



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
SEDE BOGOTÁ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ÁREA CURRICULAR DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA



Doctorado en Ingeniería

**Ingeniería Civil**

# EFECTO DE LA NANOSILICE SOBRE LAS PROPIEDADES REOLOGICAS DE PASTAS DE CEMENTO Y SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE CONCRETOS HIDRÁULICOS

**Desarrollado por:**

Ing. MSc. Julián David Puerto Suárez

**Director:**

Ing. PhD. MSc. Juan Manuel Lizarazo Marriaga  
Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola

**Codirector:**

Quim. PhD. MSc. Gilmer Nicolas Hernandez Guarín  
Departamento de Química



UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA  
SEDE BOGOTÁ

FACULTAD DE INGENIERÍA  
ÁREA CURRICULAR DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA  
**DOCTORADO EN INGENIERÍA - INGENIERÍA CIVIL**

Doctorado en Ingeniería

**un**  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA



ORGULLOUN

Ingeniería Civil

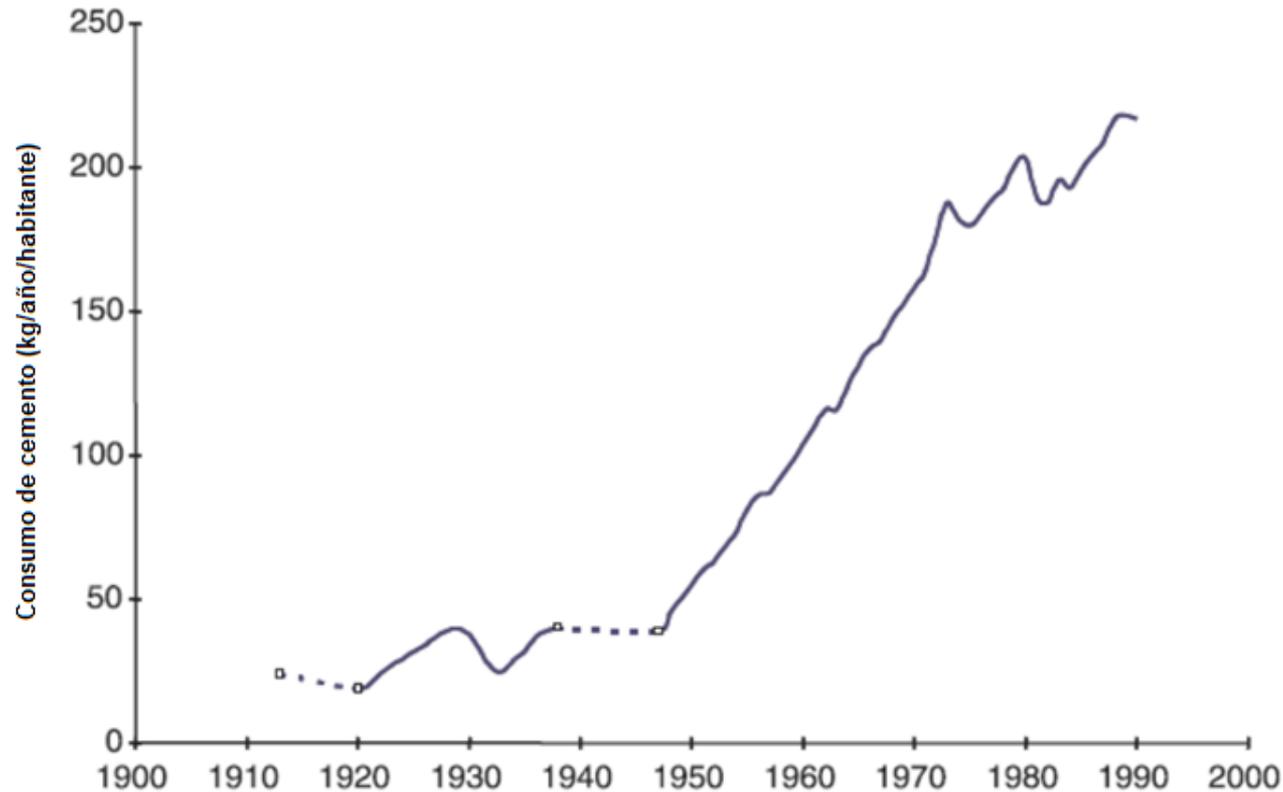
# Grupo de Investigación de Estructuras - GIES



Doctorado en Ingeniería  
*Ingeniería*

*Civil*

# Contextualización



Incremento del promedio per-capital de consumo de cemento durante el siglo veinte  
(CEMBUREAU)

Doctorado en Ingeniería

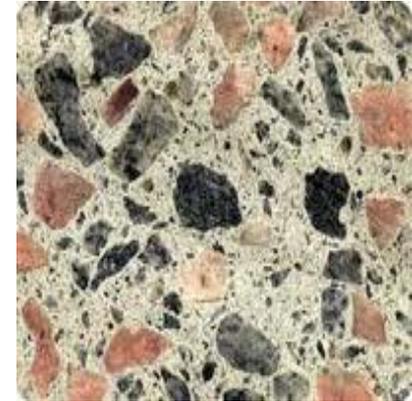
**Ingeniería Civil**

# Propiedades del concreto

- Estado fresco

Estabilidad de volumen

Trabajabilidad



- Estado endurecido

Resistencia

Durabilidad



# PROBLEMAS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO



Prueba del Slump para consistencia del concreto



Segregación del concreto

# Estado Fresco del concreto

## TRABAJABILIDAD:

- Consistencia
- Compactabilidad
- Fluidéz
- Terminabilidad
- Movilidad
- Bombeabilidad



“Cantidad de energía mecánica necesaria requerida para producir una compactación total del concreto sin producir segregación”

Doctorado en Ingeniería

Ingeniería Civil

Si un material es bombeado, lanzado, extendido, extruido, moldeado, recubierto, mezclado o transportado, la **REOLOGIA** es importante



# REOLOGÍA

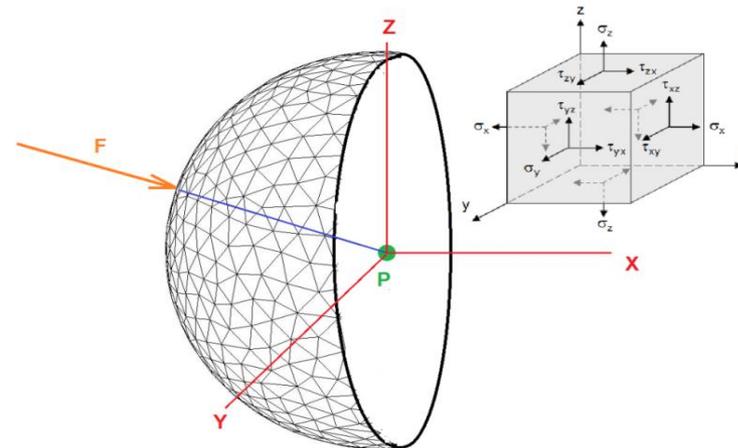
La reología es el área de la física que estudia las deformaciones de la materia bajo la acción de esfuerzos y la fluencia de la materia, “ciencia del flujo de la materia”.

la materia puede ser estudiada en estado líquido, sólido y gases, o en combinación de estas como suspensiones, emulsiones, pastas y polímeros.

# REOLOGÍA

En tamaños de partículas y coloides, la reología se fundamenta en el estudio de la mecánica del medio continuo, la cual pretende plantear ecuaciones que describan con exactitud el comportamiento de las deformaciones de la materia en condiciones físicas y químicas determinadas.

$$\boldsymbol{\tau} = \begin{bmatrix} \tau_{xx} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \tau_{yy} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \tau_{zz} \end{bmatrix}$$



# REOLOGÍA

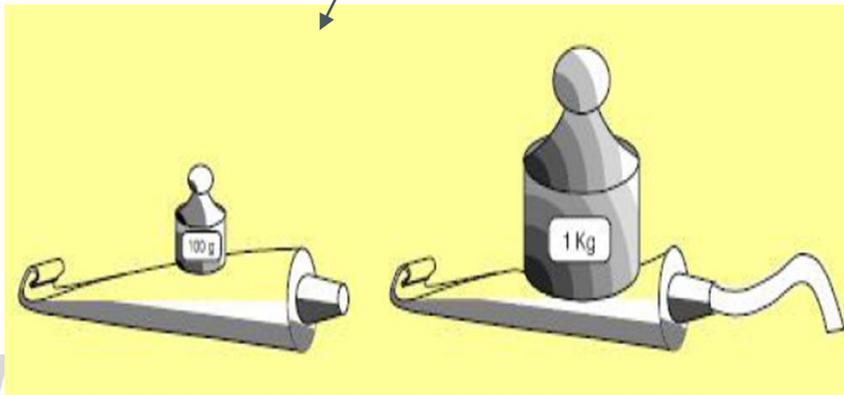
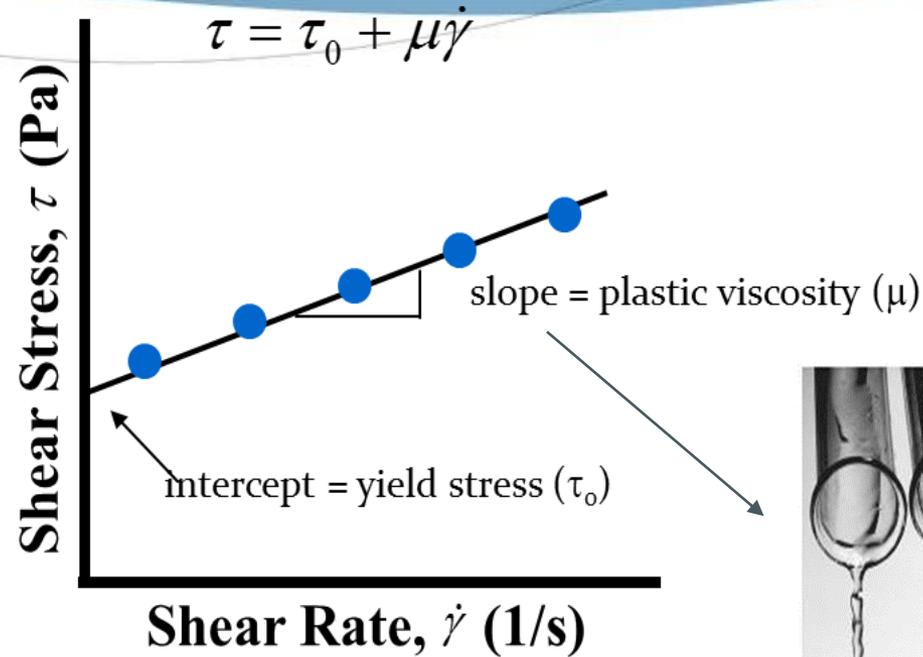
La materia que estudia la reología son desde la viscosidad de fluidos newtonianos hasta los solidos elásticamente deformables - ley de Hooke.



