

**ENCALADOS: SU INFLUENCIA EN LA
DURABILIDAD DE YESERÍAS**

**AGUADA DE CAL: SUA INFLUÊNCIA NA
DURABILIDADE DE ESTUQUES
DECORATIVOS**



**Fco. Javier Blasco López
Fco. Javier Alejandro Sánchez
Vicente Flores Alés
Rosario Villegas Sánchez**

V Jornadas FICAL Forum Ibérico da Cal (Lisboa, 2016)

DETERIORO DEL YESO POR LA HUMEDAD



**Solubilidad del yeso en agua
2,23 g/l, a 20 °C**



- 1.- Pérdida de material**
- 2.- Aumento de la porosidad**
- 3.- Disminución de la adherencia**
- 4.- Disminución de la dureza**
- 5.- Disminución de la resistencia**



DETERIORO DEL YESO POR LA HUMEDAD



ALGUNAS YESERÍAS EXPUESTAS A LA HUMEDAD EXTERIOR EN EL REAL ALCAZAR DE SEVILLA

PATIO DONCELLAS

YESERÍA MUDEJAR S. XVI



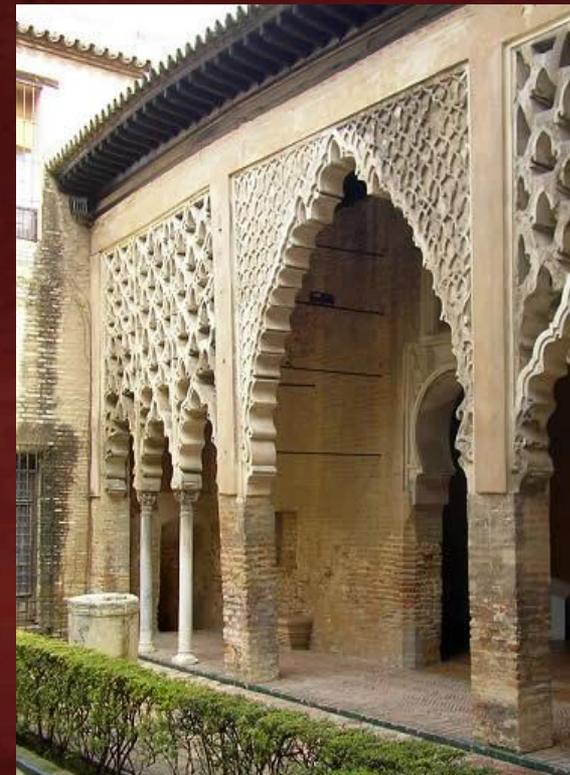
CENADOR DE LA ALCOBA

YESERÍA MUDEJAR S. XVI



PATIO DEL YESO

YESERÍA ALMOHADE S. XIII



LAS YESERIAS DEL PATIO DE DONCELLAS, EJEMPLO DE ENCALADO Y EXPOSICIÓN A LA HUMEDAD

| COMPOSICIÓN QUÍMICA (%) | | | | | | | PROPIEDADES DE LA MUESTRA | |
|--------------------------------|-------|-------------------|--------|---|---------------|----------------|---|----------|
| | | | | MINERAL | MASA | CAPA | | |
| SiO ₂ | 0.09 | K ₂ O | 0.02 | Yeso dihidrato CaSO ₄ · 2H ₂ O | Muy abundante | Medio | Densidad Real Aprox.(gr/cm ³) | 2.33 |
| Al ₂ O ₃ | 0.04 | SrO | 0.18 | | | | Calcita CaCO ₃ | Indicios |
| Fe ₂ O ₃ | 0.07 | Na ₂ O | 0.01 | SO ₃ | 47.14 | Dureza (shore) | | |
| MnO | 0.01 | PC | 21.57 | | | | Impurezas (%) | 2.18 |
| MgO | 0.33 | Total | 101.88 | | | | | |
| CaO | 32.61 | | | | | | | |



MATERIAL DE LA MASA DE YESERÍA: YESO DE ALTA PUREZA (>95%)

| Muestra | Número de capas | Material aplicado | Espesor/es de la/s capa/s en micras |
|---------|-----------------|-------------------|-------------------------------------|
| YPD | 1 capa | Capa de cal | 100-200 |

