

Treball de Fi de Grau

## Enginyeria en tecnologies industrials

# Millora de les propietats de peces processades per a impressió 3D

ANNEX

**Autor:** Arnau Altet i Graell  
**Director:** Xavier Ramis Juan  
**Codirector:** Osman Konuray  
**Convocatòria:** 01/2020



Escola Tècnica Superior  
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



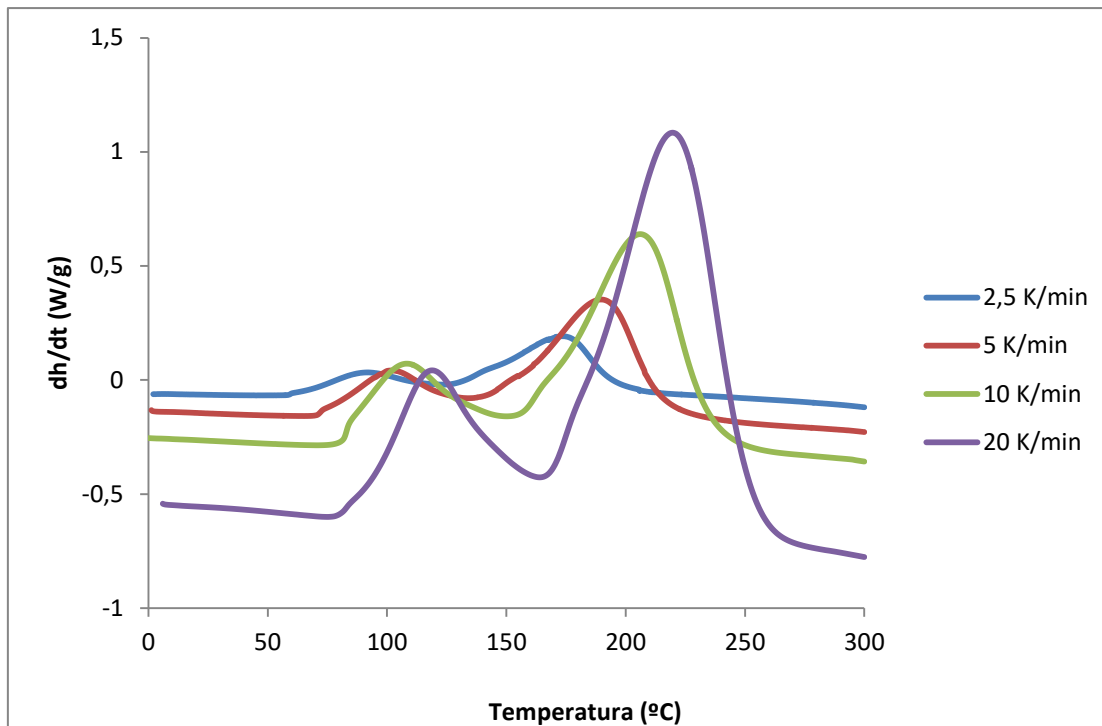
# Sumari

|  |          |
|--|----------|
| <b>ANNEX</b>   | <b>3</b> |
| 1. Anàlisi cinètica formulacions HT25CEMA75 I HT75CEMA25 ..... | 3        |
| 1.1 Curat dual dinàmic HT25CEMA75 .....                        | 3        |
| 1.2 Curat dual dinàmic HT75CEMA25 .....                        | 6        |
| 1.3 Curat dinàmic segona etapa HT25CEMA75 .....                | 8        |
| 1.4 Curat dinàmic segona etapa HT75CEMA25 .....                | 10       |
| 2. Mòduls de pèrdues anàlisi dinamomecànica.....               | 13       |
| 3. Gràfics estabilitat DMAP i BGD.....                         | 15       |

