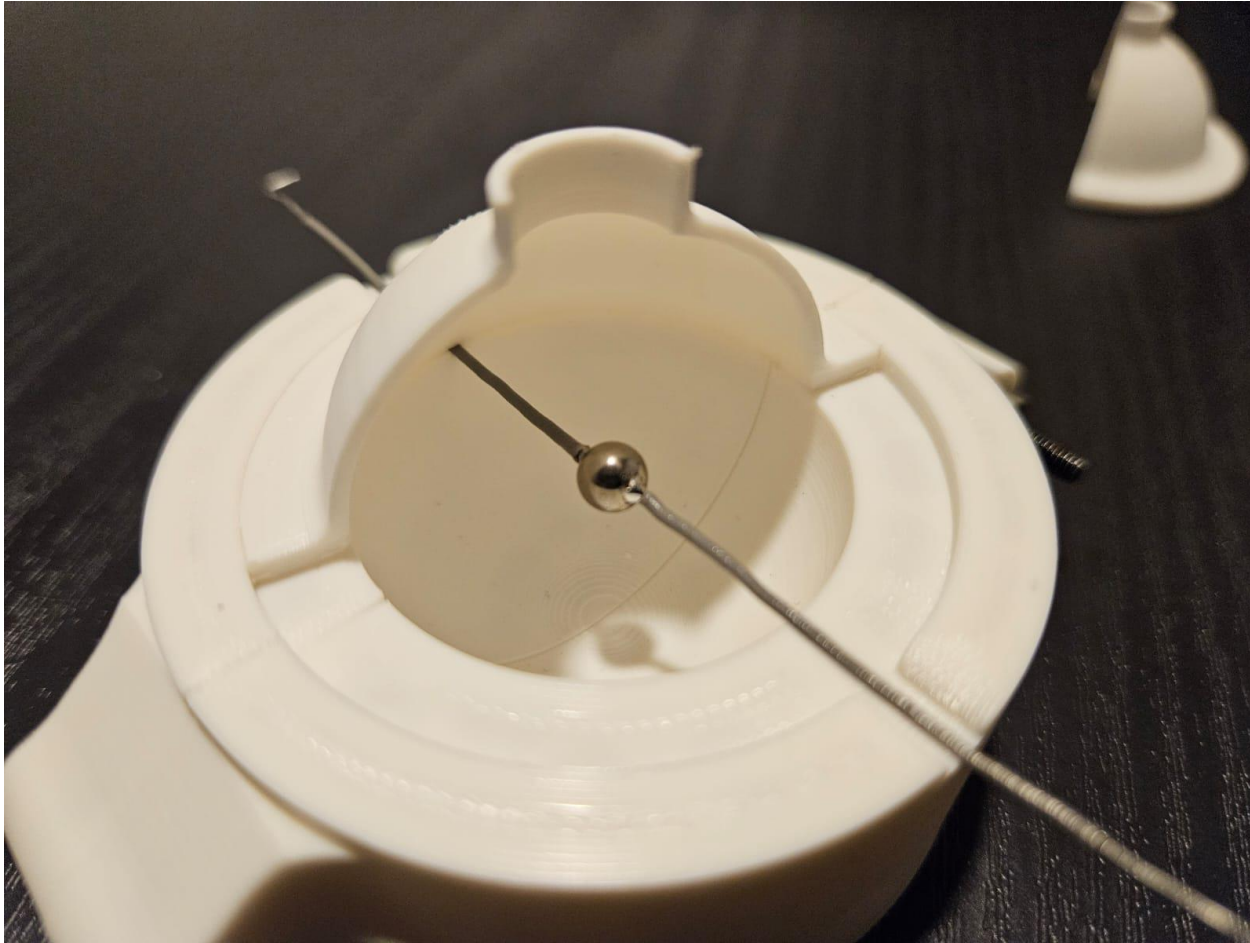


Cambio Fraccional de la Resistencia (FCR)





Tesis de doctorado Milton Mena
Nueva propuesta de sensor



GRACIAS