

HORMIGÓN CONDUCTOR REFORZADO CON FIBRAS DE CARBONO PARA LA PREVENCIÓN Y REMEDIACIÓN DE HELADAS EN PAVIMENTOS DE CARRETERAS Y AEROPUERTOS

L. Bañón, O. Galao, P. Garcés

Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Alicante (España)

La función de calefacción que poseen los materiales cementantes conductores presenta un importante campo de aplicación en las infraestructuras de transporte. La adición de fibras de carbono (FC) en bajas cantidades al hormigón mejora sustancialmente su conductividad eléctrica, lo que puede ser aprovechado para acometer actuaciones de prevención y curación de heladas en pavimentos de carreteras y aeropuertos, frente a otros métodos más agresivos o de mayor coste económico.

OBJETIVO

Estudio de la viabilidad de utilización de hormigones aditivados con **materiales carbonosos altamente conductores** de la electricidad como elementos auto-calefactables para **prevención** y **curación** de la formación de hielo en pavimentos

MATERIALES

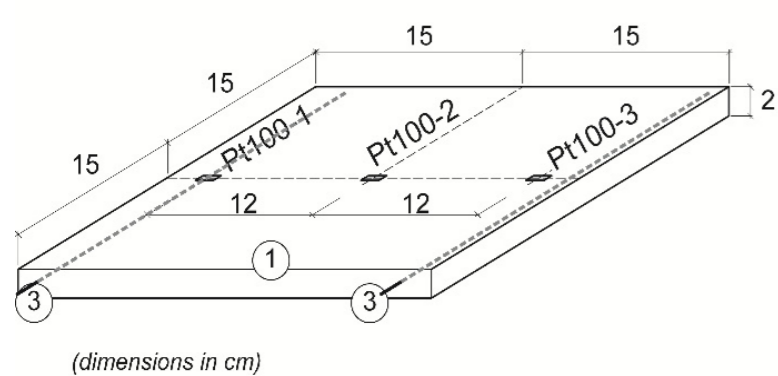
- Áridos:
 - Árido fino: Arena normalizada IETCC, CEN-EN 196-1
 - Árido grueso: Grava caliza rodada, AG-5/8-R-C UNE 146901
- Adiciones:
 - Fibra de carbono PAN oxidada en horno tubular PANEX 35 (2% respecto masa de cemento)
 - Humo de sílice EMS968 de Elkem Materials (10% respecto masa de cemento)
- Electrodos: fibra continua de carbono HEXTOW AS4, malla de acero inoxidable

| Material | Masa (g) | kg/m ³ de hormigón |
|--------------------|----------|-------------------------------|
| CEM I 52,5 R | 5400 | 580.0 |
| Agua | 2700 | 290.0 |
| Arena | 4050 | 434.9 |
| Grava | 6075 | 652.4 |
| Humo de sílice | 540 | 58.0 |
| Superplastificante | 113.4 | 12.2 |
| Fibras de carbono | 108 | 11.6 |

| Propiedad | PANEX 35 | HEXTOW AS4 |
|---------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Diámetro | 7.2 µm | 7.1 µm |
| Longitud | 1/3 in (8.5 mm) | Continua |
| Contenido en carbono | 95% | 94% |
| Resistencia a la tracción | 3800 MPa | 4480 MPa |
| Módulo elástico | 242 GPa | 231 GPa |
| Resistividad | 1.52·10 ⁻³ Ω·cm | 1.52·10 ⁻³ Ω·cm |
| Densidad | 1.81 g/cm ³ | 1.79 g/cm ³ |

METODOLOGÍA

- Probetas: hormigón conductor de 300 × 300 × 20 mm³



- Instrumentación:
 - Data logger DAS-8000 con registro continuo de temperatura en superficie mediante sondas Pt100.
 - Temperatura ambiente
 - Zona central de la probeta
 - Bordes de la probeta (sobre los electrodos)
 - Medición de intensidad mediante multímetro KEITHLEY 2002.
 - Fuentes de corriente AC (50 Hz) y DC de hasta 2000 mA.
 - Arcón frigorífico con control de temperatura.

