

**X JORNADAS CÁTEDRA ACERINOX**  
**MARZO 2023**



# VALORIZACIÓN DE RESIDUOS DE ACERÍA Y PRODUCCIÓN DE REFRACTARIOS MEDIANTE SU USO EN MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLES

Sandra Espuelas Zuazu  
Andrés Seco Meneses

# ÍNDICE

**01**

Introducción

**02**

Materiales

**03**

Métodos

**04**

Resultados

**05**

Conclusiones

# 1. INTRODUCCIÓN

- Cátedra de Economía Circular.
- Desarrollo de materiales de construcción sostenibles.
  - Hormigones
  - Morteros
  - Suelos estabilizados
  - Bloques de tierra comprimidos (BTC)
- Colaboración con MAGNA desde 2008.
  - Ligante hidráulico basado en el MgO



## 2. MATERIALES

| MATERIAL         | TIPO   | ORIGEN                   |
|------------------|--|--------------------------|
| PC-Cop (PC-8)    | Polvo de ciclón con MgO reactivo                         | Magnesitas Navarras S.A. |
| Escoria “cinta”  | Escoria de acería tras procesado para recuperar el metal | Acerinox                 |
| Escoria “filtro” | Escoria de acería tras procesado para recuperar el metal | Acerinox                 |
| Volteo tundish   | Recuperación de volteo tundish 1-3 mm                    | Acerinox y otros         |

# 3. MÉTODOS

- Fabricación de morteros y BTC.
- Materiales como sustitución de:
  - Cementantes:
    - Activación alcalina.
    - Sustitución del cemento.
    - Componente de cementante hidráulico binario MgO-Escoria granulada.
  - Cargas:
    - Arena en morteros.
    - Tierra en BTC.



Escorias “cinta” y “filtro”

# 4. RESULTADOS

## 4.1. MORTEROS ALCALINOS

Relación arena:cementante  
5:1

Cementante:

- GGBS con sustitución de las escorias CINTA y FILTRO.
- Activador: NaOH de 8M hasta trabajabilidad, con consistencia  $14 \pm 1$  cm.

|           | 2 días                 |                  | 28 días                |                  | 90 días                |                  |
|-----------|------------------------|------------------|------------------------|------------------|------------------------|------------------|
|           | R. flexión media (MPa) | Dif. Resist. (%) | R. flexión media (MPa) | Dif. Resist. (%) | R. flexión media (MPa) | Dif. Resist. (%) |
| GGBS-8M   | 3.5                    | Referencia       | 6.2                    | Referencia       | 6.7                    | Referencia       |
| C25:75-8M | 3.0                    | - 14.6           | 4.5                    | - 27.0           | 5.3                    | - 20.6           |
| C50:50-8M | 1.7                    | - 52.5           | 2.7                    | - 56.1           | 3.5                    | - 47.6           |
| C75:25-8M | 0.9                    | - 72.0           | 1.2                    | - 80.1           | 1.7                    | - 74.1           |
| C100-8M   | 0.5                    | - 85.1           | 0.5                    | - 91.4           | 0.6                    | - 91.5           |
| F25:75-8M | 3.3                    | - 3.6            | 4.7                    | - 24.9           | 5.2                    | - 23.4           |
| F50:50-8M | 1.6                    | - 54.4           | 2.6                    | - 58.7           | 3.2                    | - 53.0           |
| F75:25-8M | -                      | -                | 1.4                    | - 78.3           | 1.4                    | - 78.7           |
| F100-8M   | -                      | -                | 0.7                    | - 89.2           | 0.9                    | - 86.8           |

# 4.1. MORTEROS ALCALINOS

Relación arena:cementante  
5:1

Cementante:

- GGBS con sustitución de las escorias CINTA y FILTRO.
- Activador: NaOH de 8M hasta trabajabilidad, con consistencia  $14 \pm 1$  cm.