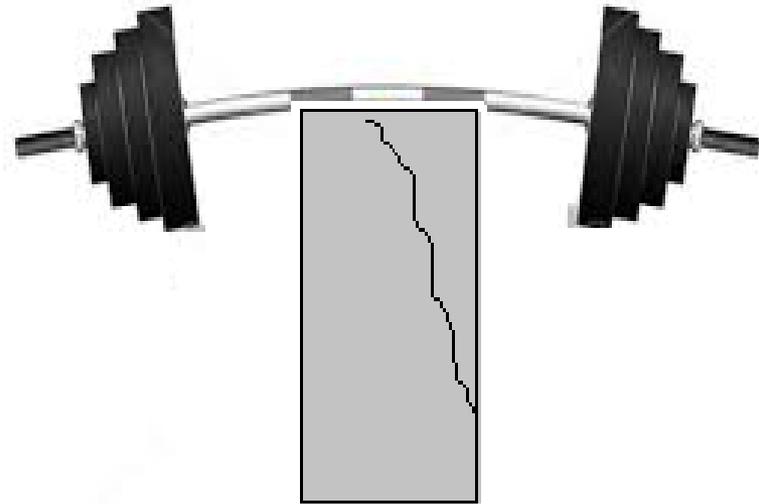
# REOLOGÍA

Las propiedades que la reología estudia son: viscosidad, consistencia, elasticidad, relajación, coeficiente de esfuerzo normal, módulo de almacenamiento y función compleja de viscoelasticidad no lineal.

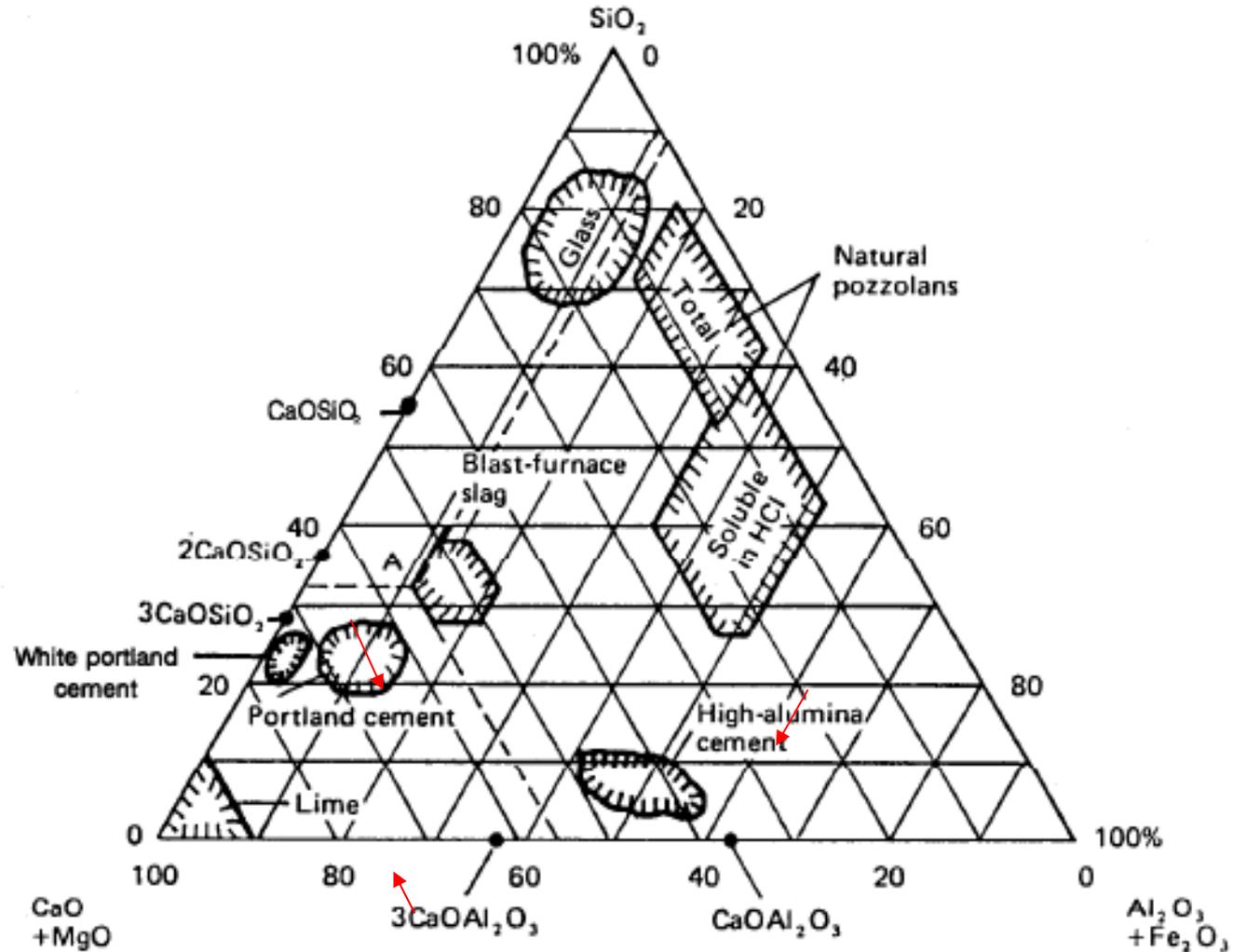
# REOLOGÍA



# PROBLEMAS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO



# Estado Endurecido



Doctorado en Ingeniería

# Ingeniería Civil

# Características de las adiciones activas

- Altos contenidos de silicatos o aluminatos
- Componentes amorfos (vítreos).
- El tamaño de grano es muy pequeño (polvos)

# NANOSILICE

```
graph TD; A[NANOSILICE] --> B(Estado fresco: Modificador viscosidad); A --> C(Estado endurecido: Puzolana);
```

Estado fresco:  
Modificador viscosidad

Estado endurecido:  
Puzolana

# Nano materiales

- ◆ Materiales con tamaños nanométricos 1nm – 100 nm en alguna de sus direcciones.
- ◆ Efecto Nano son las propiedades que presenta un mano material por la consecuencia de reduccion de dimensión.
- ◆ Nuevas propiedades: electromagnéticas, mecánicas, químicas, asociadas al tamaño de particula < tamaño característico