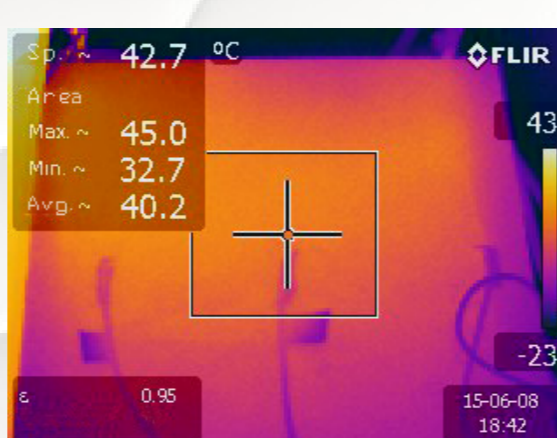
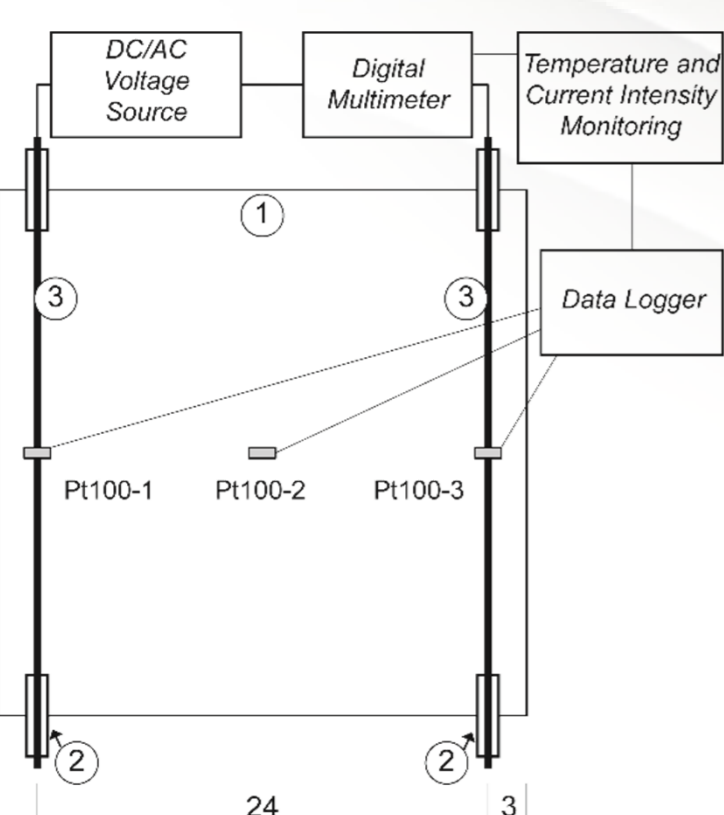
- Ensayos realizados:

- CONDICIONES DE LABORATORIO: Tenv, inicial = +25°C
- PREVENCIÓN: Tenv, inicial = +5°C
- CURACIÓN (deshielo): Tenv, inicial = -15°C

- Tensiones empleadas:

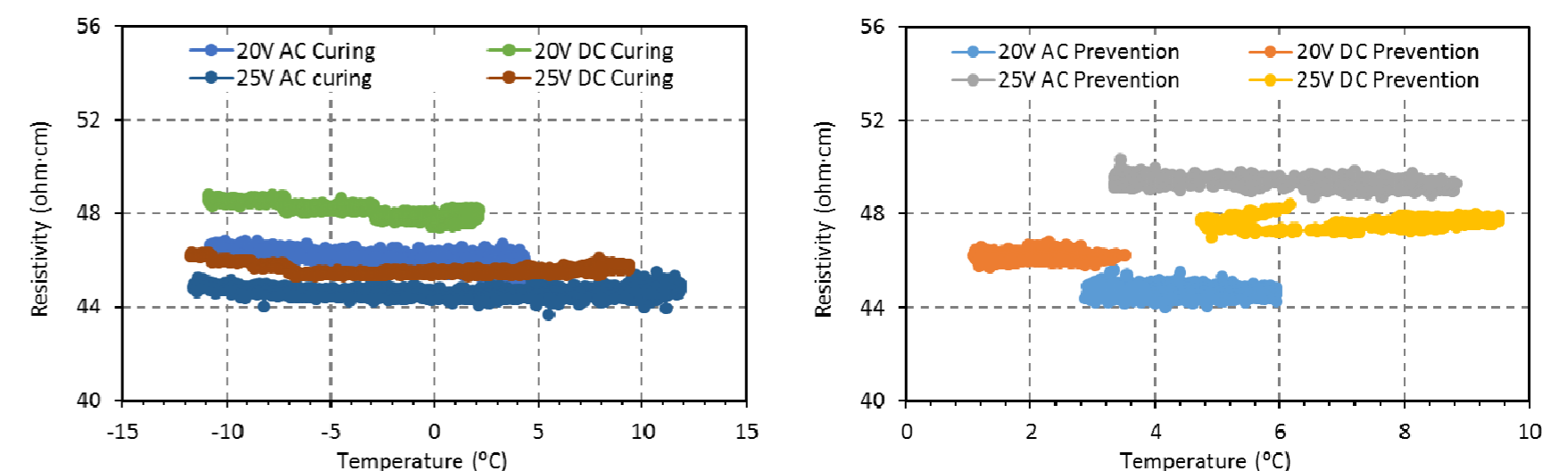
- AC 10 V / DC 10 V
- AC 20 V / DC 20 V
- AC 25 V / DC 25 V