|           | 2 días          |                  | 28 días         |                  | 90 días         |                  |
|-----------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|
|           | RCS media (MPa) | Dif. Resist. (%) | RCS media (MPa) | Dif. Resist. (%) | RCS media (MPa) | Dif. Resist. (%) |
| GGBS-8M   | 10.6            | Referencia       | 16.6            | Referencia       | 21.1            | Referencia       |
| C25:75-8M | 6.8             | - 36.3           | 12.0            | - 27.6           | 16.4            | - 22.6           |
| C50:50-8M | 3.8             | - 64.2           | 6.6             | - 60.2           | 9.2             | - 56.6           |
| C75:25-8M | 1.9             | - 81.4           | 3.2             | - 80.5           | 3.7             | - 82.5           |
| C100-8M   | 0.6             | - 94.0           | 0.9             | - 94.8           | 0.7             | - 96.5           |
| F25:75-8M | 6.9             | - 35.0           | 11.6            | - 30.4           | 14.7            | - 30.4           |
| F50:50-8M | 3.3             | - 69.2           | 7.0             | - 58.3           | 8.7             | - 59.0           |
| F75:25-8M | -               | -                | 3.3             | - 80.1           | 3.8             | - 82.0           |
| F100-8M   | -               | -                | 1.2             | - 93.0           | 1.4             | - 93.3           |



## 4.2. MORTEROS DE CEMENTO

Relación arena:cementante  
5:1

Cementante:

- Cemento Tipo I con sustitución de las escorias CINTA y FILTRO.
- Agua hasta trabajabilidad, con consistencia  $14 \pm 1$  cm.

|         | 7 días                       |                        | 28 días                      |                        | 90 días                      |                        |
|---------|------------------------------|------------------------|------------------------------|------------------------|------------------------------|------------------------|
|         | R. flexión<br>media<br>(MPa) | Dif.<br>Resist.<br>(%) | R. flexión<br>media<br>(MPa) | Dif.<br>Resist.<br>(%) | R. flexión<br>media<br>(MPa) | Dif.<br>Resist.<br>(%) |
| Cemento | 4.3                          | Referencia             | 5.2                          | Referencia             | 4.7                          | Referencia             |
| C5:95   | 4.3                          | + 0.9                  | 4.9                          | - 5.1                  | 5.0                          | + 5.0                  |
| C10:90  | 4.0                          | - 5.9                  | 4.9                          | - 6.0                  | 5.5                          | + 15.7                 |
| C15:85  | 3.9                          | - 7.2                  | 4.9                          | - 5.7                  | 5.1                          | + 8.5                  |
| C20:80  | 4.0                          | - 6.3                  | 4.7                          | - 10.4                 | 5.0                          | + 5.9                  |
| F5:95   | 4.4                          | + 3.5                  | 5.8                          | + 10.8                 | 5.3                          | + 13.0                 |
| F10:90  | 4.3                          | - 0.8                  | 5.3                          | + 2.7                  | 5.3                          | + 12.1                 |
| F15:85  | 3.9                          | - 8.0                  | 4.8                          | - 6.7                  | 5.4                          | + 13.4                 |
| F20:80  | 3.6                          | - 15.0                 | 4.1                          | - 21.4                 | 4.4                          | + 7.2                  |

## 4.2. MORTEROS DE CEMENTO

Relación arena:cementante  
5:1

Cementante:

- Cemento Tipo I con sustitución de las escorias CINTA y FILTRO.
- Agua hasta trabajabilidad, con consistencia  $14 \pm 1$  cm.

|         | 7 días          |                  | 28 días         |                  | 90 días         |                  |
|---------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|
|         | RCS media (MPa) | Dif. Resist. (%) | RCS media (MPa) | Dif. Resist. (%) | RCS media (MPa) | Dif. Resist. (%) |
| Cemento | 19.1            | Referencia       | 25.0            | Referencia       | 26.4            | Referencia       |
| C5:95   | 18.7            | - 2.0            | 24.1            | - 3.6            | 27.3            | + 3.5            |
| C10:90  | 18.2            | - 4.8            | 23.8            | - 4.7            | 26.9            | + 1.7            |
| C15:85  | 15.8            | - 17.3           | 20.6            | - 17.3           | 22.8            | - 13.8           |
| C20:80  | 14.9            | - 21.9           | 18.9            | - 24.3           | 20.3            | - 23.3           |
| F5:95   | 18.5            | - 2.9            | 23.4            | - 6.5            | 25.3            | - 4.3            |
| F10:90  | 16.2            | - 15.0           | 20.9            | - 16.3           | 22.7            | - 13.9           |
| F15:85  | 15.4            | - 19.6           | 20.0            | - 19.7           | 22.2            | - 15.9           |
| F20:80  | 11.7            | - 38.9           | 17.8            | - 28.7           | 18.9            | - 28.4           |