Mecánica

Óptica

Magnéticas



Dist de Dislocaciones

Long. De Onda

Monodominio

# Nano materiales

• Reactividad de Partícula

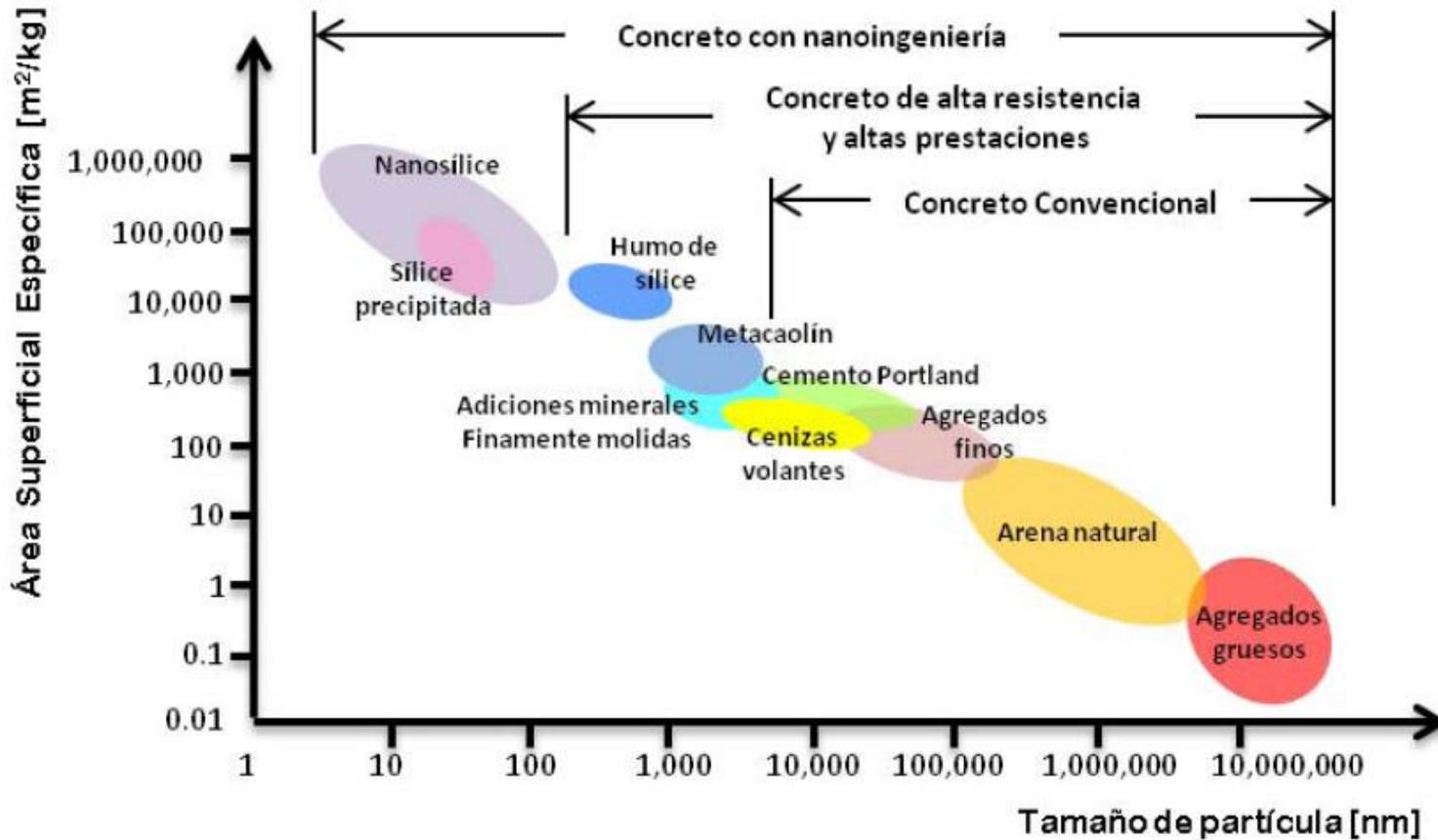


Partícula Superficie Específica



• Podemos concluir que los Nano materiales posee un alta relación área superficial / volumen más su multitud de interfase lo hacen un buen catalizador.

# Nano sílice y nano materiales



Doctorado en Ingeniería

# Ingeniería Civil

# NANOSILICE

```
graph TD; A[NANOSILICE] --> B(Nano Sílice Comercial); A --> C(Obtención de Nano sílice En laboratorio procedimiento de química Sol-Gel);
```

Nano Sílice Comercial

Obtención de Nano sílice  
En laboratorio  
procedimiento de química  
Sol-Gel

Doctorado en Ingeniería

*Ingeniería Civil*

# Pregunta de la Investigación

Es posible tratar concretos hidráulicos en estado fresco y endurecido con nano partículas de sílice y aumentar su durabilidad, resistencia y trabajabilidad?

# Objetivos

## ◆ Objetivo General :

Evaluar el efecto de la nano sílice sobre las propiedades reológicas de pastas de cemento y mecánicas de concretos hidráulicas.

# Objetivos

## ◆ **Objetivos Específicos:**

Obtener y caracterizar nano sílice con potencialidad de ser usada en materiales cementantes hidráulicos.

Evaluar el efecto de la adición de nano sílice sobre la reología y endurecimiento de pastas de cemento.

Determinar un modelo reológico a partir del efecto de la adición de la nano sílice en la pasta de cemento.

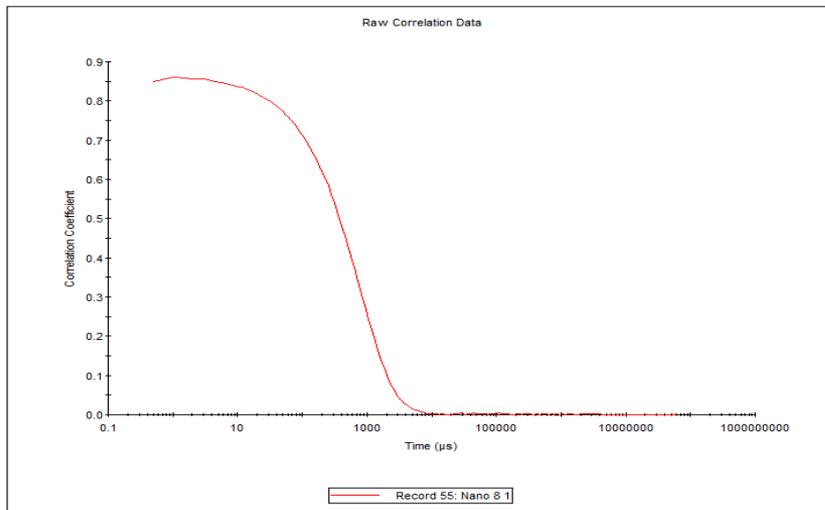
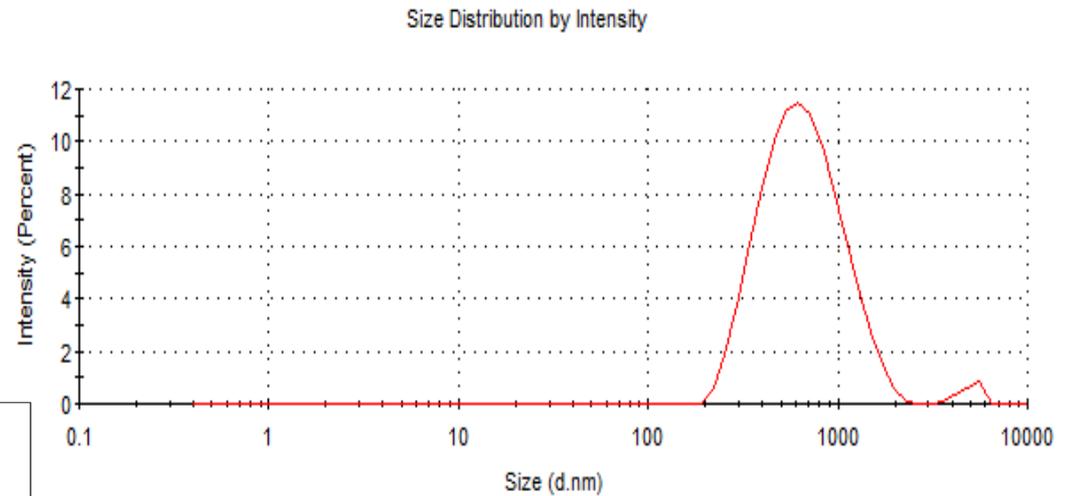
Evaluar el efecto de la adición de nano sílice sobre las propiedades en estado fresco y endurecido de mezclas de concreto.

# Formulación del Problema

- ◆ En la actualidad los concretos modernos son puestos a prueba en las mas exigentes condiciones constructivas, cumpliendo grandes exigencias en estado fresco y endurecido, con altas expectativas en sus calidades de resistencia, trabajabilidad y durabilidad. Al respecto, la nano silice por sus características de tamaño modifican la reología del material en estado fresco y por sus características silíceas y de forma puede presentar reacciones que generan productos cementates.

# Ensayos Iniciales

# Indice de Polidispersidad y TM – N8

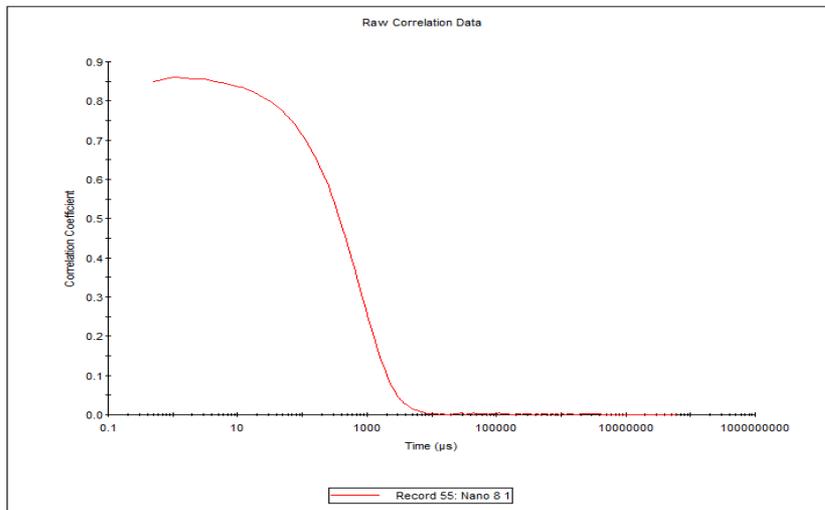
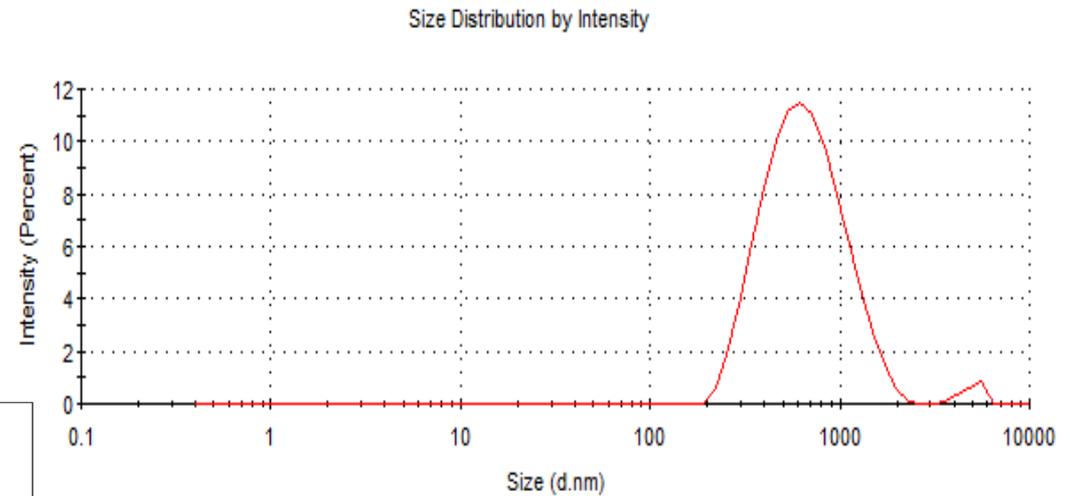