- Esquema de montaje:



RESULTADOS

- Variación de la resistividad eléctrica respecto de la temperatura

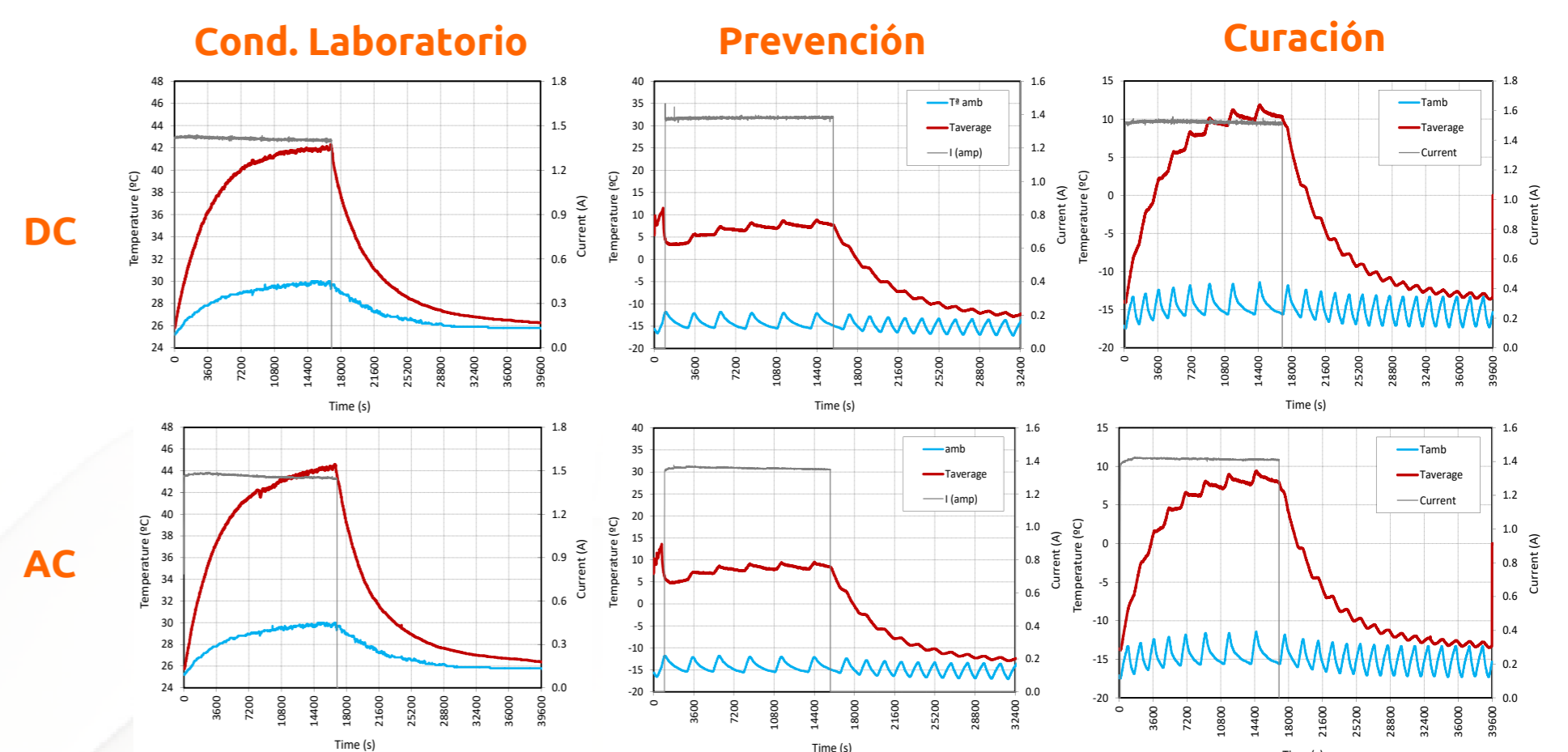


- Resultados generales de los ensayos de calefacción efectuados

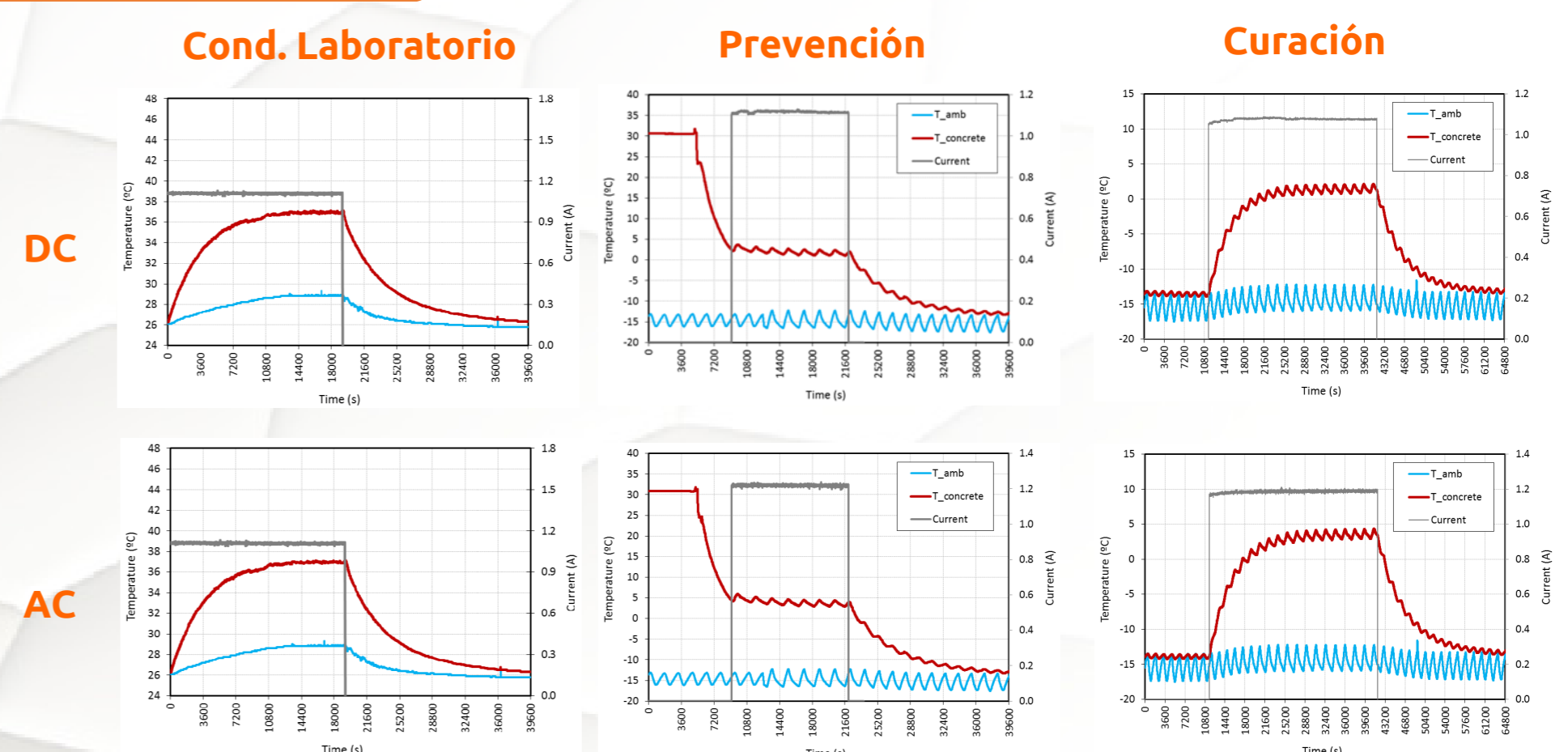
| Test type | Current type and voltage [V] | Avg. Cur. [A] | % SD (Avg. Cur.) | Time with current on (h) | Energy Consumption [J] | Avg. Power [W/m] | Avg. Electrical Resistivity [Ω·cm] | Tenv (initial) [°C] | Avg. Ttemp (initial) [°C] | Avg. Ttemp (final) [°C] | ΔT temp [°C] | ΔT (log-ano) [°C] | Avg. Power per °C [W/(m·°C)] |
|-----------|------------------------------|---------------|------------------|--------------------------|------------------------|------------------|------------------------------------|---------------------|---------------------------|-------------------------|--------------|-------------------|------------------------------|
| CL | AC 10 | 0.5 | 0.7% | 6.1 | 112,348 | 71.6 | 52.8 | 26.2 | 24.9 | 29.3 | 3.1 | 3.1 | 23.3 |
