



LABORATÓRIO NACIONAL  
DE ENGENHARIA CIVIL



FICAL  
Forum Ibérico de la Cal

# V Jornadas FICAL

## Fórum Ibérico da Cal

Livro de Resumos

Portugal | Lisboa | LNEC | 23 - 25 | maio | 2016

Editores:

Maria do Rosário Veiga

Marluci Menezes

António Santos Silva

Ana Rita Santos

Dora Santos

Sandro Botas



#### Aviso Legal

A qualidade científica e os conteúdos das comunicações são da inteira responsabilidade dos respetivos autores. O editor não aceita qualquer responsabilidade pela informação contida nas comunicações inseridas na presente publicação.

Nos termos legais em vigor, é expressamente proibida a reprodução total ou parcial desta publicação, no seu todo ou em parte, não podendo ser reproduzida ou transmitida por qualquer forma ou processo eletrónico, mecânico ou outros, incluindo cópia, sem autorização expressa do editor.

Esta publicação inclui CD com as comunicações

Copyright © LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL, I. P.  
Divisão de Divulgação Científica e Técnica  
AV DO BRASIL 101 • 1700-066 LISBOA  
e-e: livraria@lnec.pt  
www.lnec.pt

Editor: LNEC

Coleção: Reuniões Nacionais e Internacionais

Série: RNI 94

1ª edição: 2016

Tiragem: 180 exemplares

Descritores: Cal / Património histórico / Património cultural / Material de construção / Construção tradicional /  
/ Conservação / Reabilitação / Material ecológico / Península Ibérica / Congresso

Descriptors: Lime / Historical heritage / Cultural heritage / Construction material / Traditional material / Maintenance /  
/ Rehabilitation / Ecological material / Iberian Peninsula / Congress

CDU 691.51(063)(1-924.61)  
ISBN 978-972-49-2281-2

# V Jornadas FICAL Fórum Ibérico da Cal

Revestimentos saudáveis: o papel da cal..... 40  
*Ana Velosa*

## A CAL como material inovador LA CAL como material innovador

Desempenho de argamassas de cal em sistemas de isolamento térmico ..... 43  
*Sofia Malanho, Maria do Rosário Veiga*

Consolidação de revestimentos históricos com nanocal: vantagens, limites, progressos ..... 44  
*Giovanni Borsoi, Barbara Lubelli, Rob van Hees, Maria do Rosário Veiga, António Santos Silva*

Regulação passiva da humidade relativa por betão de cânhamo..... 45  
*Tânia Simões, Fionn McGregor, Antonin Fabbri, Paulina Faria*

Argamassas Suberosas ..... 46  
*António Fernandes*

Efeito da água de cal aplicada para consolidar superfícies calcárias alteradas no Claustro da Hospedaria, Mosteiro de Alcobaça..... 47  
*Inês Cardoso, Maria Fernandes, José Mirão*

A Nova Cal Hidráulica Natural na Reabilitação ..... 48  
*Dina Frade, Cristina Sequeira, Paulo Gonçalves*

Nanocais para consolidação de suportes com pintura mural: síntese, caracterização e estudos de eficiência..... 49  
*P.I. Girginova, C. Galacho, J. Mirão, Maria do Rosário Veiga, A. Santos Silva, A. Candeias*

Emboço ventilado para edifícios antigos sujeitos a humidade ascensional e sais solúveis ..... 50  
*Ana Fragata, Maria do Rosário Veiga, Ana Velosa*

**Aditivos y adiciones para la mejora de los morteros de cal ..... 51**  
***J. I. Alvarez, M. Pérez-Nicolás, I. Navarro, A. Durán, R. Sirena, J. M. Fernández***

## A CAL na conservação e reabilitação LA CAL en la conservación y rehabilitación

A cal no tratamento de materiais para a construção e reabilitação de infraestruturas de transporte ..... 55  
*Eduardo Fortunato*

A cal na conservação e restauro de revestimentos antigos - estudos de casos com diferentes técnicas .56  
*Martha Lins Tavares*

Métodos de ensaio de revestimentos existentes. Ensaios “in situ” e em laboratório ..... 57  
*Dora Santos, Maria do Rosário Veiga*

Ouro Sobre Azul: Restituição do Programa Decorativo Original das Fachadas do Palácio Nacional de Queluz ..... 58  
*Sandra Alves, Carlos Marques, Daniel Silva, José Mirão, António Candeias*

Argamassas de cal: o que falta saber para a sua utilização em conservação e reabilitação? ..... 59  
*Maria do Rosário Veiga*

## Aditivos y adiciones para la mejora de los morteros de cal

J. I. Alvarez<sup>(1)</sup>, M. Pérez-Nicolás<sup>(1)</sup>, Í. Navarro<sup>(1)</sup>, A. Duran<sup>(1)</sup>, R. Sirera<sup>(1)</sup>, J. M. Fernández<sup>(1)</sup>

(1) Departamento de Química, Facultad de Ciencias, Universidad de Navarra, 31080, Pamplona, España, jalvarez@unav.es

### RESUMEN

El creciente uso del mortero de cal puede justificarse y avalarse con varios argumentos que destacan los problemas asociados a la utilización del cemento Portland, que, en caso de empleo del mortero de cal, desaparecen o son minimizados: los morteros de cal son más compatibles con los métodos de edificación y materiales antiguos desde diversos puntos de vista: químico, estructural y mecánico (Arizzi, 2012).

Puede advertirse que todavía persisten problemas relacionados con los morteros de cal, como las relativamente bajas resistencias, alta sensibilidad a los procesos de deterioro debidos a la baja cohesión interna y alta porosidad, factores que aportan una elevada capacidad de retención de agua, y una pequeña resistencia a heladas y a la cristalización de sales. La incorporación de aditivos (agentes químicos) y/o adiciones minerales puzolánicas (recientemente llamadas materiales cementicios suplementarios, SCMs) podría ser muy eficaz para subsanar, parcial o totalmente, algunos de estos problemas. Las adiciones puzolánicas, bien conocidas en el campo de la química del cemento, reaccionando con el hidróxido de calcio del medio, generan silicatos de calcio que se hidratan conformando matrices de cierto carácter hidráulico, incrementando las resistencias y acortando los tiempos de fraguado (Silva, 2014). En el caso de morteros de inyección o de relleno ("grouts"), por ejemplo, la presencia de aditivos se antoja imprescindible para lograr una adecuada reología del mortero fresco que permita su aplicación, ya que estos morteros deben fluir adecuadamente durante su aplicación, garantizando después, además de su estabilidad de volumen, su correcto fraguado y durabilidad (Azeiteiro, 2014; Baltazar, 2014).