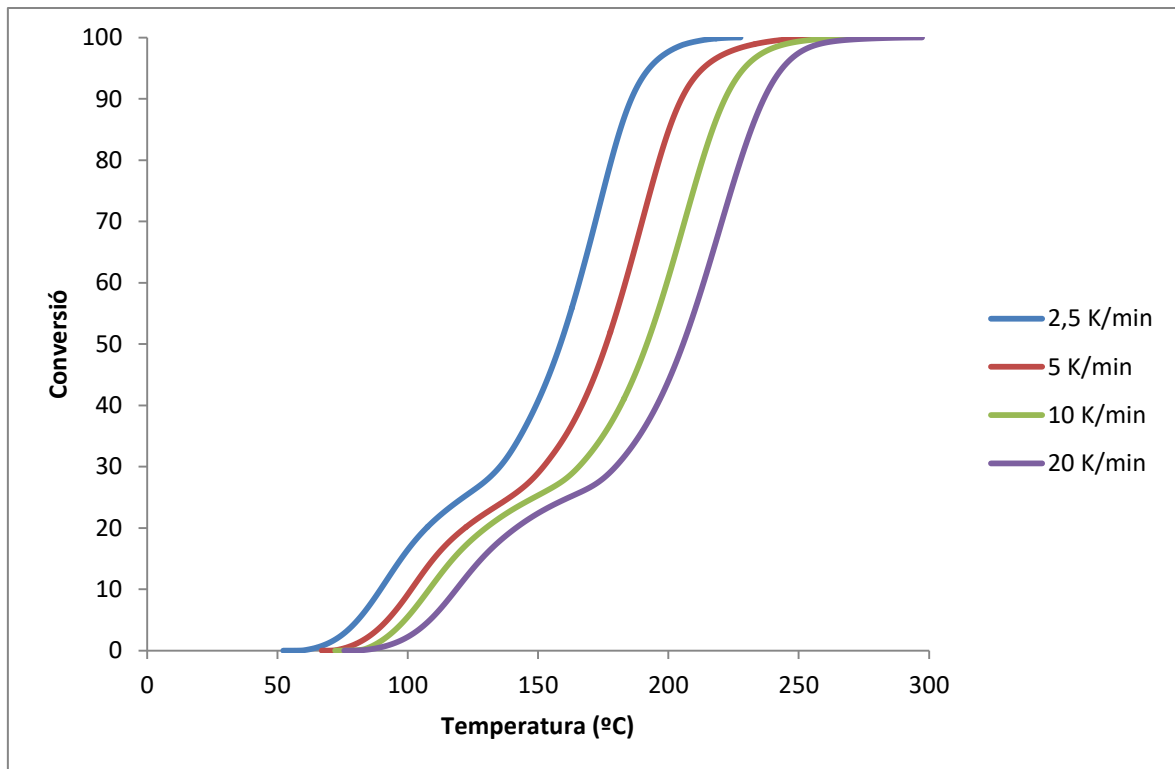
## Annex 1. Anàlisi cinètica formulacions HT25CEMA75 i HT75CEMA25

En l'annex 1 es mostren els resultats de l'estudi dels curats dinàmics de les formulacions HT25CEMA75 i HT75CEMA25, seguint les bases establertes en els apartats 7.3.3 i 7.3.4. Es mostren els resultats corresponents al flux de calor i a les conversions quan es realitza el curat dual tèrmicament (subapartats 1.1 i 1.2) i el curat de la segona etapa després d'un fotocurat UV a 30 C de la primera etapa (subapartats 1.3 i 1.4).

### 1.1 Curat dual dinàmic HT25CEMA75



Gràfic 1. Flux de calor del curat dinàmic d'HT25CEMA75\_R0,25\_DMAP0,025



**Gràfic 2.** Conversions del curat dinàmic d'HT25CEMA75\_R0,25\_DMAP0,025

### Primera etapa

**Taula 1.** Paràmetres característics de la cinètica isoconversional dinàmica de la primera etapa de HT25CEMA75\_R0,25\_DMAP0,025

| $\alpha$   | E<br>[kJ/mol] | $\ln [AR/g(\alpha) \cdot E]$<br>[min <sup>-1</sup> ] | $\ln [g(\alpha)/A]$<br>[min] | r      | $\ln A$<br>[min <sup>-1</sup> ] |
|------------|---------------|--|------------------------------|--------|---------------------------------|
| <b>0,2</b> | 79,69         | 16,19  | -25,36                       | 0,9865 | 24,58                           |
| <b>0,4</b> | 79,83         | 15,54  | -24,71                       | 0,9867 | 24,68                           |
| <b>0,6</b> | 78,38         | 14,46  | -23,61                       | 0,9873 | 24,19                           |
| <b>0,8</b> | 74            | 12,35  | -21,45                       | 0,9801 | 22,78                           |

**Taula 2.** Paràmetres característics de la cinètica autocatalítica dinàmica de la primera etapa de HT25CEMA75\_R0,25\_DMAP0,025

| <b>n</b> | <b>m</b> | <b>E [kJ/mol]</b> | <b>ln A [min<sup>-1</sup>]</b> | <b>r</b> | <b>ln k<sub>150°C</sub></b> |
|----------|----------|-------------------|--------------------------------|----------|-----------------------------|
| 1,7581   | 0,2418   | 78,43             | 24,19                          | 0,9887   | -6,9493                     |