| CL | DC 10 | 0.5 | 2.1% | 6.1 | 114,159 | 72.6 | 49.7 | 26.2 | 25.1 | 29.3 | 3.1 | 3.1 | 23.7 |
| CL | AC 20 | 1.1 | 0.3% | 5.3 | 425,633 | 307.7 | 49.1 | 26.1 | 26.3 | 37.1 | 10.8 | 11.0 | 27.9 |
| CL | DC 20 | 1.1 | 0.3% | 5.3 | 436,499 | 315.7 | 45.3 | 26.1 | 26.2 | 38.0 | 11.8 | 11.9 | 26.6 |
| CL | AC 25 | 1.4 | 0.6% | 4.7 | 599,333 | 489.1 | 48.2 | 25.3 | 25.8 | 42.3 | 16.5 | 17.0 | 28.8 |
| CL | DC 25 | 1.5 | 1.0% | 4.7 | 620,458 | 506.5 | 44.1 | 25.3 | 25.8 | 44.6 | 18.8 | 19.3 | 26.2 |
| Prev. | AC 20 | 1.2 | 0.4% | 3.6 | 313,159 | 338.7 | 44.6 | -15.0 | 4.4 | 4.5 | 0.1 | 19.5 | 17.4 |
| Prev. | DC 20 | 1.1 | 0.2% | 3.6 | 286,908 | 310.3 | 46.2 | -15.0 | 2.4 | 2.5 | 0.2 | 17.5 | 17.7 |
| Prev. | AC 25 | 1.4 | 0.3% | 4.1 | 513,357 | 479.3 | 49.3 | -15.0 | 4.5 | 7.9 | 3.5 | 22.9 | 20.9 |
| Prev. | DC 25 | 1.4 | 0.3% | 4.1 | 503,621 | 470.2 | 47.6 | -15.0 | 6.3 | 9.5 | 3.2 | 24.5 | 19.2 |
| Cur. | AC 20 | 1.2 | 0.5% | 8.3 | 711,579 | 329.4 | 45.9 | -15.0 | -13.9 | 4.3 | 18.2 | 19.3 | 17.0 |