## 4.3. MORTEROS DE MGO

Relación arena:cementante  
5:1

Cementante:

- 20% de PC8+GGBS (80:20) con sustitución del PC8 con las escorias CINTA y FILTRO.
- Agua hasta trabajabilidad, con consistencia 14±1 cm.

|         | 7 días                 |                  | 28 días                |                  | 90 días                |                  |
|---------|------------------------|------------------|------------------------|------------------|------------------------|------------------|
|         | R. flexión media (MPa) | Dif. Resist. (%) | R. flexión media (MPa) | Dif. Resist. (%) | R. flexión media (MPa) | Dif. Resist. (%) |
| PC8     | 3.0                    | Referencia       | 4.6                    | Referencia       | 5.8                    | Referencia       |
| C 5:15  | 2.6                    | - 12.2           | 4.8                    | + 4.6            | 5.8                    | - 0.3            |
| C 10:10 | -                      | -                | 1.6                    | - 64.3           | 2.9                    | - 49.3           |
| F 5:15  | 3.0                    | + 2.0            | 5.5                    | + 18.1           | 6.3                    | + 9.4            |
| F 10:10 | 2.9                    | - 4.2            | 4.5                    | - 3.3            | 6.2                    | + 6.6            |
| F 15:5  | 1.8                    | - 38.0           | 3.2                    | - 30.6           | 5.3                    | - 7.7            |

## 4.3. MORTEROS DE MGO

Relación arena:cementante  
5:1

Cementante:

- PC8+GGBS (80:20) con sustitución del PC8 con las escorias cinta y filtro.
- Agua hasta trabajabilidad, con consistencia  $14 \pm 1$  cm.

|         | 7 días          |                  | 28 días         |                  | 90 días         |                  |
|---------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|
|         | RCS media (MPa) | Dif. Resist. (%) | RCS media (MPa) | Dif. Resist. (%) | RCS media (MPa) | Dif. Resist. (%) |
| PC8     | 10.2            | Referencia       | 19.4            | Referencia       | 28.2            | Referencia       |
| C 5:15  | 9.3             | - 9.0            | 18.7            | - 3.6            | 27.3            | - 3.1            |
| C 10:10 | -               | -                | 6.2             | - 68.0           | 15.3            | - 45.5           |
| F 5:15  | 9.8             | - 3.7            | 21.3            | + 10.2           | 28.3            | + 0.6            |
| F 10:10 | 7.7             | - 24.8           | 19.1            | - 1.5            | 27.3            | - 2.8            |
| F 15:5  | 6.2             | - 38.9           | 16.7            | - 13.8           | 25.5            | - 9.3            |

## 4.4. BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA

Arcilla margosa con un 5% de cementante: PC8+GGBS (20:80), sustituida con cinta y filtro.

Compresión hasta Proctor normal de la arcilla margosa.

|         | 7 días          |                  | 28 días         |                  | 90 días         |                  |
|---------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|
|         | RCS media (MPa) | Dif. Resist. (%) | RCS media (MPa) | Dif. Resist. (%) | RCS media (MPa) | Dif. Resist. (%) |
| AM      | 1.2             | Referencia       | 1.7             | Referencia       | 2.6             | Referencia       |
| F 25:75 | 1.0             | - 17.1           | 1.5             | - 12.9           | 2.4             | - 10.32          |
| F 50:50 | 0.7             | - 40.8           | 1.3             | - 24.3           | 2.2             | - 18.50          |
| F 75:25 | 0.6             | - 51.8           | 1.0             | - 40.6           | 2.0             | - 24.33          |
| C 25:75 | 0.3             | - 78.0           | 0.5             | - 69.4           | 0.9             | - 64.90          |
| C 50:50 | 0.2             | - 81.4           | 0.5             | - 71.0           | 1.0             | - 60.74          |
| C 75:25 | 0.1             | - 91.0           | 0.4             | - 76.0           | 1.1             | - 56.64          |

## 4.5. HORMIGÓN-TIERRA

Arcilla y refractario reciclado volteo tundish (1-3 mm) con cemento tipo II/B-L 32,5 en relación carga:cementante 3:1.