MATERIAL DE LA CAPA DE YESERÍA: CALCITA (PINTURA DE CAL)



YPD 8 X

ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL ENCALADO DE LAS YESERÍAS EN SU DURABILIDAD

ETAPAS

- 1.- Fabricación de probetas**
- 2.- Caracterización del material**
- 3.- Aplicación del encalado**
- 4.- Ensayos de alteración acelerada**
- 5.- Interpretación de resultados**

ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL ENCALADO DE LAS YESERÍAS EN SU DURABILIDAD

ETAPAS

- 1.- Fabricación de probetas**
- 2.- Caracterización del material**
- 3.- Aplicación del encalado**
- 4.- Ensayos de alteración acelerada**
- 5.- Interpretación de resultados**

ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL ENCALADO DE LAS YESERÍAS EN SU DURABILIDAD

1.- Fabricación de probetas

- Tres relaciones A/Y: 0.6, 0.7 y 0.8
- Tipos de yeso
 - YG (B1 UNE EN 13279-1)
 - 12 probetas de 4 x 4 x 16 cm



ETAPAS

- 1.- Fabricación de probetas
- 2.- **Caracterización del material**
- 3.- Aplicación del encalado
- 4.- Ensayos de alteración acelerada
- 5.- Interpretación de resultados

ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL ENCALADO DE LAS YESERÍAS EN SU DURABILIDAD

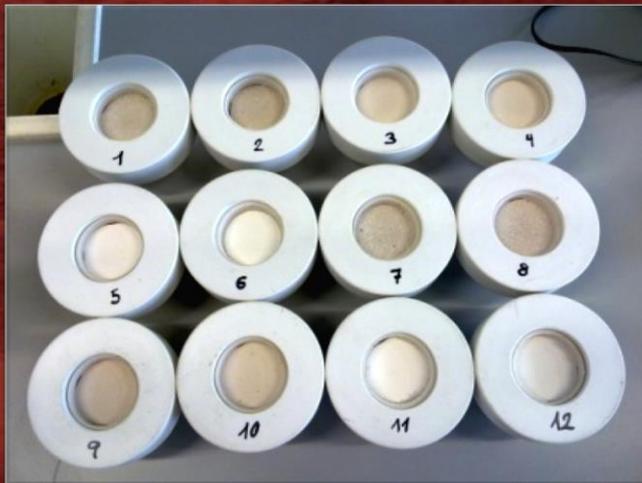
2.- Caracterización del material



- Las medidas antes y después de los E.A.A. han sido:
 1. Porosidad
 2. Resistencia a Flexión
 3. Resistencia a compresión
 4. Dureza superficial
 5. Velocidad de ultrasonido
 6. Permeabilidad al vapor de agua

ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL ENCALADO DE LAS YESERÍAS EN SU DURABILIDAD

Permeabilidad al vapor de agua ($\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$)



- Método del vaso húmedo con probetas $4 \times 4 \times 1$ cm
- Antes y tras ensayos de alteración
- Antes = variaciones pequeñas
- Duración 5 días y pesadas cada 24h

ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL ENCALADO DE LAS YESERÍAS EN SU DURABILIDAD

2.- Caracterización del material

| PROPIEDADES YPD | |
|--|------|
| Densidad Real Aprox. (gr/cm ³) | 2.33 |
| Densidad Aparente (gr/cm ³) | 1.31 |
| Porosidad Abierta (%) | 43.9 |
| Dureza (shore) | 81.0 |
| Impurezas (%) | 2.18 |



| Sample | % Porosity | Hardness |
|--------|------------|----------|
| GPD | 43.9 | 77 |
| GPS | 47.0 | 75 |
| GCP | 47.6 | 74 |
| GSF | 47.8 | 75 |
| GSC | 48.1 | 74 |
| GCR | 48.2 | 73 |
| GPS3 | 49.1 | 73 |
| GSJ2 | 49.7 | 72 |
| GSR | 50.9 | 73 |
| GDR | 55.1 | 71 |
| GPS2 | 55.5 | 70 |
| GSE | 55.7 | 67 |

| Muestra | %Porosidad | Dureza |
|---------------|------------|--------|
| B1-0,6 | 45,47 | 83 |
| B1-0,7 | 52,92 | 73 |
| B1-0,8 | 54,87 | 62 |



| Muestra | R. Flexión (MPa) | R. Compresión (MPa) | R. Flexión según Norma EN 13279-1 (MPa) | R. Compresión según Norma EN 13279-1 (MPa) |
|---------------|------------------|---------------------|---|--|
| B1-0,6 | 3,75 | 10,15 | ≥ 1 | ≥ 2 |
| B1-0,7 | 1,86 | 5,61 | | |
| B1-0,8 | 1,50 | 4,10 | | |

ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL ENCALADO DE LAS YESERÍAS EN SU DURABILIDAD

3.- Aplicación del encalado

- Elaborada con cal en pasta añeja de Morón (Gordillo's)
- Pintura de cal calcica CL-90 (30% cal apagada-70% agua)
- Aplicación de dos manos de cal separadas 24 horas
- Proceso de carbonatación acelerada mediante CO_2

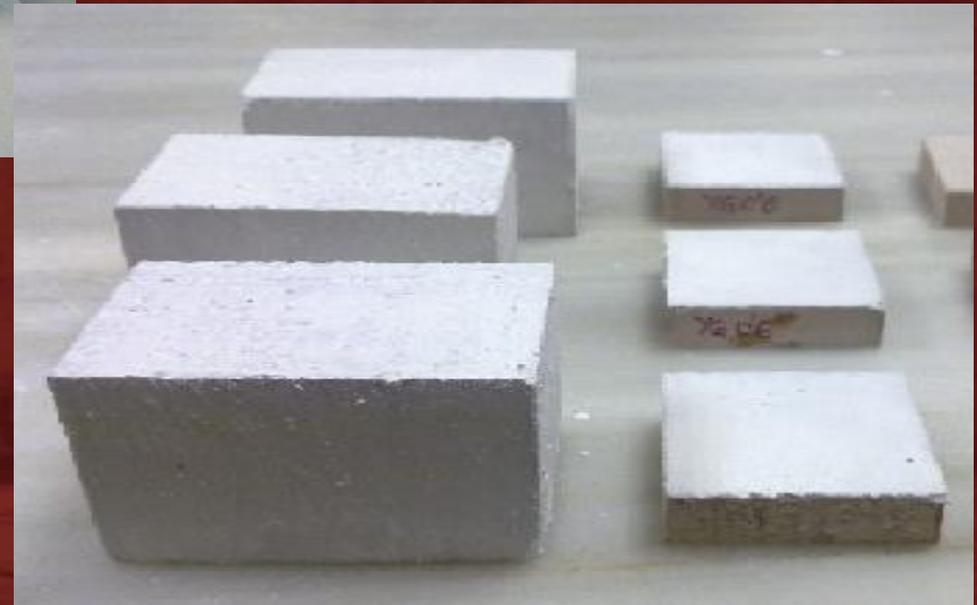


3.- Aplicación del encalado



ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL ENCALADO DE LAS YESERÍAS EN SU DURABILIDAD

2.- Aplicación del encalado

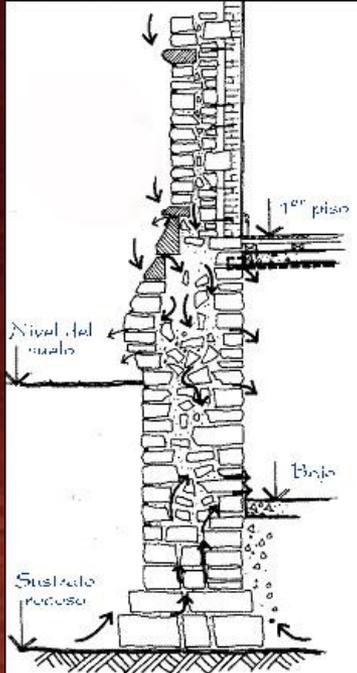


ETAPAS

- 1.- Fabricación de probetas
- 2.- Caracterización del material
- 3.- Aplicación de tratamientos
- 4.- **Ensayos de alteración acelerada**
- 5.- Interpretación de resultados

ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL ENCALADO DE LAS YESERÍAS EN SU DURABILIDAD

4.- Ensayos de alteración acelerada



ABSORCIÓN DE AGUA POR CAPILARIDAD

- Simula alteración del movimiento del agua que entra en la yesería por capilaridad y se evapora superficialmente
- 3 probetas de cada dosificación y material 4x4x7cm pintadas por 5 caras y sin pintar de referencia.
- Apoyadas en una capa de agua (1 cm) por la cara no pintada
- 7 semanas de duración, pesada en días alternos y medida velocidad ultrasonidos



ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL ENCALADO DE LAS YESERÍAS EN SU DURABILIDAD

4.- Ensayos de alteración acelerada



ABSORCIÓN DE AGUA POR INMERSIÓN

- Simula el efecto del mojado con la lluvia alternado con periodos de secado
- 3 probetas de cada dosificación y material 4x4x7cm pintadas por 6 caras y sin pintar de referencia
 - 13 ciclos de 48h.
 - 6h de inmersión en agua a 20°C
 - 41h secado en estufa a 40°C
 - 1h de enfriamiento
- Pesada y medida de velocidad de ultrasonidos en estado seco



ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL ENCALADO DE LAS YESERÍAS EN SU DURABILIDAD

ABSORCIÓN DE AGUA POR INMERSIÓN



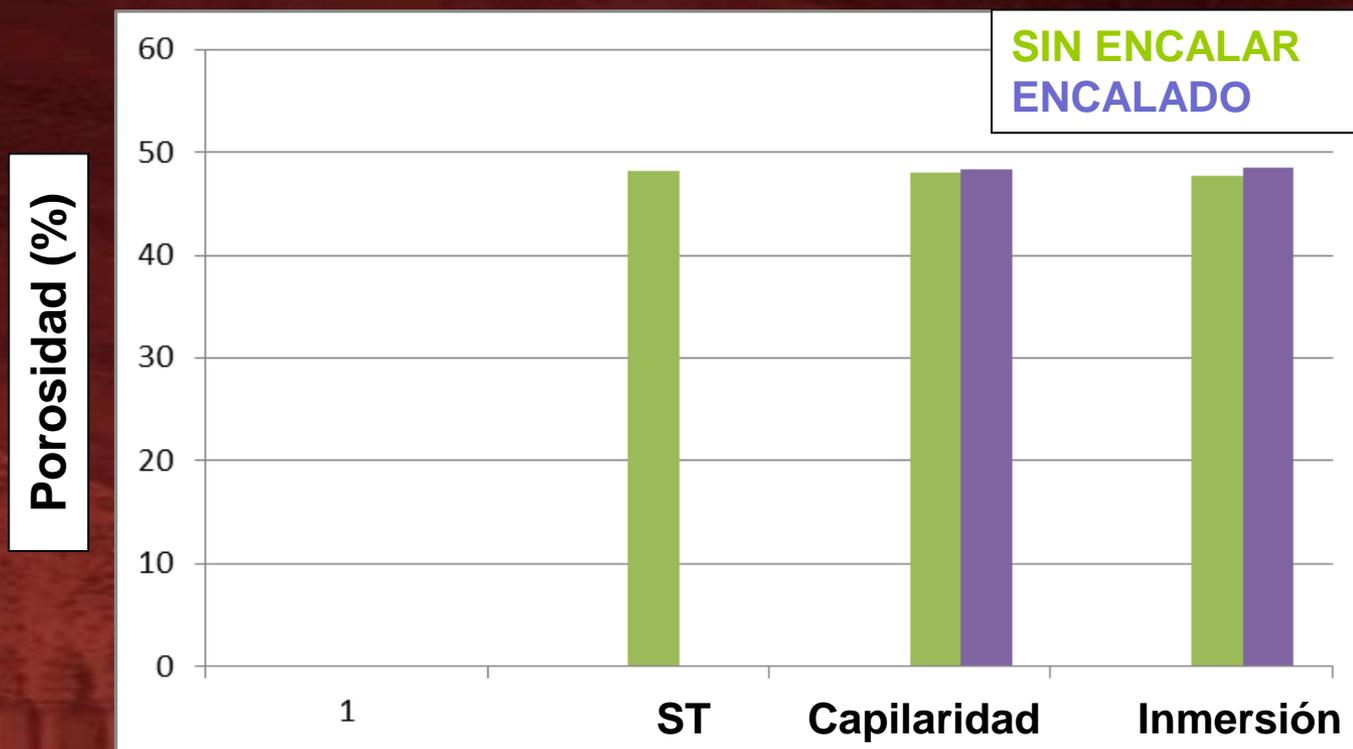
| | Blanco | | | Cal | | |
|----------|---------|---------|------------|---------|---------|------------|
| | P.inic. | P.final | Δ % | P.inic. | P.final | Δ % |
| Yeso 0,6 | 108,7 | 103,1 | - 5,15 | 112,6 | 111,7 | - 0,84 |