La incorporación a un mortero de uno o varios aditivos o adiciones puzolánicas adecuadamente seleccionados conlleva una mejora muy considerable en una o varias de sus propiedades y, por lo tanto, del comportamiento del material. Por esta razón, los aditivos han adquirido en los últimos años una importancia enorme en la industria de la construcción y son muchos los estudios que se han desarrollado en torno a este tema para morteros de cemento y hormigones (Sowoidnich, 2015). El presente trabajo describe los resultados obtenidos en la incorporación de diversos aditivos y adiciones a morteros de cal, centrados en dos tipos de combinaciones: en primer lugar, el efecto positivo de diversos agentes superplastificantes, a veces combinados con adiciones puzolánicas como nanosilice o metacaolín. Dentro de estos aditivos superplastificantes, se destaca el efecto de dos éteres de policarboxilato de diferente arquitectura molecular, un polinaftalensulfonato y un lignosulfonato. Los éteres de policarboxilato se han mostrado eficaces en reducir el incremento en la demanda de agua causado, por ejemplo, por la incorporación de nanosilice. La presencia simultánea de éteres de policarboxilato y nanosilice se ha comprobado eficaz en el incremento de resistencia mecánica y de durabilidad de los morteros de cal. Con adiciones de metacaolín, los derivados de policarboxilato presentaron un gran efecto dispersante en pastas de cal aérea. El impedimento estérico fue el principal mecanismo de acción de estos superplastificantes. Por su parte, el lignosulfonato fue más efectivo en la acción dispersante que el sulfonato de naftaleno. Con un fuerte impedimento estérico y una notable capacidad de formar complejos con el ión  $\text{Ca}^{2+}$ , el lignosulfonato, en morteros de cal aérea, dificultó la carbonatación y ralentizó el fraguado. Sin embargo, en morteros con adiciones de nanosilice, este aditivo resultó

más eficaz que el condensado de naftaleno en la promoción de fases C-S-H, mientras que el aditivo con base naftaleno, con fuerte interacción electrostática y adsorción plana, mostró una elevada tasa de consumo y una mayor interferencia con la formación de fases C-S-H al dar lugar a compuestos de intercalación organominerales.

La segunda de las combinaciones abordadas en este trabajo refiere a la presencia de aditivos fotocatalíticos para morteros de cal. El papel desempeñado por el  $\text{TiO}_2$  en sistemas de cemento es conocido, pero hay pocos trabajos concernientes al  $\text{TiO}_2$  en morteros de cal. En esta investigación se comentan los resultados de la aplicación del  $\text{TiO}_2$  en morteros de cal tras su adición en masa en comparación a su adición como recubrimiento activo en superficie. Se evaluó la tasa de abatimiento de óxidos de nitrógeno,  $\text{NO}_x$ , como medida de la actividad del aditivo. Para la preparación de los recubrimientos se estudiaron diversos sistemas portadores y agentes dispersantes. Finalmente, con el propósito de incrementar la sensibilidad de los aditivos fotocatalíticos hacia la luz visible, se presentan resultados de la actividad de aditivos fotocatalíticos de  $\text{TiO}_2$  dopado con Fe o con V en morteros de cal. El dopado persigue reducir el band-gap del óxido semiconductor y aumentar la actividad con luz visible, de interés para zonas sombrías o interiores donde los fotones UV son minoritarios. Los resultados obtenidos muestran unas elevadas tasas de abatimiento de  $\text{NO}_x$  y son potencialmente muy interesantes para profundizar en el estudio de estos sistemas.





LABORATÓRIO NACIONAL  
DE ENGENHARIA CIVIL



FICAL  
Forum Ibérico de la Cal

# V Jornadas FICAL

## Fórum Ibérico da Cal

### Programa

Portugal | Lisboa | LNEC | 23 - 25 | maio | 2016

Editores:

Maria do Rosário Veiga

Marluci Menezes

António Santos Silva

Ana Rita Santos

Dora Santos

Sandro Botas



## 24 MAIO

9:00 – 09:30 **Sessão 6 | Conferência e Debate**  
 Mesa: *Maria do Rosário Veiga (LNEC)*  
*Dora Santos (LNEC)*

**Aditivos y adiciones para la mejora de morteros de cal**

*José Ignacio Álvarez (UNavarra)*

09:30 – 10:45 **Sessão 7 | A cal como material inovador**  
 Mesa: *Maria del Mar Barbero (UPM)*  
*Silvia Costa (LNEC)*

**Consolidação de revestimentos históricos com nanocal:  
 vantagens, limites, progressos**

*Giovanni Borsoi (LNEC e TU Delft)*

**A utilização da cal no desenvolvimento de soluções de  
 argamassas industriais adaptadas ao contexto de reabilitação.**

*Vasco Pereira (Saint Gobain Weber)*

**Un mejor conocimiento de la cal para un mejor uso**

*Iñigo Torre (Cales de Saint-Astier)*

**Debate**

10:45 – 11:00 **Intervalo café/ Apresentação dos Posters**

11:00 – 12:15 **Sessão 8 | A cal como material histórico**  
 Mesa: *Ana Paula Pinto (IST)*  
*Catarina Farinha (IST/LNEC)*

**A cal na produção e conservação de obras de arte**

*António Candeias (UEvora)*

**Consideraciones sobre la datación de morteros de cal mediante  
 C-14**

*Javier Alejandro (USevilha)*

**Los oficios de los hornos de "colmena" en un municipio calero de  
 Colombia: un Patrimonio Inmaterial en riesgo de desaparición**

*Ricardo Hincapié (U. del Valle)*

**Evaluación de impacto ambiental, medidas de mitigación y  
 lineamientos para un PMA de la actividad calera en Vijés, Valle  
 del Cauca, Colombia**

*Rafael Contreras (UAO-U. del Valle)*

**Debate**

V Jornadas FICAL  
Fórum Ibérico da Cal



**ADITIVOS Y ADICIONES PARA LA MEJORA DE MORTEROS DE CAL**

[Alvarez, J.I.](#), [Pérez-Nicolás, M.](#), [Navarro, I.](#), [Duran, A.](#), [Sirera, R.](#), [Fernández, J.M.](#)

Departamento de Química, Grupo MIMED  
UNIVERSIDAD DE NAVARRA

Lisboa, 24 de mayo de 2016

**Introducción**

**Ventajas asociadas al empleo de morteros de cal**

- La cantidad de sales solubles aportada por el mortero de cal es mucho menor que la del cemento Portland.
- Los morteros de cal son más compatibles con los métodos de edificación y materiales antiguos desde diversos puntos de vista: químico, estructural y mecánico.
- Más flexibilidad bajo determinadas condiciones mecánicas, aspecto esencial para los movimientos de las fábricas de mampostería.
- Los morteros de cal son capaces de mantener durante más tiempo la estabilidad estructural de un edificio, pues en el caso de que se originen fracturas en el mortero, éstas pueden subsanarse mediante un proceso de auto-sellado (relacionado con ciclos de disolución/reprecipitación de la calcita).