- PDI = 0.34
- TM = 620 nm
- Diámetro Promedio = 510 nm

Doctorado en Ingeniería

# Ingeniería Civil

# Indice de Polidispersidad y TM – N100

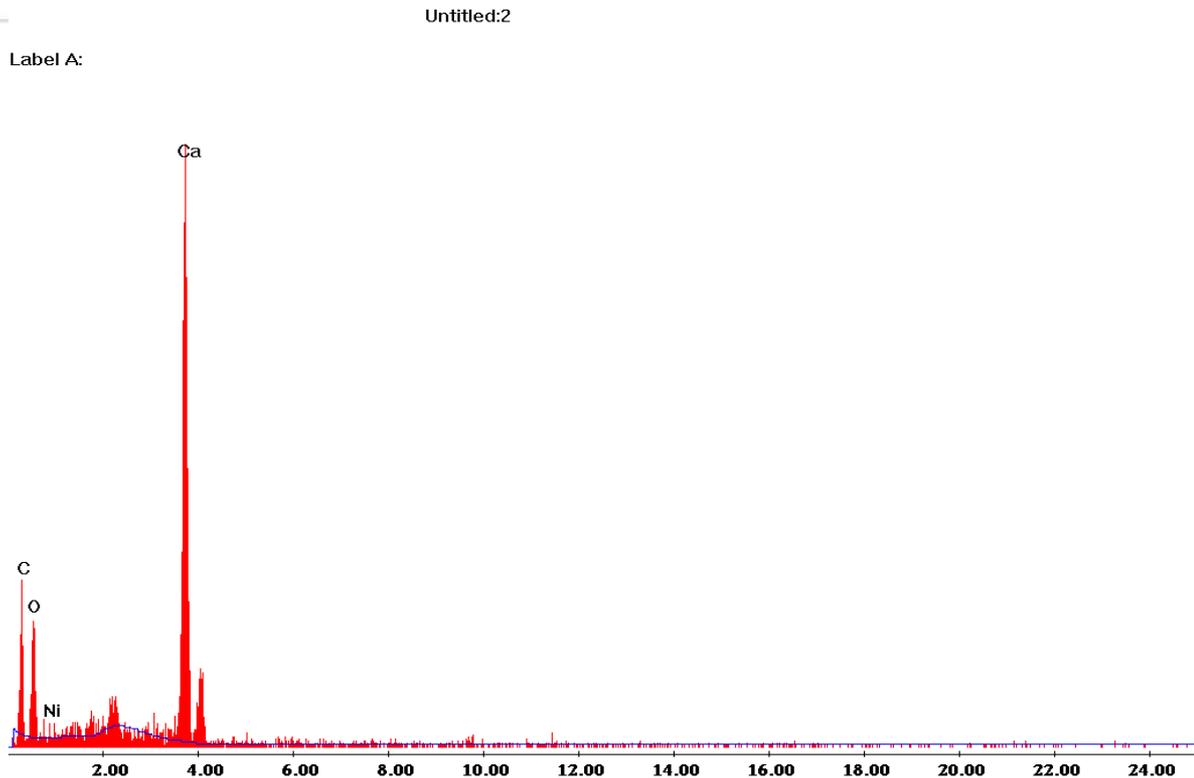
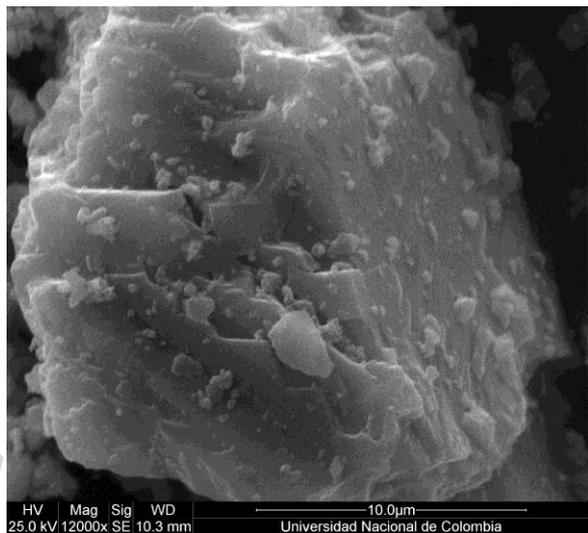
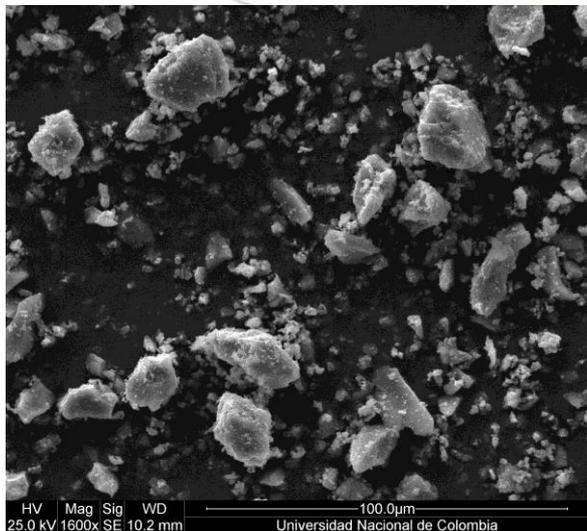


- 💧 PDI = 0.38
- 💧 TM = 520 nm
- 💧 Diámetro Promedio = 480 nm

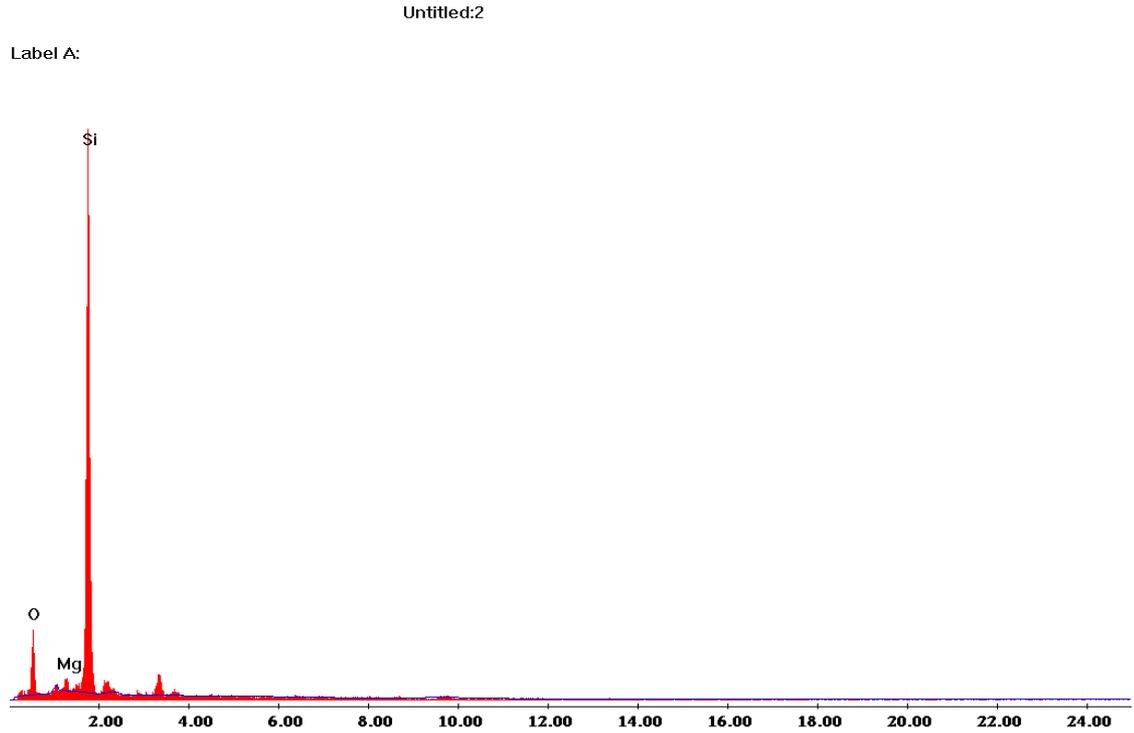
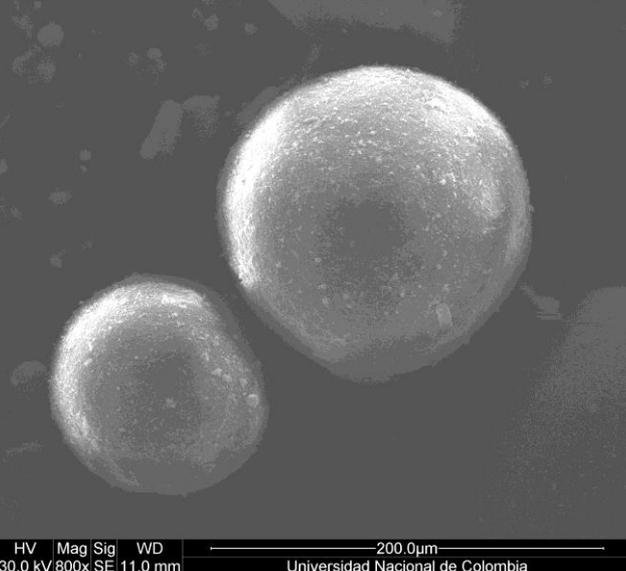
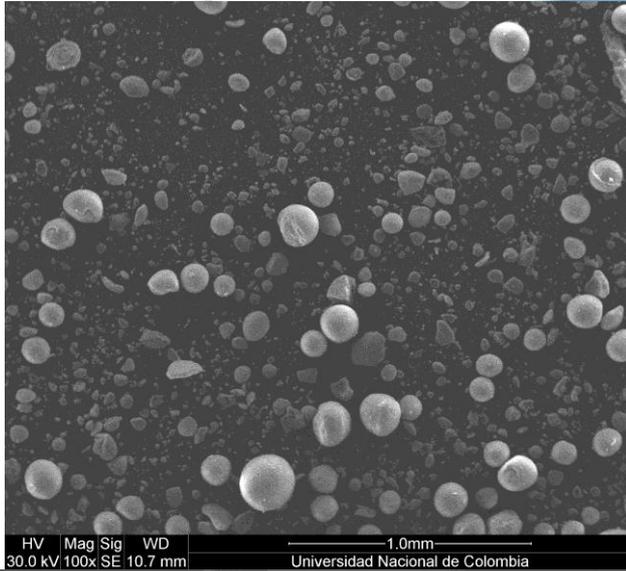
Doctorado en Ingeniería