ETAPAS

- 1.- Fabricación de probetas**
- 2.- Aplicación de tratamientos**
- 3.- Caracterización del material**
- 4.- Ensayos de alteración acelerada**
- 5.- Interpretación de resultados**

ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL ENCALADO DE LAS YESERÍAS EN SU DURABILIDAD

POROSIDAD ABIERTA

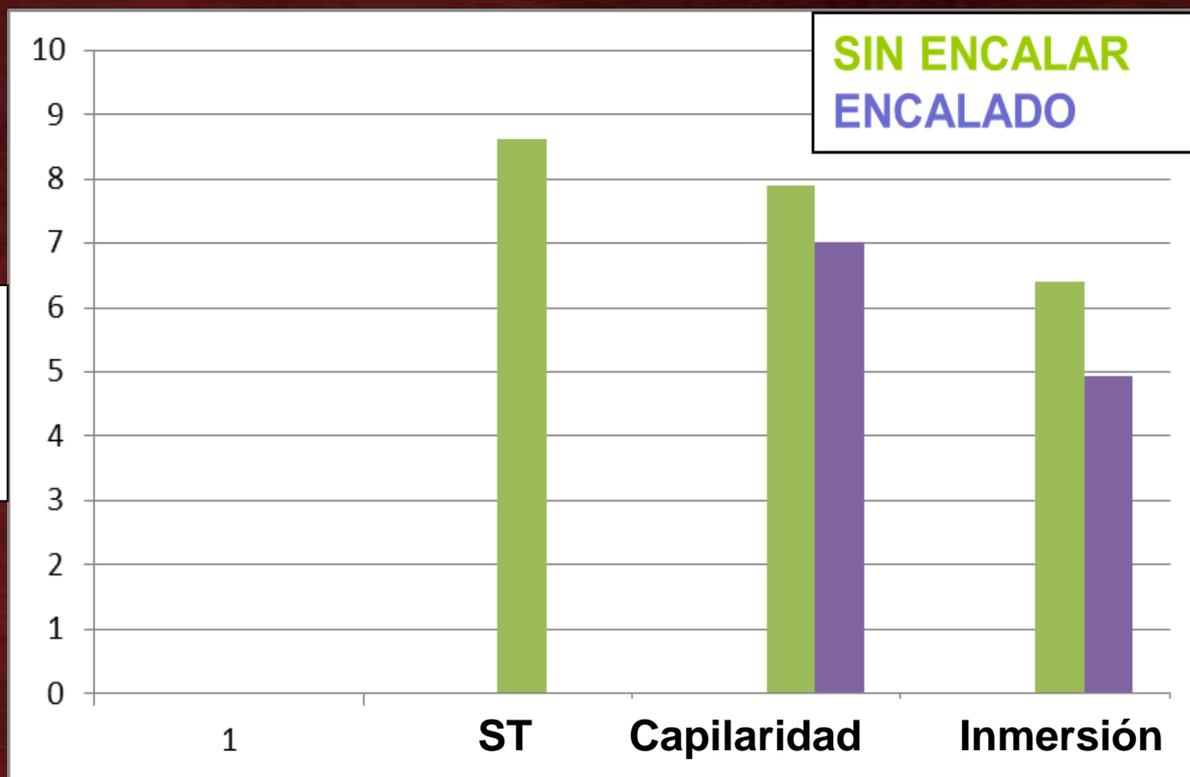


| Tipo de Probeta | Porosidad (%) antes ensayos | Tratamiento de la probeta | Porosidad (%) tras ensayo Capilaridad | Δ % | Porosidad (%) tras ensayo inmersión | Δ % |
|-----------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------------------|------------|-------------------------------------|------------|
| Yeso B1 0,6 | 48,11% | Sin tratamiento | 48,09 | - 0,04 | 47,66 | - 0,93 |
| Yeso B1 0,6 | | Pintada con cal | 48,27 | 0,33 | 48,48 | 0,77 |

ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL ENCALADO DE LAS YESERÍAS EN SU DURABILIDAD

RESISTENCIA A COMPRESIÓN

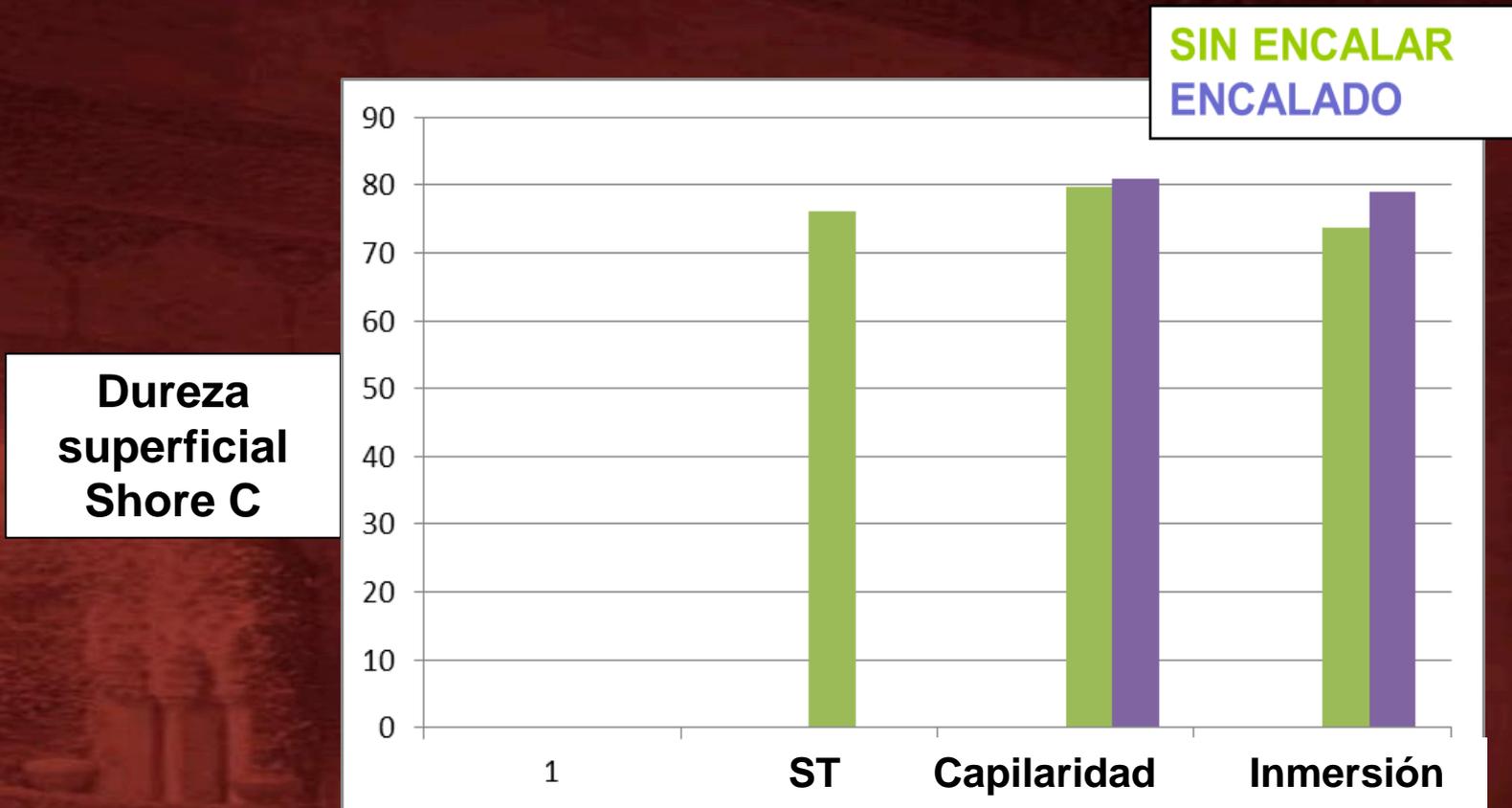
Resistencia a Compresión (N/mm²)



| Tipo de Probeta | RC (N/mm ²) inicial | Tratamiento | RC (N/mm ²) tras Capilaridad | RC (N/mm ²) tras inmersión |
|-----------------|---------------------------------|-----------------|--|--|
| Yeso B1 0,6 | 8,61 | Sin tratamiento | 7,89 - 8,3% | 6,39 - 25,7% |
| Yeso B1 0,6 | | Pintada con cal | 7,01 - 18,5% | 4,93 - 42,7% |

ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL ENCALADO DE LAS YESERÍAS EN SU DURABILIDAD

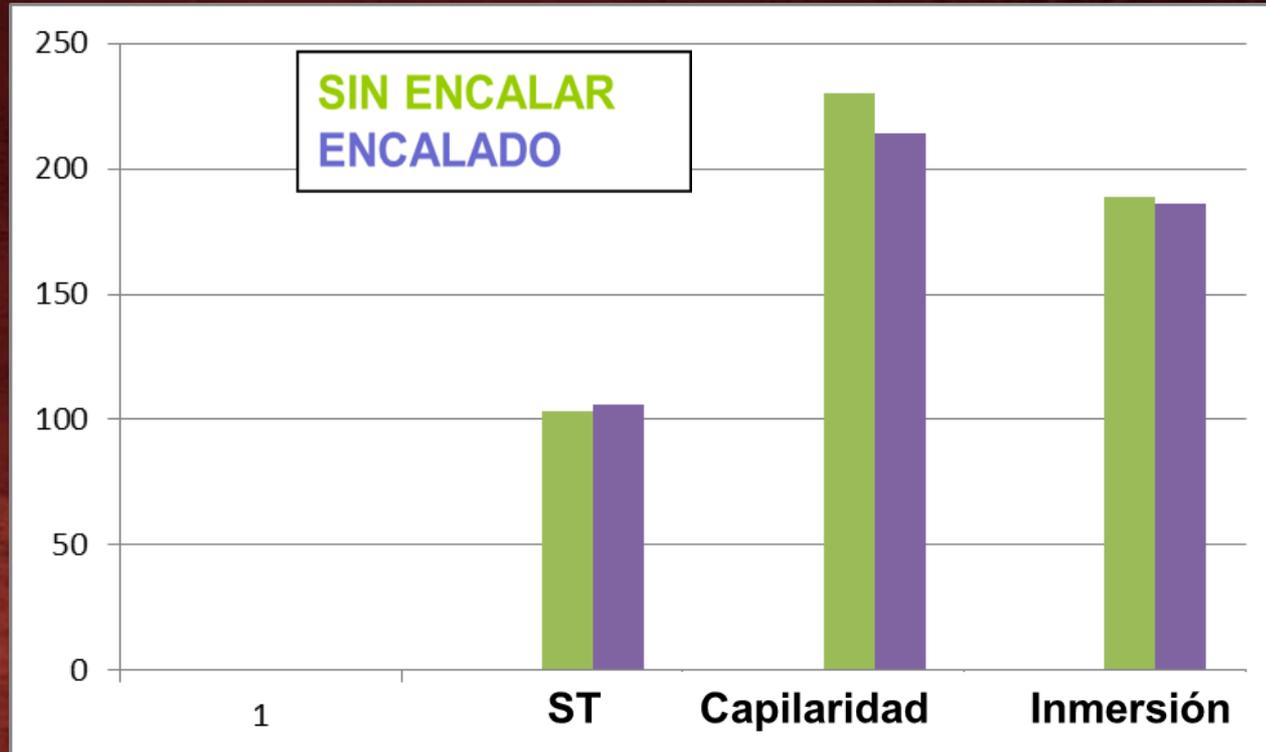
DUREZA SUPERFICIAL



| Tipo de Probeta | Inicial | Tratamiento | Dureza tras Capilaridad | Dureza tras inmersión |
|-----------------|---------|-----------------|-------------------------|-----------------------|
| Yeso B1 0,6 | 76,0 | Sin tratamiento | 79,7 | 73,6 |
| Yeso B1 0,6 | - | Pintada con cal | 81,0 | 78,9 |