**Introducción**


**Problemas asociados al empleo de morteros de cal**

- relativamente bajas resistencias para ciertas aplicaciones estructurales
- alta sensibilidad a los procesos de deterioro debidos a la baja cohesión interna y alta porosidad
- elevada capacidad de retención de agua, y pequeña resistencia a heladas y a la cristalización de sales
- largos tiempos de fraguado en el caso de cales aéreas

**Introducción**



**Introducción**



La **incorporación de aditivos (agentes químicos) y/o adiciones minerales puzolánicas** (también llamadas materiales cementicios suplementarios, del inglés Supplementary Cementitious Materials, SCMs) podría ser muy eficaz para subsanar, parcial o totalmente, algunos de estos problemas.

**Introducción**


**Aditivos:**

- compuestos químicos
- industria del cemento
- pequeñas cantidades (su proporción no puede ser superior al 5% en masa del contenido de conglomerante)
- aportar a las propiedades del mortero determinadas modificaciones adicionales (funciones secundarias)

**Adiciones minerales:**

- porcentajes generalmente más altos que los aditivos
- modificación de la mezcla, sea física, química o fisicoquímica
- materiales de relleno o reciclados, adiciones minerales, adiciones con actividad puzolánica (en ese caso SCMs), etc.




 Universidad de Navarra

---

**Introducción**

En la química del cemento se utilizan **aditivos** hidrofugantes, reductores de agua y superplastificantes, retenedores de agua, aireantes, aceleradores de fraguado y retardadores, por ejemplo.

Entre las **adiciones minerales** más frecuentes se encuentran el humo de sílice, cenizas de cáscara de arroz, cenizas volantes, escorias metalúrgicas, tobas volcánicas, arcillas calcinadas, nanosílice, microsílice, etc.

 Universidad de Navarra

---


**Objetivos**

**Objetivos**

1. Estudiar el comportamiento de diferentes agentes **superplastificantes**: éteres de policarboxilato, condensado de sulfonato de naftaleno y lignosulfonato, con y sin adiciones puzolánicas (metacaolín y nanosílice).

*Mejoras esperadas:*

- > Compactación
- > reducción porosidad
- > reducción del agua de amasado
- > incremento resistencias
- > acortamiento tiempos fraguado
- > facilidad para la inyección (grouts)
- > durabilidad


 Universidad de Navarra

---

**Materiales**

**Objetivo 1**

- **Materias primas:** Cal aérea (CL90) + árido calizo (1:3, peso:peso)
- **Adiciones puzolánicas:** Nanosílice o Metacaolín (6, 10 y 20% en relación al peso de cal)
- **Superplastificantes** (0.5 and 1% en relación al peso de cal):
  - > dos éteres de policarboxilato de diferente peso molecular (PCE1 and PCE2)
  - > un polímero de sulfonato de condensados de naftaleno (PNS) polymer
  - > lignosulfonato (LS)

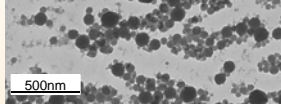
 Universidad de Navarra

---

**Materiales**

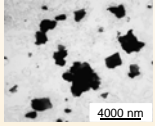
**Las micrografías de TEM micrographs muestran la diferente forma y tamaño de partícula de las adiciones puzolánicas**

Forma esférica, 500 m<sup>2</sup>/g




**Nanosilice**

aglomerados poliédricos, 20 m<sup>2</sup>/g



**Metacaolín**

La caracterización de las moléculas de superplastificantes es muy importante, y se utilizaron diversas técnicas: SEC, FTIR-ATR, MALDI-TOFF, densidad de carga aniónica, titulación ácido-base y análisis elemental.


 Universidad de Navarra

---

**Objetivo 1**

**Resultados: Parte 1**

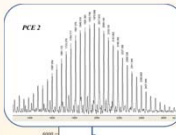
**Elucidación de la arquitectura molecular de los superplastificantes**

 Universidad de Navarra

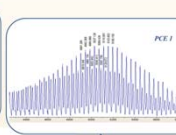
---

**Resultados: elucidación arquitectura molecular SPs**

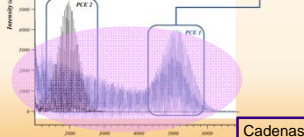
**Resultados de MALDI-TOFF** (Matrix Assisted Laser Desorption Ionization Time-of-Flight) analysis



PCE 2



PCE 1



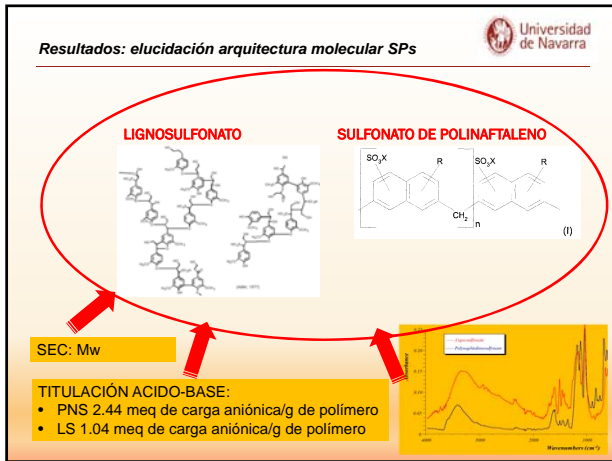
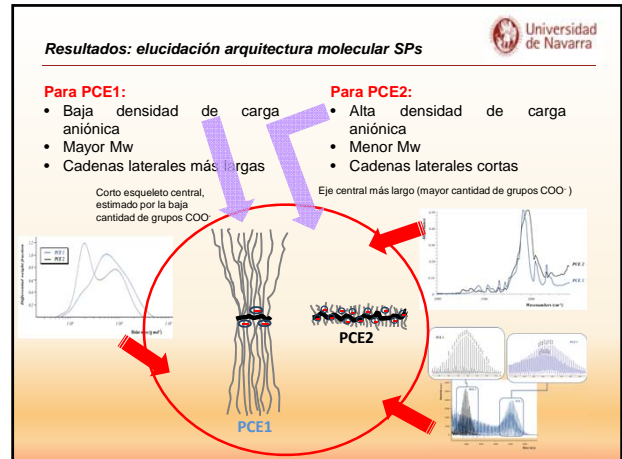
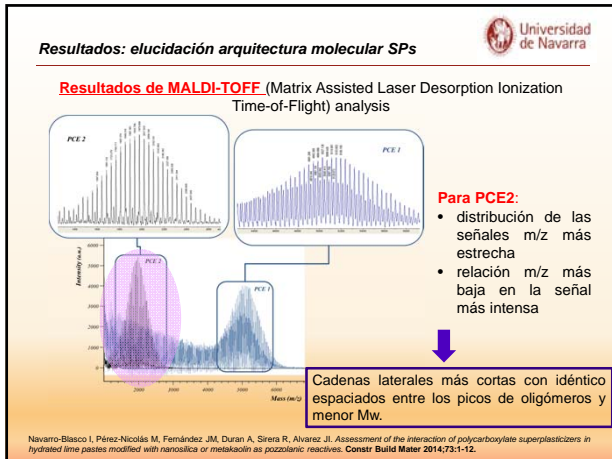
**Para PCE1:**

- Amplio rango de señales en función de la relación carga/masa - m/z
- Posición de la señal más intensa de entre las registradas

↓

Cadenas laterales más largas y mayor Mw que el otro polímero PCE2.