# Ingeniería Civil

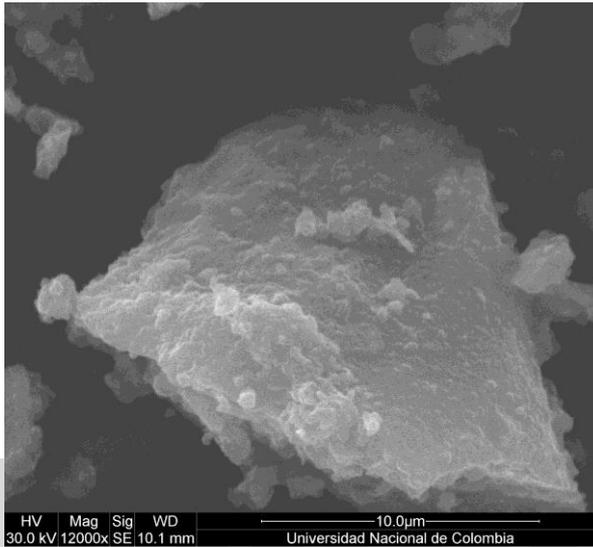
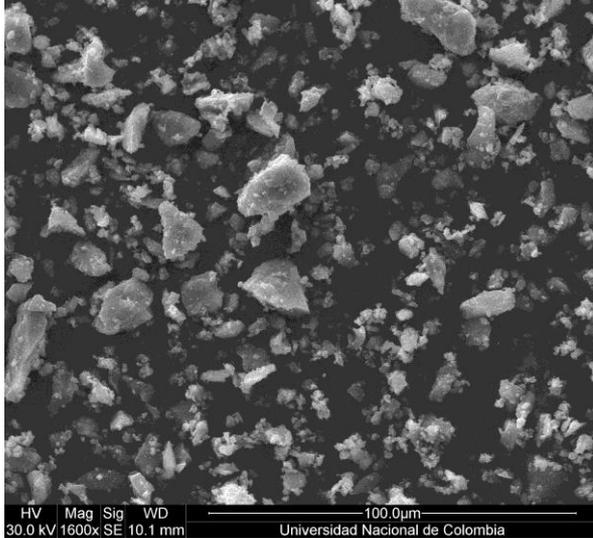
# Microscopía de Barrido electrónico SEM - Cemento