ESTUDIO DE DURABILIDAD

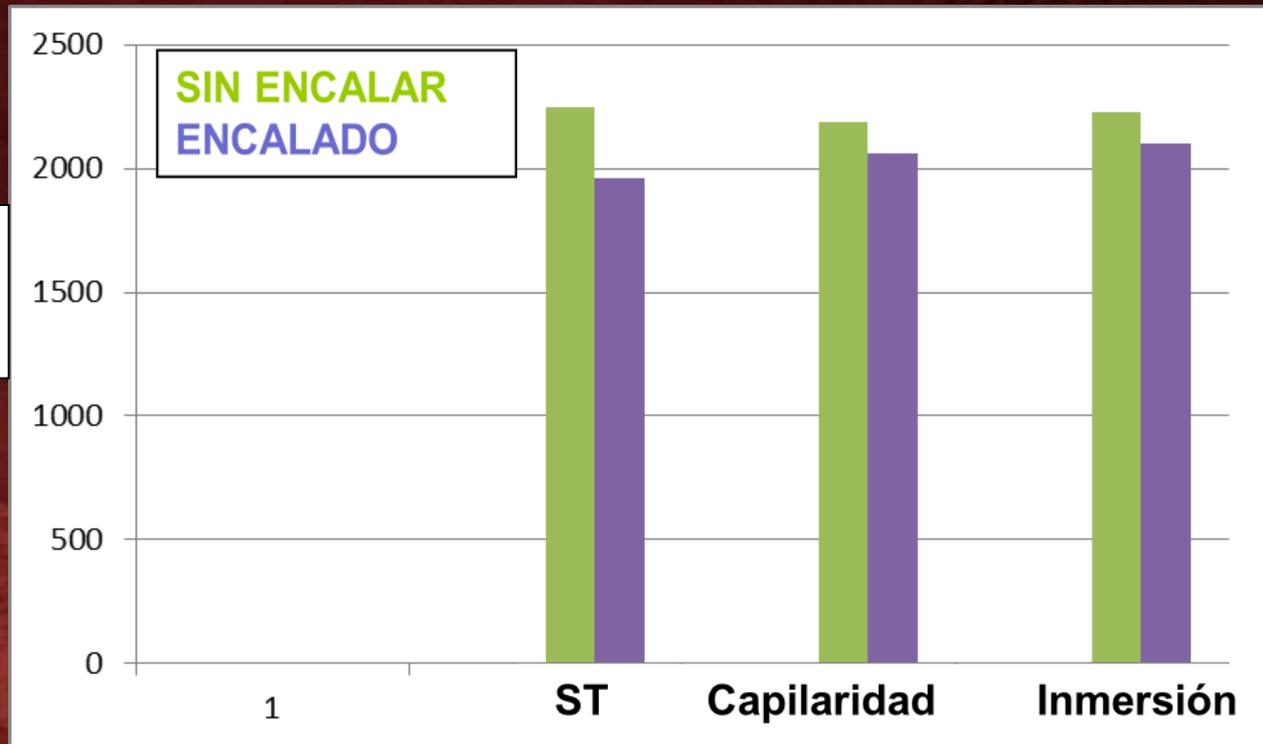
Permeabilidad al vapor de agua (g/m².d)



| | Yeso 0,6 | |
|-------------------------|------------|---------|
| | Sin tratar | Con cal |
| Valor inicial | 103 | 106 |
| Tras ensayo capilaridad | 230 | 214 |
| Tras ensayo inmersión | 189 | 186 |

ESTUDIO DE DURABILIDAD

ULTRASONIDOS



| | Yeso 0,6 | |
|-------------------------|------------|---------|
| | Sin pintar | Con cal |
| Valor inicial | 2246 | 1960 |
| Tras capilaridad | 2188 | 2061 |
| Tras inmersión | 2226 | 2099 |

CONCLUSIONES (Durabilidad encalados)

- Todas las propiedades del material estudiadas están muy relacionadas con la porosidad, estándolo a su vez con las relaciones A/Y
- Se ha comprobado la validez de los ensayos propuestos ya que producen cambios significativos en las propiedades físicas y mecánicas del material para pequeñas variaciones de porosidad tras los ensayos.
- Se ha demostrado que las capas de pintura no afectan a la permeabilidad del material, que si aumenta significativamente tras los ensayos de alteración.
- La presencia de las capas de pintura de cal no tiene un efecto significativo sobre la alterabilidad del material, observándose que no han resistido los ensayos de alteración (sobre todo el de inmersión).



**MUCHAS GRACIAS
MUITO OBRIGADO**