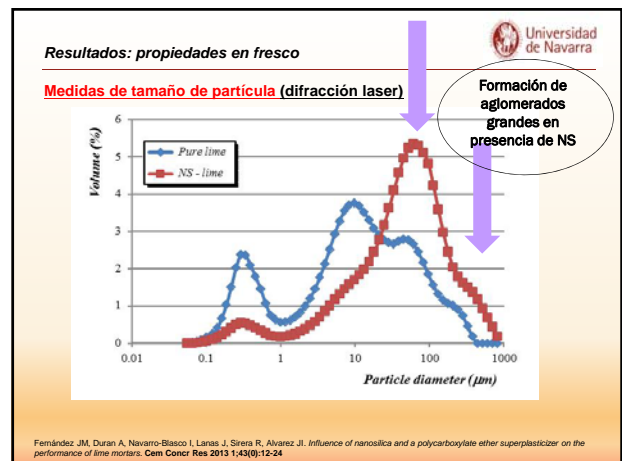
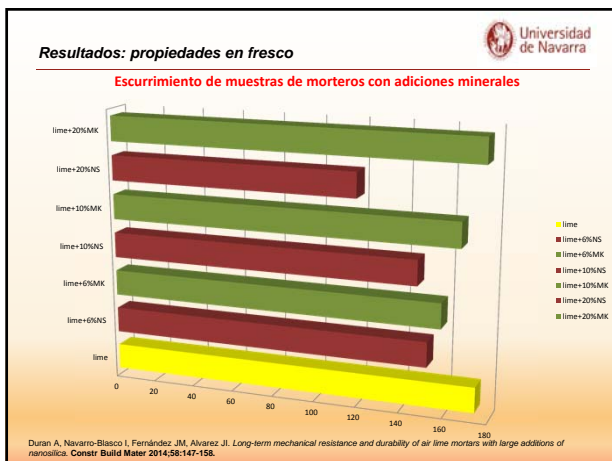
Navarro-Blasco I, Pérez-Nicolás M, Fernández JM, Duran A, Sirena R, Alvarez JI. Assessment of the interaction of polycarboxylate superplastifiers in hydrated lime pastes modified with nanosilica or metakaolin as pozzolanic reactives. *Constr Build Mater* 2014;73:1-12.



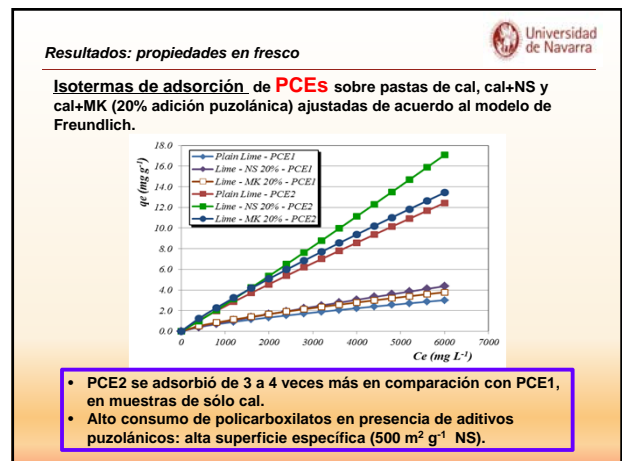
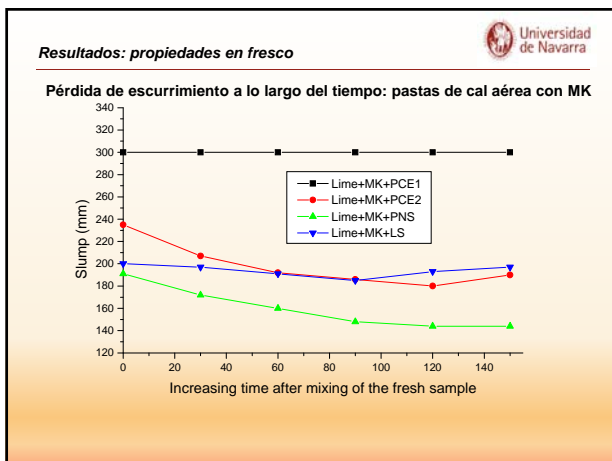
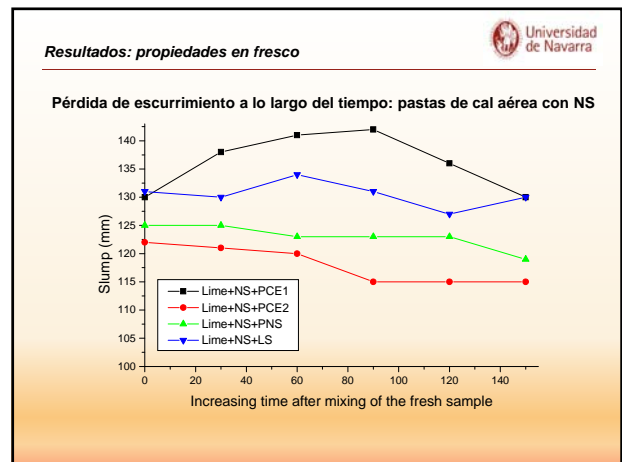
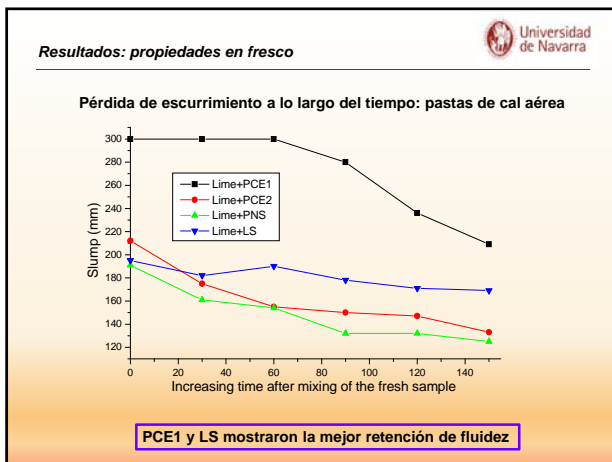
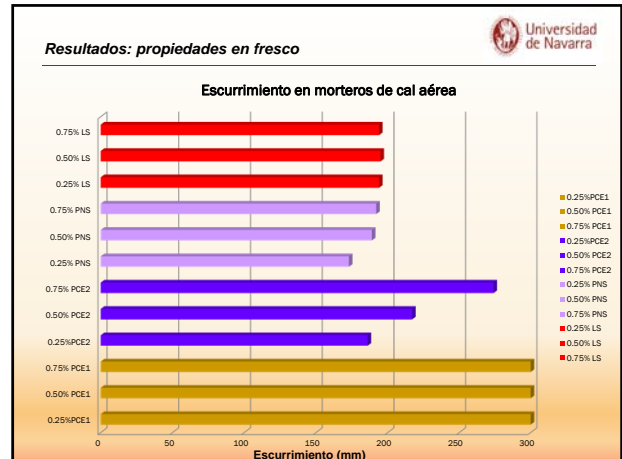
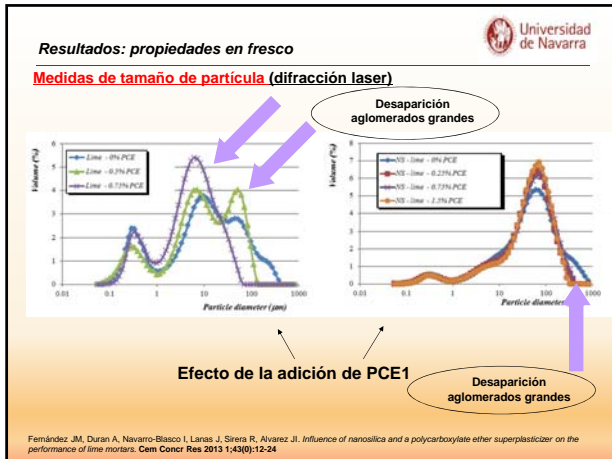
**Objetivo 1**