# Microscopía de Barrido electrónico SEM – MS - M1

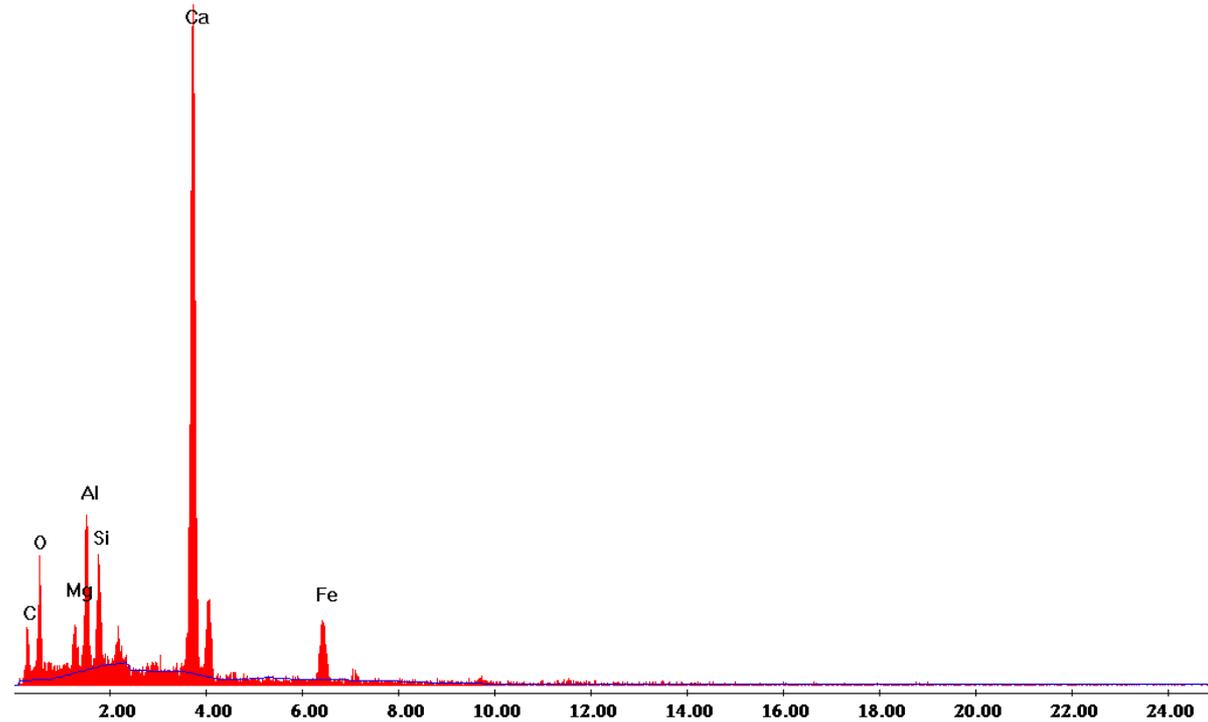


# Microscopía de Barrido electrónico SEM – MS – M2

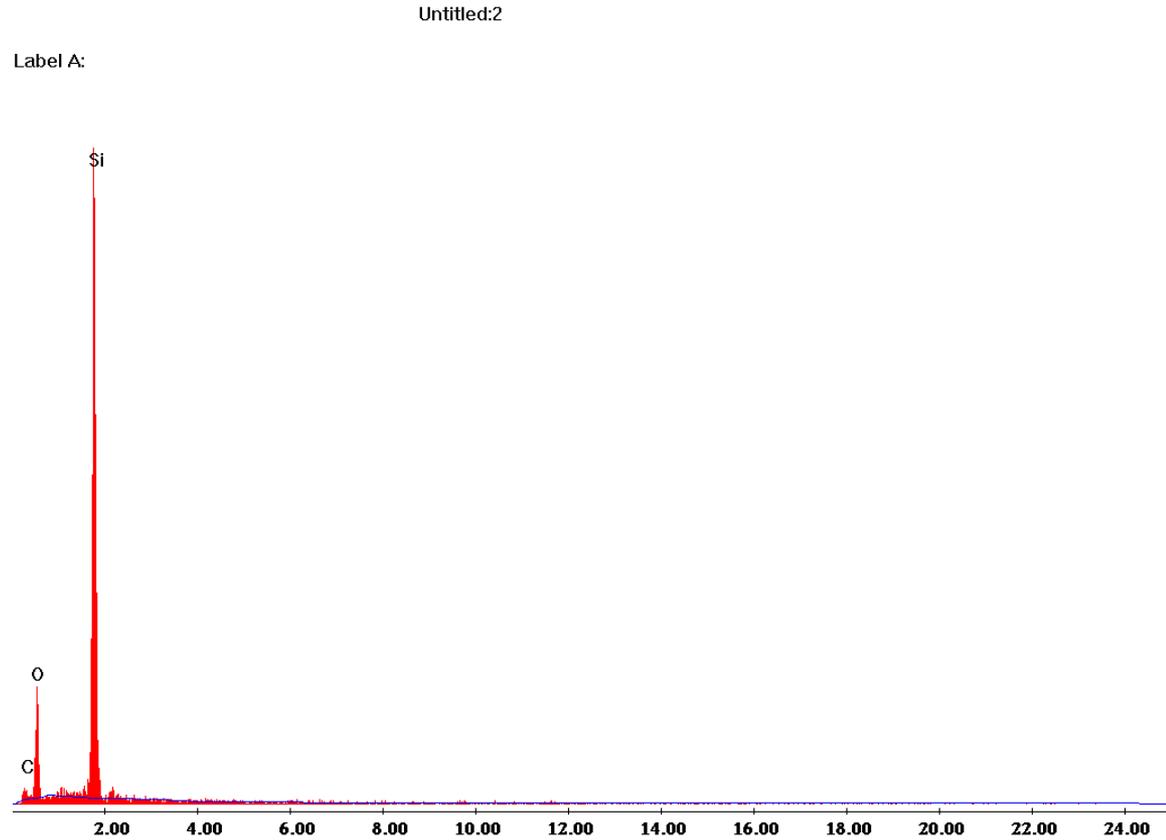
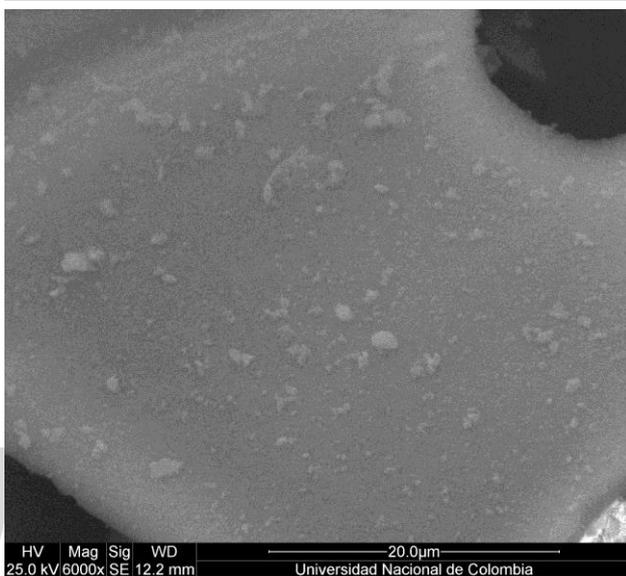
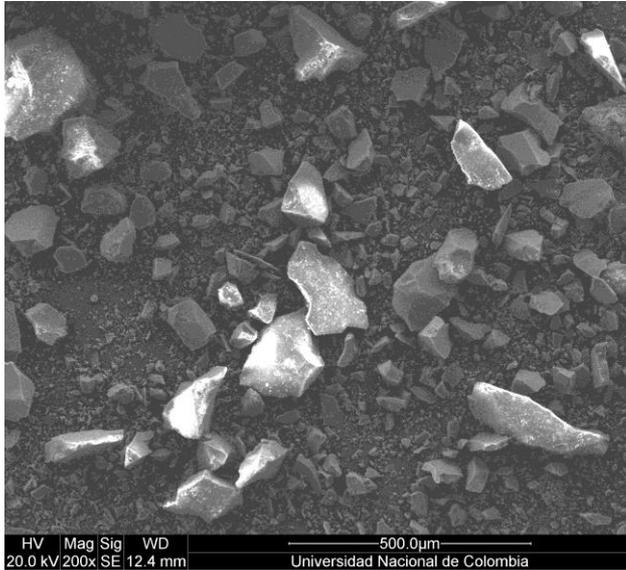


Untitled:2

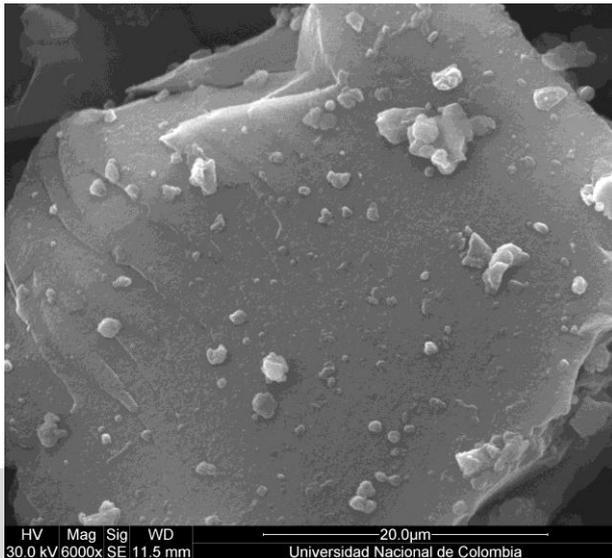
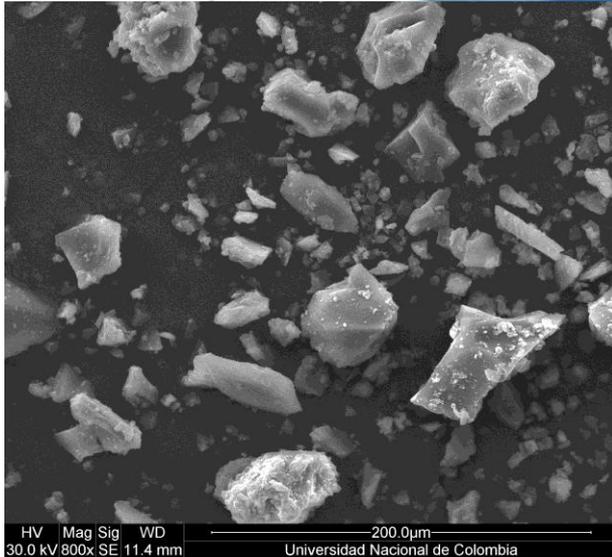
Label A:



# Microscopía de Barrido electrónico SEM – NS – M3

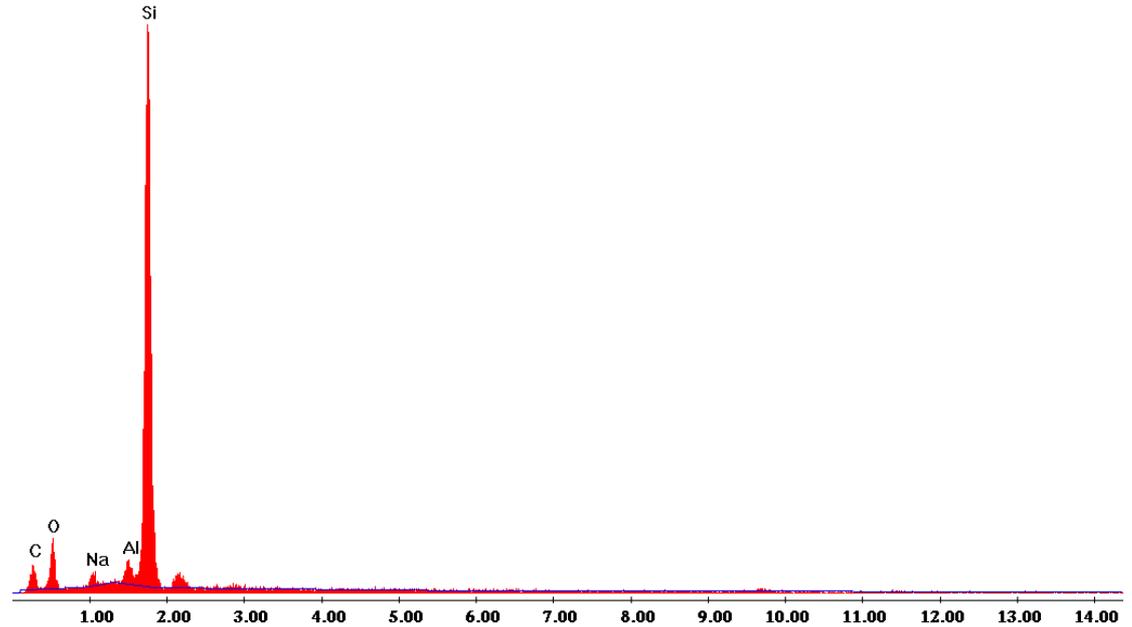


# Microscopía de Barrido electrónico SEM – NS – M2



Label A:

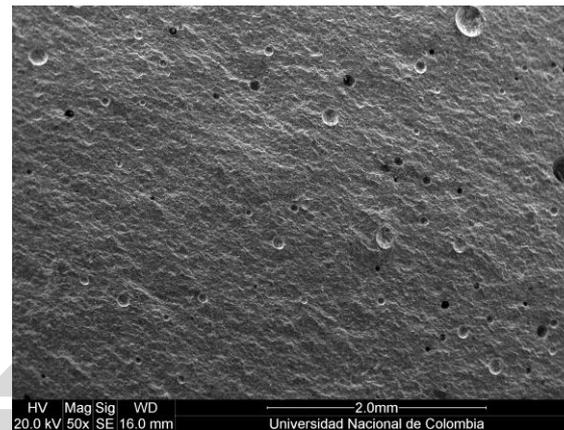
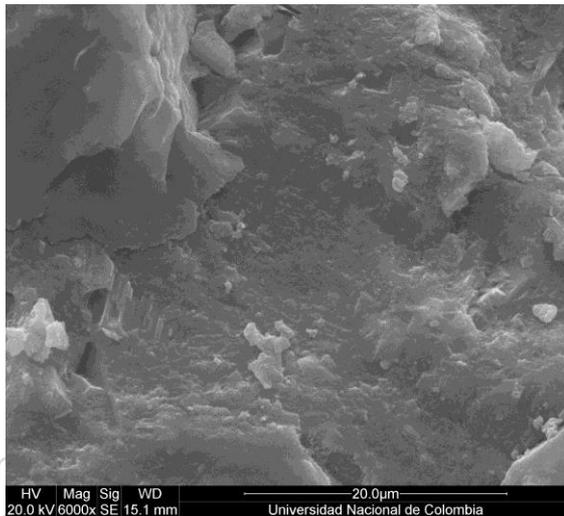
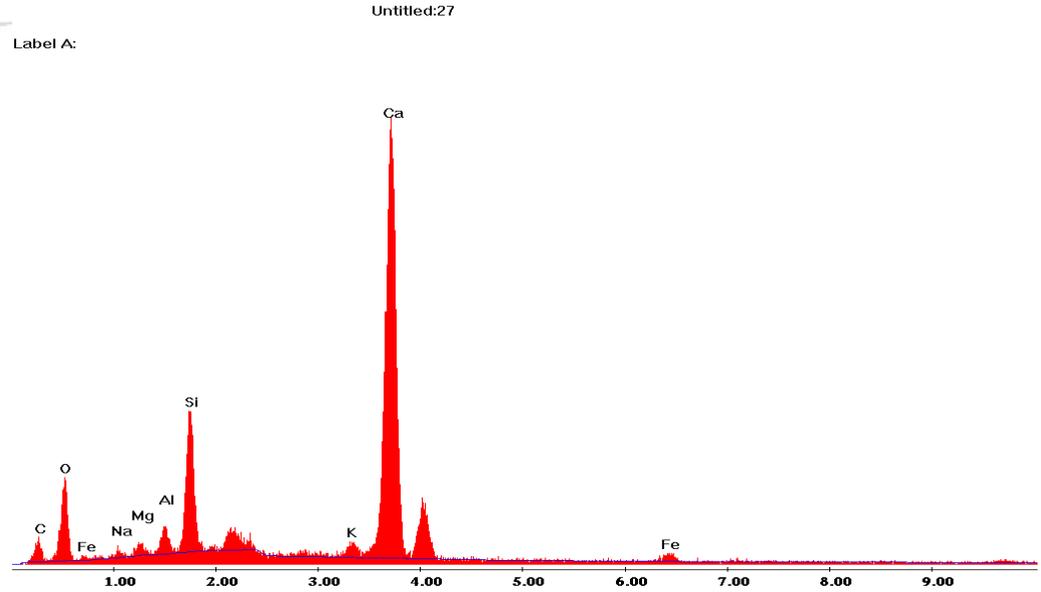
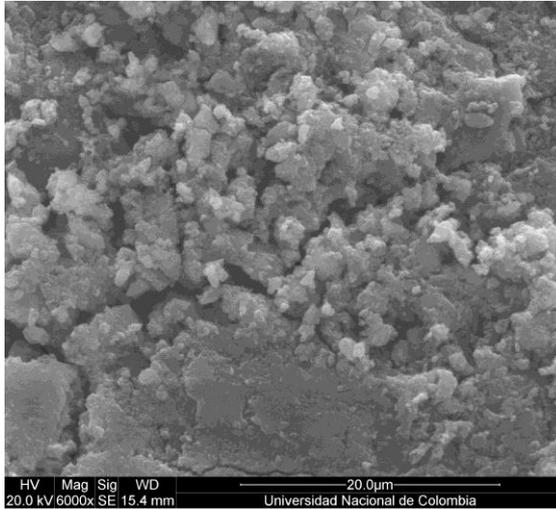
Untitled:2



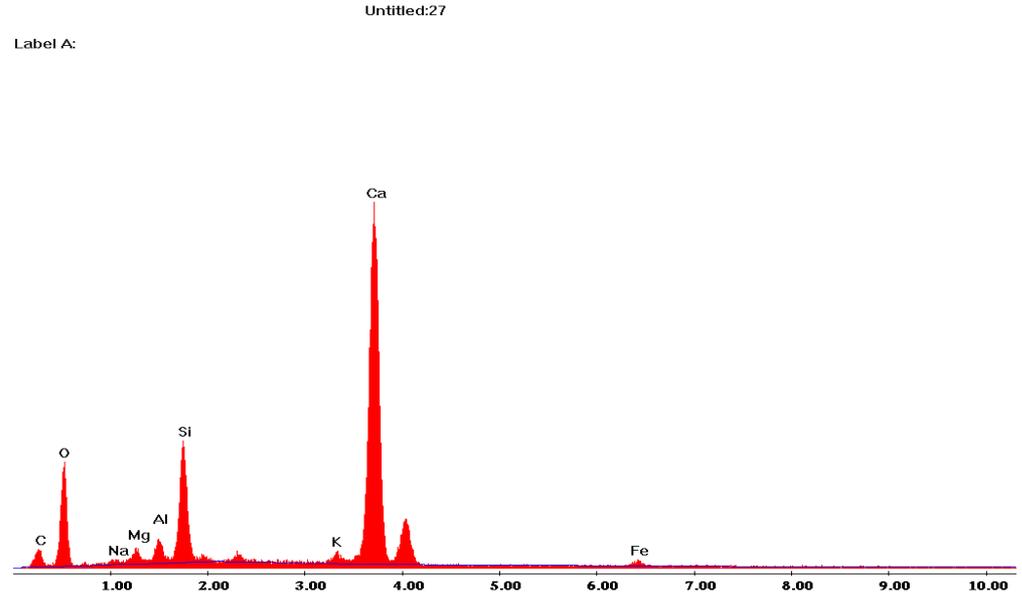
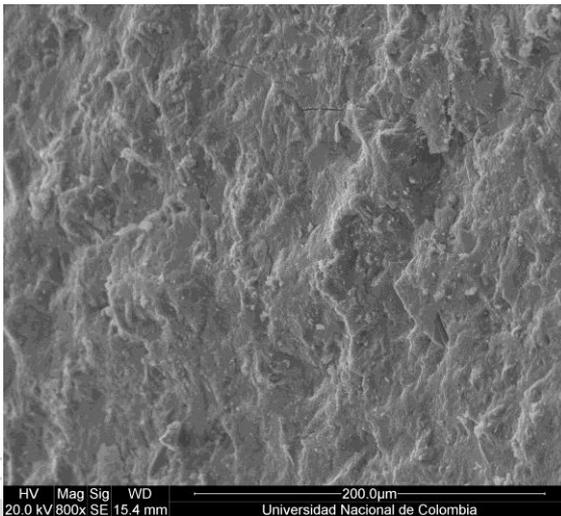
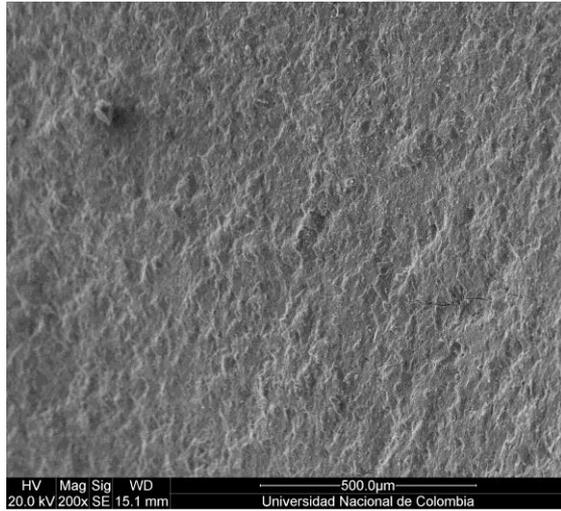
# Tiempos de Fraguado