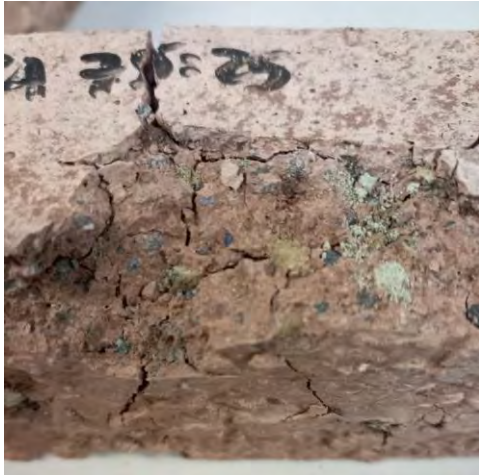
|          | 7 días                 |                  | 28 días                |                  | 90 días                |                  |
|----------|------------------------|------------------|------------------------|------------------|------------------------|------------------|
|          | R. flexión media (MPa) | Dif. Resist. (%) | R. flexión media (MPa) | Dif. Resist. (%) | R. flexión media (MPa) | Dif. Resist. (%) |
| BA 100:0 | 6.7                    | Referencia       | 7.7                    | Referencia       | 5.5                    | Referencia       |
| BA 75:25 | 2.5                    | - 62.0           | 3.0                    | - 61.5           | -                      | -                |
| BA 50:50 | 0.8                    | - 81.9           | 0.7                    | - 91.5           | -                      | -                |
| BA 25:75 | 0.5                    | - 89.5           | 0.6                    | - 91.8           | 0.6                    | - 90.9           |
| BA 0:100 | 0.2                    | - 95.2           | 0.2                    | - 97.1           | 0.4                    | - 93.7           |

## 4.5. HORMIGÓN-TIERRA

Arcilla y refractario reciclado volteo tundish (1-3 mm) con cemento tipo II/B-L 32,5 en relación carga:cementante 3:1.

|          | 7 días          |                  | 28 días         |                  | 90 días         |                  |
|----------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|
|          | RCS media (MPa) | Dif. Resist. (%) | RCS media (MPa) | Dif. Resist. (%) | RCS media (MPa) | Dif. Resist. (%) |
| BA 100:0 | 29.8            | Referencia       | 41.8            | Referencia       | 43.4            | Referencia       |
| BA 75:25 | 10.8            | - 63.8           | 12.7            | - 69.7           | -               | -                |
| BA 50:50 | 2.4             | - 92.0           | 2.9             | - 93.0           | -               | -                |
| BA 25:75 | 1.3             | - 95.6           | 1.8             | - 95.8           | 2.1             | - 90.0           |
| BA 0:100 | 0.7             | - 97.8           | 0.9             | - 98.0           | 0.9             | - 95.5           |

## 4.5. HORMIGÓN-TIERRA







MORTERO ALCALINO



MORTERO DE CEMENTO



MORTERO DE MgO



BTC



HORMIGÓN TIERRA

# CONCLUSIONES

Los materiales objeto de estudio han demostrado en general tener una baja reactividad, sin embargo se han obtenido algunos resultados relevantes que demuestran el potencial interés de la valorización de estos residuos como:

- La escoria “cinta” en la fabricación de morteros permite la sustitución de cemento hasta un 10%, sin pérdida de resistencia
- La escoria “filtro” en la fabricación de morteros con ligante de MgO y escoria granulada, permite la sustitución de MgO hasta un 25%, sin pérdida de resistencia





# AGRADECIMIENTOS

El equipo de investigación de la UPNA agradece a Magnesitas Navarras S.A. su colaboración en la línea de investigación de *desarrollo de materiales de construcción sostenible* mediante la participación en el proyecto CERES y su apoyo económico a través del contrato de investigación con referencia 2020901132

**X JORNADAS CÁTEDRA ACERINOX**  
**MARZO 2023**



**NOMBRE DE LA PONENCIA:** VALORIZACIÓN DE RESIDUOS DE ACERÍA  
Y PRODUCCIÓN DE REFRACTARIOS MEDIANTE SU USO EN MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN  
SOSTENIBLES

**NOMBRE DEL PONENTE:** ANDRÉS SECO MENESES

---

**CONTACTO:**



+34 639 238 606



andres.seco@unavarra.es



**X JORNADAS CÁTEDRA ACERINOX**