**Resultados: Parte 2**

**Propiedades en estado fresco de las muestras de pastas y morteros de cal aérea con SPs**







**Resultados: propiedades en fresco**

Parámetros de adsorción de Langmuir y Freundlich para PNS y LS

	Polynaphthalensulfonate			Freundlich model		
	Langmuir model			K	1/n	R <sup>2</sup>
	q <sub>m</sub> (mg g <sup>-1</sup> )	b (dm <sup>3</sup> mg <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>	(mg <sup>1-1/n</sup> dm <sup>3/n</sup> g <sup>-1</sup> )		
0%NS	52.08	1.07 10 <sup>-4</sup>	0.831	1.29 10 <sup>-2</sup>	0.859	0.998
6%NS	285.71	1.77 10 <sup>-5</sup>	0.966	1.01 10 <sup>-2</sup>	0.898	0.987
10%NS	3174.60	1.51 10 <sup>-6</sup>	0.878	6.6 10 <sup>-3</sup>	0.954	0.998
20%NS	3311.26	1.44 10 <sup>-6</sup>	0.450	4.9 10 <sup>-3</sup>	0.996	1.000

	Lignosulfonate			Freundlich model		
	Langmuir model			K	1/n	R <sup>2</sup>
	q <sub>m</sub> (mg g <sup>-1</sup> )	b (dm <sup>3</sup> mg <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>	(mg <sup>1-1/n</sup> dm <sup>3/n</sup> g <sup>-1</sup> )		
0%NS	22.94	2.72 10 <sup>-4</sup>	0.937	3.61 10 <sup>-2</sup>	0.703	0.955
6%NS	88.50	5.12 10 <sup>-5</sup>	0.982	8.32 10 <sup>-3</sup>	0.904	0.998
10%NS	151.52	2.92 10 <sup>-5</sup>	0.987	6.46 10 <sup>-3</sup>	0.941	0.999
20%NS	303.03	1.46 10 <sup>-5</sup>	0.958	5.44 10 <sup>-3</sup>	0.968	1.000

- Alta afinidad de PNS por la cal aérea
- Gran adsorción de PNS sobre partículas sólidas
- Fuerte interacción de PNS con medios de cal

**Resultados: propiedades en fresco**

Potencial zeta de cal-NS y cal-MK en pastas tituladas con PCE

- NS presenta sitios de adsorción "no activos" en relación con la dispersión de CSH
- El polímero adsorbido sobre NS no está disponible para ser adsorbido sobre C-S-H

El potencial zeta cambió poco en muestras con NS

**Resultados: propiedades en fresco**

descenso en el potencial zeta en PCE2 se debió a:

- El desplazamiento de la carga por el aumento de la densidad de la red de polímeros adsorbidos a las partículas de hidróxido de calcio.

**Resultados: propiedades en fresco**

- El anclaje de PCEs sobre NS retarda la reacción puzolánica entre NS y Ca(OH)<sub>2</sub>
- Cantidades mayores de PCE1 retardan el fraguado, siendo más acusado en las pastas con NS

- PCE1 se adsorbió en menor cantidad
- PCE1 mostró mejor eficacia plastificante
- PCE1 requirió menor dosis para la misma acción fluidificante
- La repulsión estérica fue el principal mecanismo de acción de los PCEs

**Resultados: propiedades en fresco**

Potencial Zeta de pastas de cal+NS y cal+MK tituladas con PNS and LS

- PNS da lugar a un descenso más acusado del potencial zeta
- LS genera complejos con Ca<sup>2+</sup>, reduciendo su adsorción sobre portlandita o CSH
- LS muestra mayores valores de escurrimiento y presenta menor pérdida de fluidez a lo largo del tiempo

Moléculas libres de LS en la solución intersticial podrían actuar como impedimento estérico reduciendo la aglomeración de las partículas

**Resultados: propiedades en fresco**

**Polinaftalensulfonato**

- Mayor densidad de carga aniónica
- Forma lineal

adsorción plana

Las moléculas fijadas se rodean de productos de carbonatación/hidratación, dando lugar a fases organominerales.

Menor eficacia en la dispersión, peor mantenimiento de la fluidez a lo largo del tiempo

**Lignosulfonato**

- Adsorción perpendicular a la superficie de las partículas.