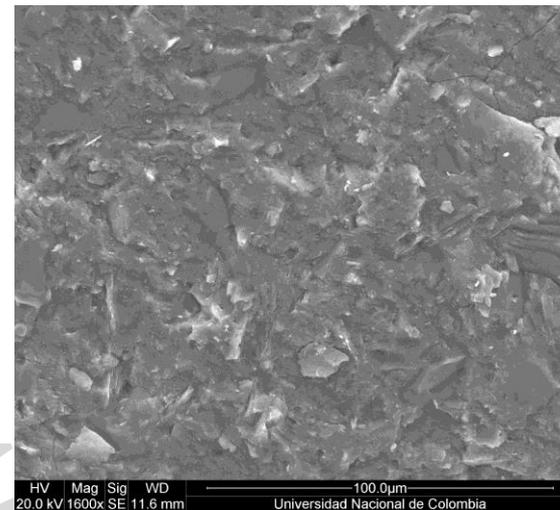
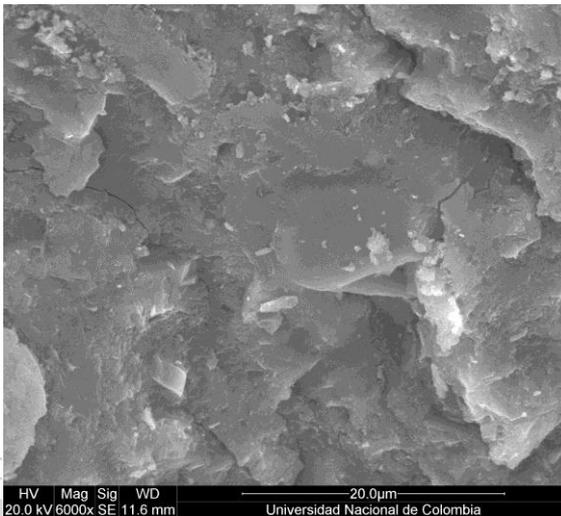
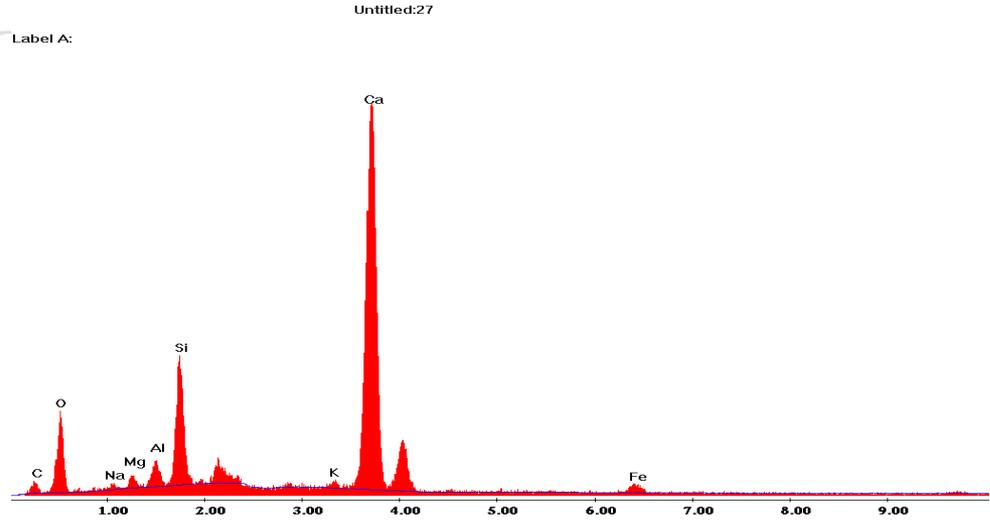
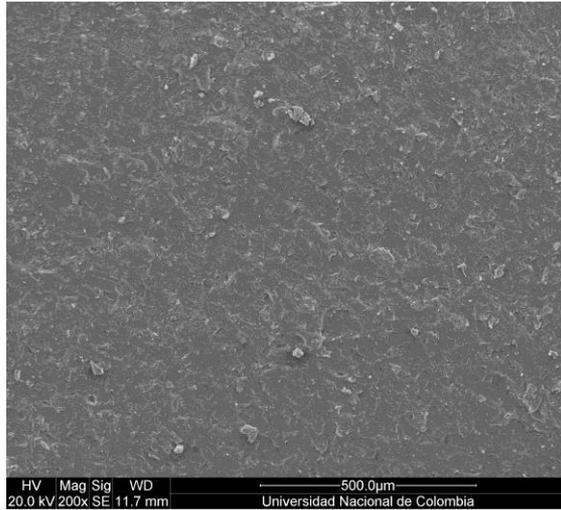
# Muestra Patron



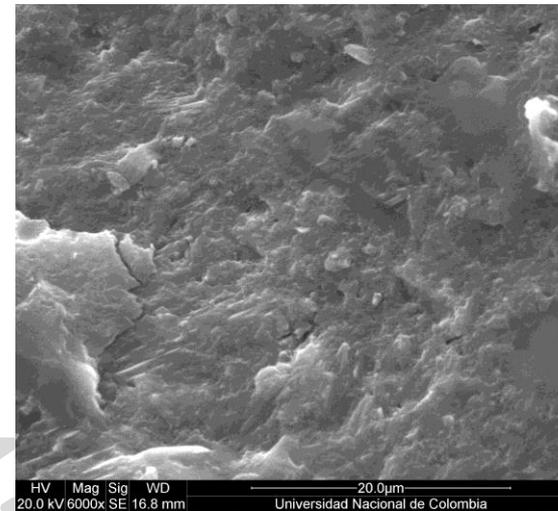
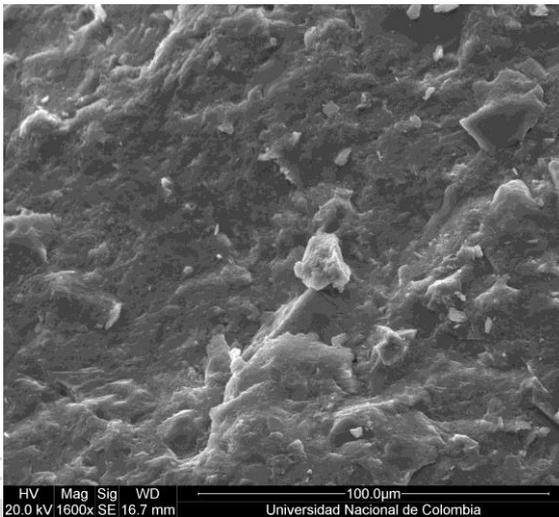
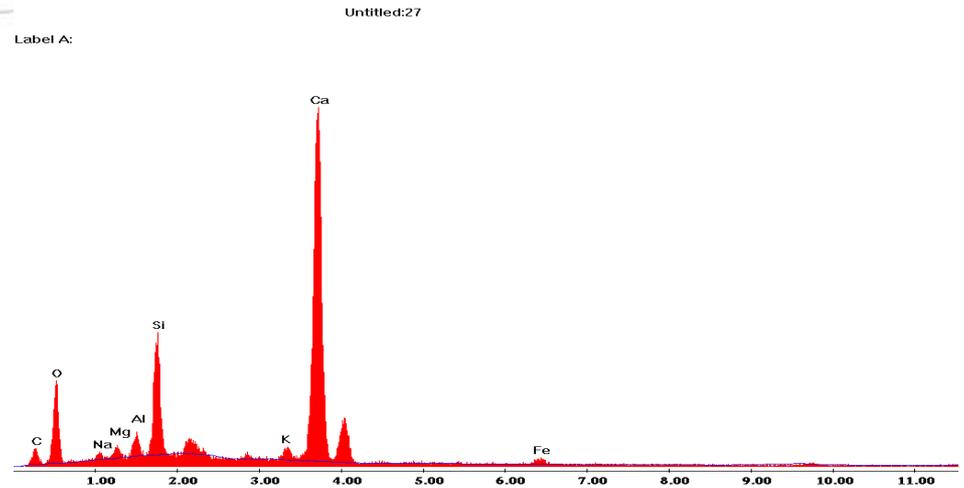
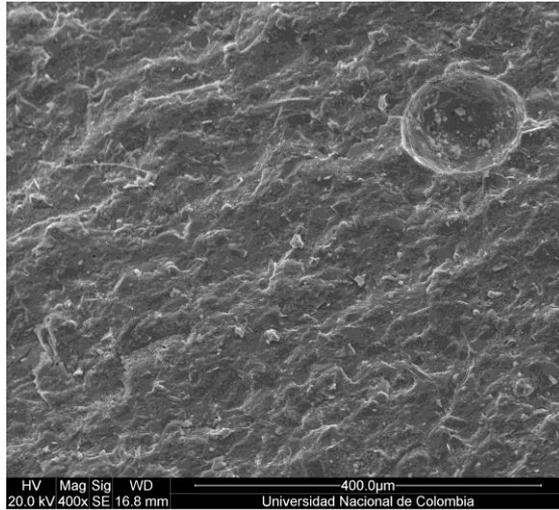
# Nano 8 (0.5%)



# Nano 8 (1.5%)



# Nano 100 (0.5%)



# Referencias

- ◆ [1] F. Sanchez and K. Sobolev, “Nanotechnology in concrete - A review,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 24, no. 11, pp. 2060–2071, 2010.
- [2] B. B. Mukharjee and S. V Barai, “Influence of incorporation of nano-silica and recycled aggregates on compressive strength and microstructure of concrete,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 71, pp. 570–578, 2014.
- ◆ [3] G. Fitzgerald, J. Dejoannis, and M. Meunier, *Modeling, Characterization, and Production of Nanomaterials*. Elsevier Ltd., 2015.
- ◆ [4] M. Nili and A. Ehsani, “Investigating the effect of the cement paste and transition zone on strength development of concrete containing nanosilica and silica fume,” *Mater. Des.*, vol. 75, pp. 174–183, 2015.
- ◆ [5] R. Zhang, X. Cheng, P. Hou, and Z. Ye, “Influences of nano-TiO<sub>2</sub> on the properties of cement-based materials: Hydration and drying shrinkage,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 81, pp. 35–41, 2015.
- ◆ [6] M. Ltifi, A. Guefrech, P. Mounanga, and A. Khelidj, “Experimental study of the effect of addition of nano-silica on the behaviour of cement mortars,” *Procedia Eng.*, vol. 10, pp. 900–905, 2011.

# Referencias

- ◆ [7] M. Stoia, P. Barvinschi, and F. Barvinschi, “Structural and morphologic characterization of zirconia-silica nanocomposites prepared by a modified sol-gel method,” *J. Cryst. Growth*, vol. 401, no. 3, pp. 462–468, 2014.
- ◆ [8] L. P. Singh, S. R. Karade, S. K. Bhattacharyya, M. M. Yousuf, and S. Ahalawat, “Beneficial role of nanosilica in cement based materials - A review,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 47, pp. 1069–1077, 2013.
- ◆ [9] V. Van Hoang and D. Ganguli, “Amorphous nanoparticles - Experiments and computer simulations,” *Phys. Rep.*, vol. 518, no. 3, pp. 81–140, 2012.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

SEDE BOGOTÁ

FACULTAD DE INGENIERÍA

ÁREA CURRICULAR DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA

DOCTORADO EN INGENIERÍA - INGENIERÍA CIVIL

Laboratorio de Ensayos Hidráulicos

Edificio 408 (LEH) – Oficina 205

Tel/Fax: +57 | 316 5000 Ext. 13411

[diracica\\_fibog@unal.edu.co](mailto:diracica_fibog@unal.edu.co)

<https://sites.google.com/a/unal.edu.co/diracica/>