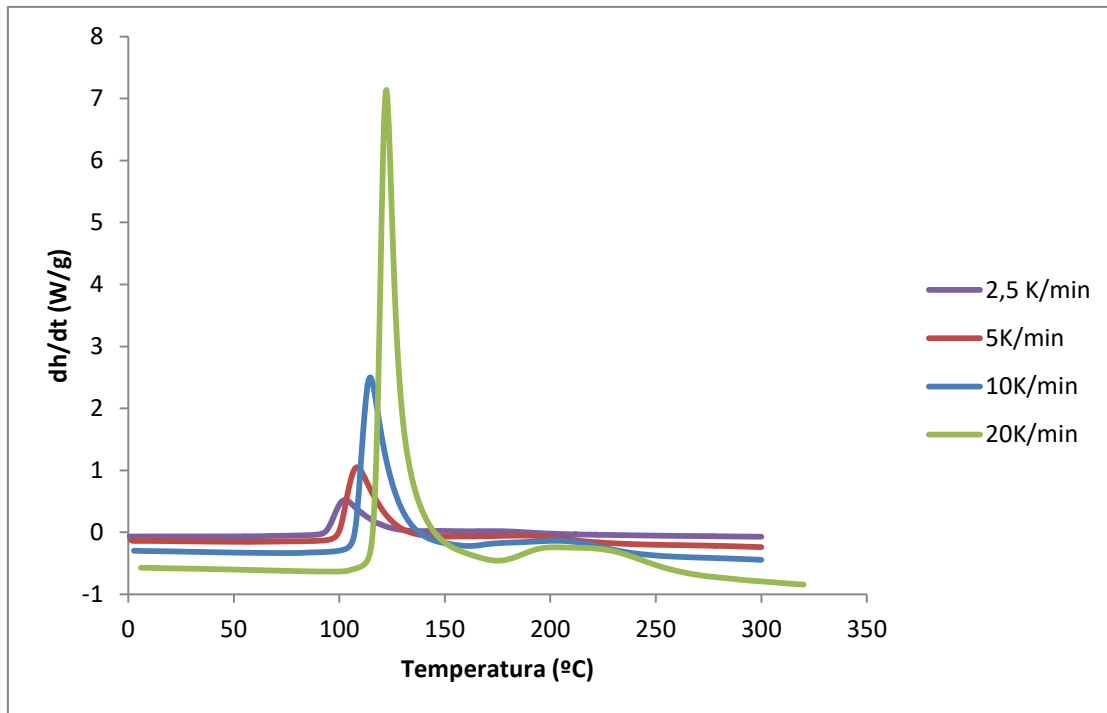
**Segona etapa****Taula 3.** Paràmetres característics de la cinètica isoconversional dinàmica de la segona etapa de HT25CEMA75\_R0,25\_DMAP0,025

| <b>α</b>    | <b>E [kJ/mol]</b> | <b>ln [AR/g(α)·E]<br/>[min<sup>-1</sup>]</b> | <b>ln [g(α)/A]<br/>[min]</b> | <b>r</b> | <b>ln A<br/>[min<sup>-1</sup>]</b> |
|-------------|-------------------|--|------------------------------|----------|------------------------------------|
| <b>0,2</b>  | 66,25             | 7,63   | -16,61                       | 0,9913   | 16,43                              |
| <b>0,33</b> | 67,98             | 7,66   | -16,67                       | 0,9917   | 16,87                              |
| <b>0,47</b> | 69,19             | 7,65   | -16,68                       | 0,9921   | 17,19                              |
| <b>0,6</b>  | 70,02             | 7,59   | -16,62                       | 0,9924   | 17,44                              |
| <b>0,73</b> | 70,42             | 7,41   | -16,45                       | 0,9923   | 17,6                               |
| <b>0,87</b> | 71,1              | 7,23   | -16,28                       | 0,9907   | 17,91                              |