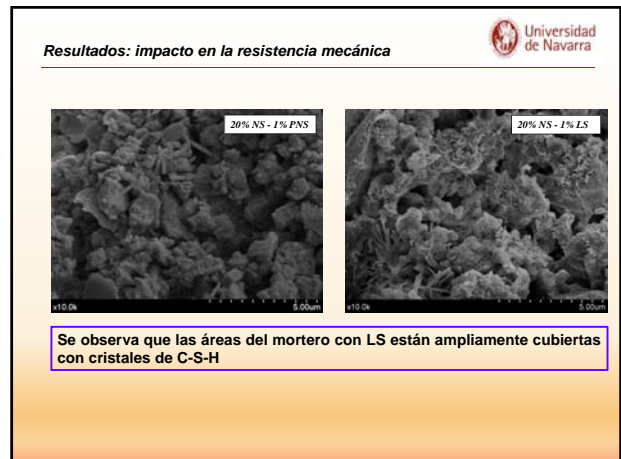
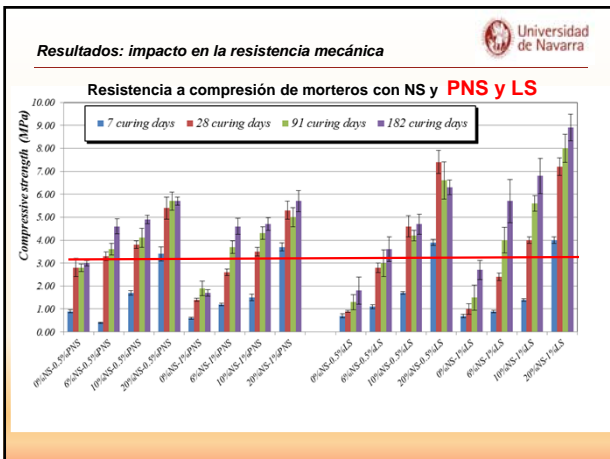
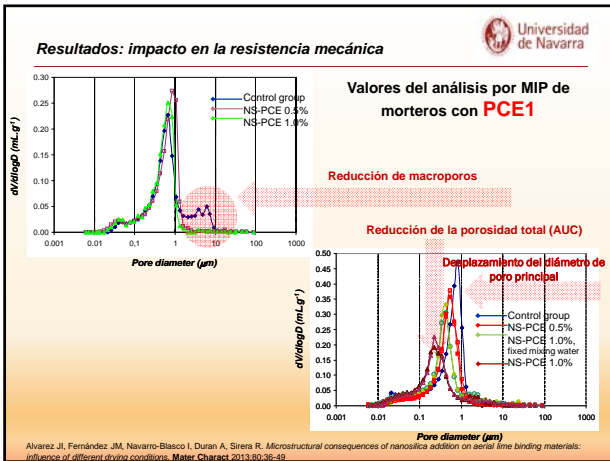
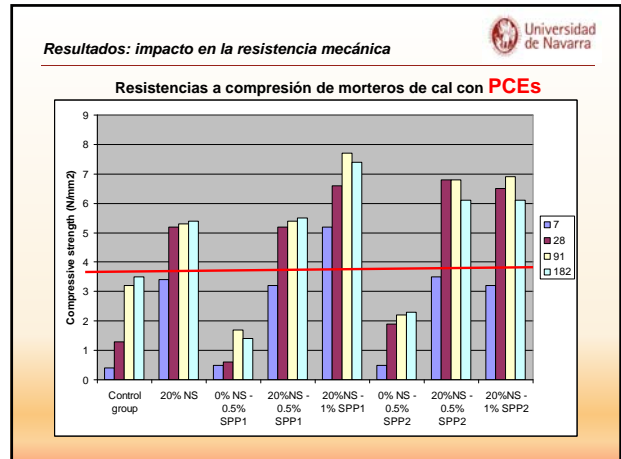


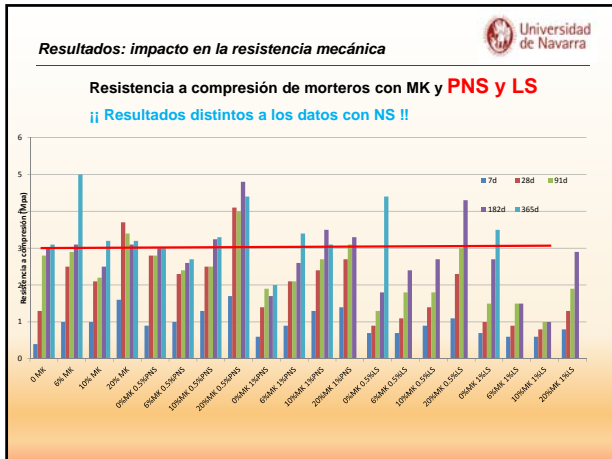
Universidad de Navarra

**Objetivo 1**

**Resultados: Parte 3**

**Influencia de los SPs en la resistencia mecánica y durabilidad de los morteros de cal**





**Resultados: impacto en la adherencia**

Universidad de Navarra

Con LS, si la adición es de NS, la adherencia no es buena salvo cantidades mayores de superplastificante

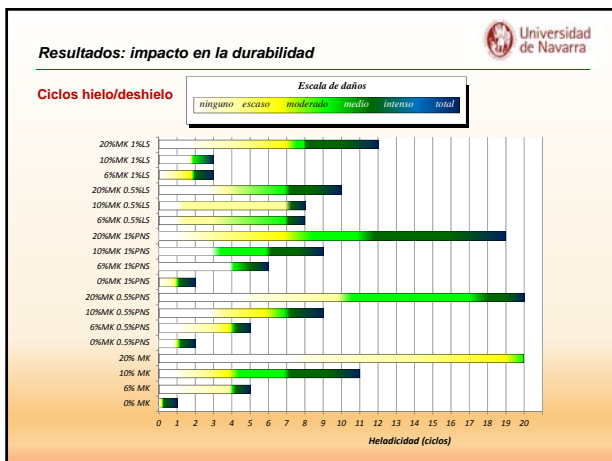
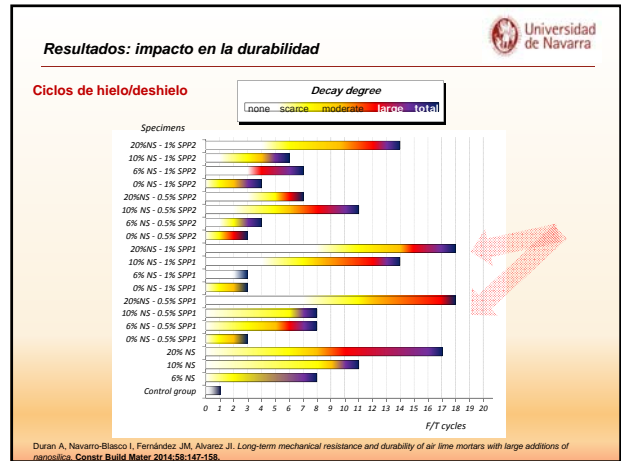
Con MK, la adherencia es mucho mejor, aunque hay formación de fisuras de retracción

**Resultados: impacto en la adherencia**

Universidad de Navarra

En el caso del PNS, con dosis bajas del aditivo y NS la adherencia es aceptable, aunque en dosis altas se reduce drásticamente

En morteros de metacaolín con PNS, la adherencia en general es buena aunque hay fisuras de retracción.