| Cur. | DC 20 | 1.1 | 0.4% | 8.3 | 645,834 | 298.9 | 48.0 | -15.0 | -13.6 | 2.2 | 15.8 | 17.2 | 17.4 |
| Cur. | AC 25 | 1.5 | 0.5% | 4.7 | 641,395 | 526.5 | 44.7 | -15.0 | -14.1 | 11.9 | 26.0 | 26.9 | 19.6 |
| Cur. | DC 25 | 1.4 | 0.7% | 4.7 | 595,619 | 489.2 | 45.6 | -15.0 | -13.8 | 9.4 | 23.2 | 24.4 | 20.0 |

- Curvas de calentamiento y enfriamiento de los ensayos realizados

serie de 25 V AC/DC



serie de 20 V AC/DC



CONCLUSIONES

- Tanto la corriente alterna como la continua son adecuadas para incrementar la temperatura del hormigón conductor fabricado, sin registrarse variaciones en su resistividad ni pérdida de capacidad calefactante en ensayos de larga duración.
- Los voltajes de 20 y 25 V permitieron a las probetas estudiadas prevenir la congelación e incrementar su temperatura por encima de los 0 °C en un entorno inicial de -15 °C.
- Consecuentemente, una diferencia de potencial de 20 V sería suficiente para que el elemento ensayado trabajara como un elemento calefactante con un consumo de energía razonable.