**Resultados: impacto en la durabilidad**

Universidad de Navarra

**MORTEROS DE CAL TRAS 9 CICLOS DE HELADICIDAD**

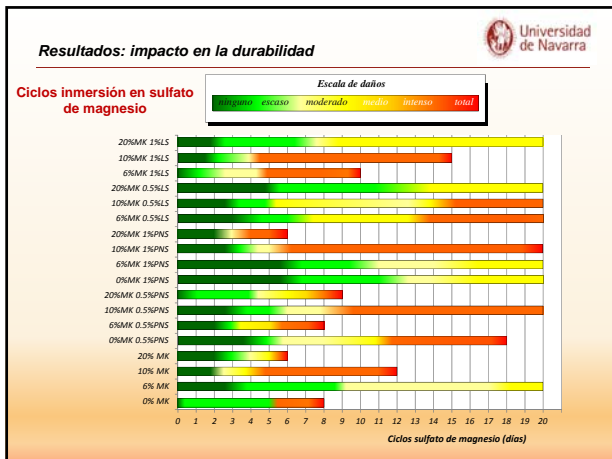
Mortero de cal con MK 20%

Mortero de cal con MK 20% + 0,5% PNS

Mortero de cal con MK 20% + 0,5% LS

Alto grado de deterioro





**Conclusiones, Objetivo 1**

**Conclusiones**

1) El polímero con forma de estrella PCE1 en comparación con el polímero con forma de oruga PCE2

- Presenta menor carga aniónica
- Tiene el mejor efecto plastificante en sistemas de cal
- Baja tasa de consumo (poca adsorción)
- Adsorción perpendicular
- Impedimento estérico como mecanismo de dispersión
- Con MK dio lugar a la mejor fluidez con vistas a su uso como mortero de inyección
- Mejor resistencia mecánica y durabilidad

PCE1

PCE2

**Conclusiones**

2) LS en comparación con PNS

- Más efectivo en dispersión en morteros de cal
- Forma complejos con ión Ca<sup>2+</sup>
- Alto número de moléculas libres en la suspensión
- Fuerte efecto estérico
- Con NS, se favorece la formación de C-S-H

3) PNS

- Formación de fases organo-minerales que aumentan su consumo
- Pobre efecto plastificante
- Baja capacidad de retención de la fluidez
- Repulsión electrostática como principal mecanismo repulsivo

## Objetivo 2

### Aditivos fotocatalíticos en morteros de cal:

- **Sistemas activos en el visible**
- **Recubrimientos optimizados**

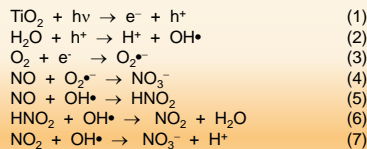
## Objetivo 2

Además de los mencionados, cabe destacar a los **aditivos fotocatalizadores**:

- $\text{TiO}_2$
- semiconductores basados en óxidos de los elementos de transición
- acción de luz (en el caso del  $\text{TiO}_2$  en el espectro ultravioleta, UV)
- descomposición/oxidación química de contaminantes y depósitos de materia orgánica
- eficacia biocida, evitando la colonización biológica sobre los morteros, tanto de algas, como por ejemplo de líquenes o cianobacterias

## Objetivo 2

- reacción fotoquímica en la superficie del fotocatalizador
- descomposición química y eliminación de los contaminantes
- destrucción de los enlaces formados entre los microorganismos y los sustratos (piedras y morteros)
- $\text{TiO}_2$  especialmente eficaz contra depósitos de hidrocarburos en superficie.



## Objetivo 2

La **elección de  $\text{TiO}_2$  como fotocatalizador** se basa en:

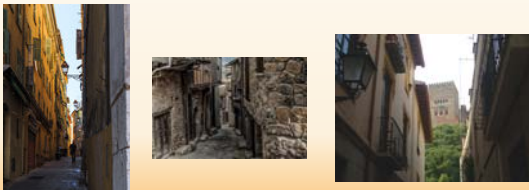
- su baja toxicidad
- elevada compatibilidad con materiales de construcción
- gran actividad fotocatalítica en comparación con otros óxidos metálicos

### Inconvenientes

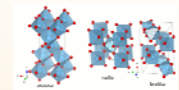
- coste económico
- deficiente capacidad para absorber luz solar: su actividad fotocatalítica sólo ocurre con la luz UV de longitud de onda menor de 387 nm debido a su band-gap (3,2 eV), que únicamente permite aprovechar el 4,5% de energía de la luz solar.

## Objetivo 2

Esto hace que en las zonas oscuras de las urbes (sombras de edificios; calles estrechas sin luz directa) en las que no existe una incidencia directa de luz solar, el **rendimiento fotocatalítico de materiales de construcción que usan  $\text{TiO}_2$  disminuya mucho**.




## Objetivo 2



**Sensibilizar químicamente el óxido de titanio para hacer uso de una mayor fracción de luz visible**, mediante dopados con metales de transición, como Fe o V.

- nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  dopadas con Fe y con V
- proceso de FSP (Flame-assisted Spray Pyrolysis)
- mayor superficie de contacto disponible
- átomos dopantes de Fe y de V sensibilizan al  $\text{TiO}_2$  permitiendo su actividad también en el espectro visible




**Objetivos**

**Objetivos**

2. Estudiar el efecto de aditivos fotocatalíticos sobre morteros de cal. Aplicación en masa y en recubrimiento. Eficiencia fotocatalítica. TiO<sub>2</sub> dopado con Fe y con V.

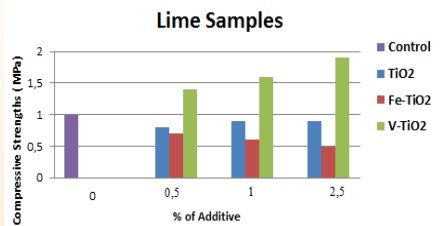
*Mejoras esperadas:*


- *autolimpieza (materiales self-cleaning)*
- *capacidad de descontaminación*
- *durabilidad*



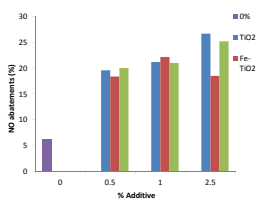
**Resultados: resistencia a compresión**

**Lime Samples**

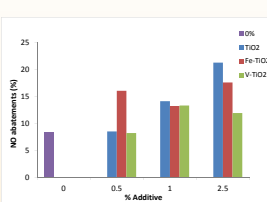




**Resultados: actividad fotocatalítica**




**Mortero de cal**



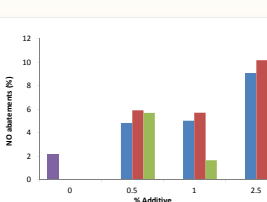
**Mortero de cemento Portland**

**Degradación de NOx bajo luz UV**

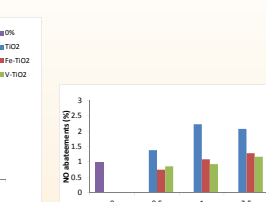
Actividad de aditivos fotocatalíticos incorporados en masa en el mortero



**Resultados: actividad fotocatalítica**




**Mortero de cal**

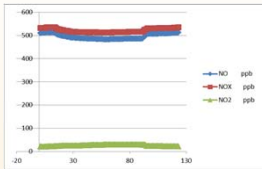


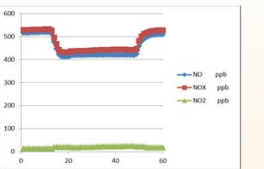
**Mortero de cemento Portland**

**Degradación de NOx bajo luz solar**



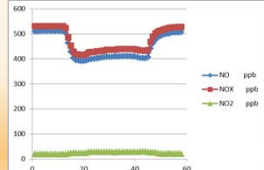
**Resultados: actividad fotocatalítica**






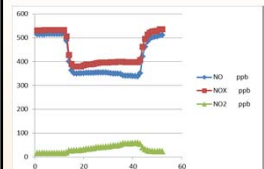
**Recubrimientos activos. Luz solar**

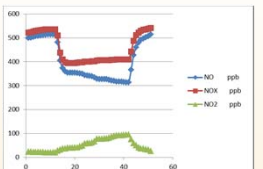
Mortero de cal sin aditivos: **5,3%** de degradación  
 Con 1% de TiO<sub>2</sub>: **20,6%**  
 Con 1% de TiO<sub>2</sub>-Fe: **23,5%**





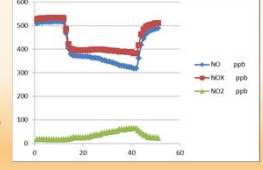
**Resultados: actividad fotocatalítica**





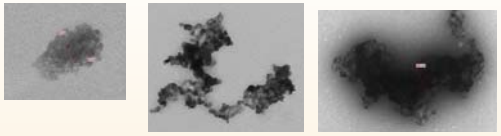
**Recubrimientos activos. Luz UV. Importancia de los dispersantes. Muestras con TiO<sub>2</sub> 0,5%.**

Recubrimiento sin dispersante: **34,5%** de degradación  
 Con 1% PAA: **39,9%**  
 Con 1% de Tween 80: **38,5%**





**Resultados: actividad fotocatalítica**



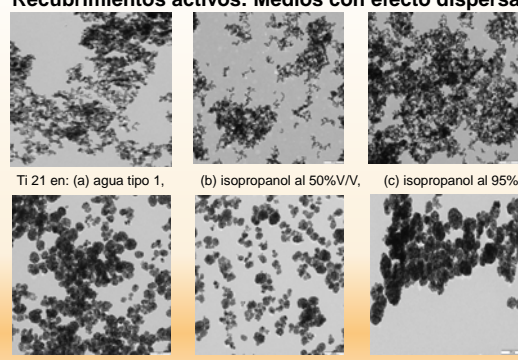
PAA                      Tween                      Control

Suspensión	Tamaño (nm)
PAA	80
Tween	200
Control	239
SN	291

**Recubrimientos activos. Luz UV. Importancia de los dispersantes. Muestras con TiO2 0,5%.**

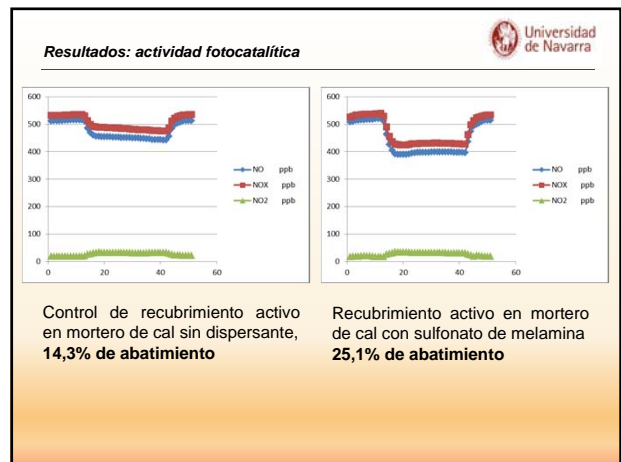
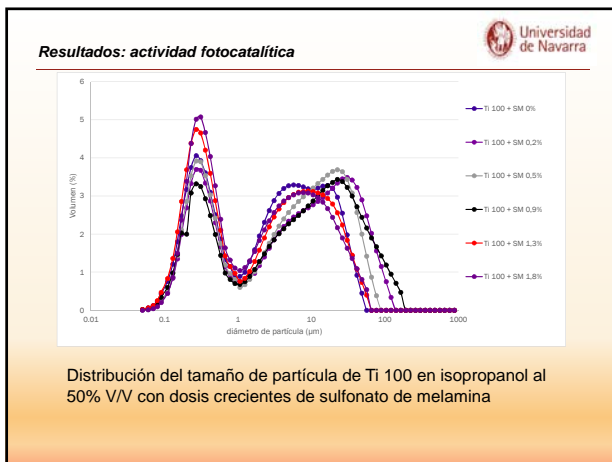
**Resultados: actividad fotocatalítica**

**Recubrimientos activos. Medios con efecto dispersante**



Ti 21 en: (a) agua tipo 1, (b) isopropanol al 50%/V/V, (c) isopropanol al 95%/V/V.

Ti 100 en: (a) agua tipo 1, (b) isopropanol al 50%/V/V, (c) isopropanol al 95%/V/V.



**Conclusiones, Objetivo 2**

- Conclusiones**
- Morteros de cal presentan una interesante capacidad de admitir aditivos fotocatalíticos sin detrimento de otras características:
    - Se mantienen adecuadas resistencias
    - La estructura porosa no se modifica de forma sustancial
    - No hay cambios aparentes de color o brillo
  - TiO<sub>2</sub> dopado presenta sensibilidad mejorada hacia la luz solar y es una interesante vía de aplicación
  - Los recubrimientos activos son una manera muy prometedora de mejorar las prestaciones de autolimpieza de los morteros de cal
  - el uso de aditivos dispersantes y/o de medios de dispersión adecuados puede mejorar notablemente la eficacia fotocatalítica de los morteros de cal tratados