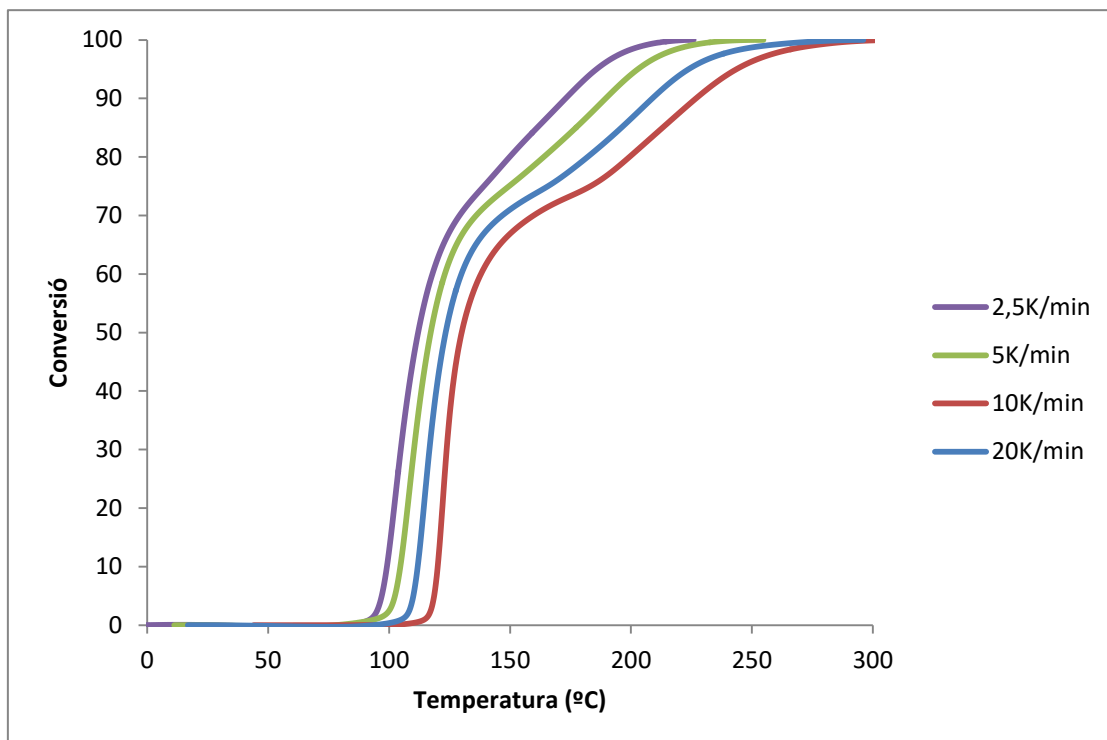
**Taula 4.** Paràmetres característics de la cinètica autocatalítica dinàmica de la segona etapa de HT25CEMA75\_R0,25\_DMAP0,025

| <b>n</b> | <b>m</b> | <b>E [kJ/mol]</b> | <b>ln A [min<sup>-1</sup>]</b> | <b>r</b> | <b>ln k<sub>150°C</sub></b> |
|----------|----------|-------------------|--------------------------------|----------|-----------------------------|
| 1,5554   | 0,4445   | 71,8496           | 18                             | 0,989    | -2,4259                     |

### 1.2 Curat dual dinàmic HT75CEMA25



**Gràfic 3.** Flux de calor del curat dinàmic d'HT75CEMA25\_R0,25\_DMAP0,025



**Gràfic 4.** Conversions del curat dinàmic d'HT75CEMA25\_R0,25\_DMAP0,025

**Primera etapa****Taula 5.** Paràmetres característics de la cinètica isoconversional dinàmica de la primera etapa de HT75CEMA25\_R0,25\_DMAP0,025

| $\alpha$    | E [kJ/mol] | $\ln [AR/g(\alpha) \cdot E]$<br>[min <sup>-1</sup> ] | $\ln [g(\alpha)/A]$<br>[min] | r      | $\ln A$<br>[min <sup>-1</sup> ] |
|-------------|------------|--|------------------------------|--------|---------------------------------|
| <b>0,2</b>  | 117,52     | 26,93  | -36,49                       | 0,9955 | 35,7                            |
| <b>0,33</b> | 125,65     | 29,23  | -38,85                       | 0,9971 | 38,59                           |
| <b>0,47</b> | 134,07     | 31,57  | -41,26                       | 0,9984 | 41,42                           |
| <b>0,6</b>  | 141,05     | 33,35  | -43,08                       | 0,9987 | 43,66                           |
| <b>0,73</b> | 138,78     | 32,09  | -41,82                       | 0,9964 | 42,86                           |
| <b>0,87</b> | 114,04     | 23,74  | -33,26                       | 0,9862 | 34,96                           |

**Taula 6** Paràmetres característics de la cinètica autocatalítica dinàmica de la primera etapa de HT75CEMA25\_R0,25\_DMAP0,025

| n      | m      | E [kJ/mol] | $\ln A$ [min <sup>-1</sup> ] | r      | $\ln k_{150^{\circ}\text{C}}$ |
|--------|--------|------------|------------------------------|--------|-------------------------------|
| 1,7627 | 0,2372 | 120,7      | 37,04                        | 0,9555 | -10,28                        |

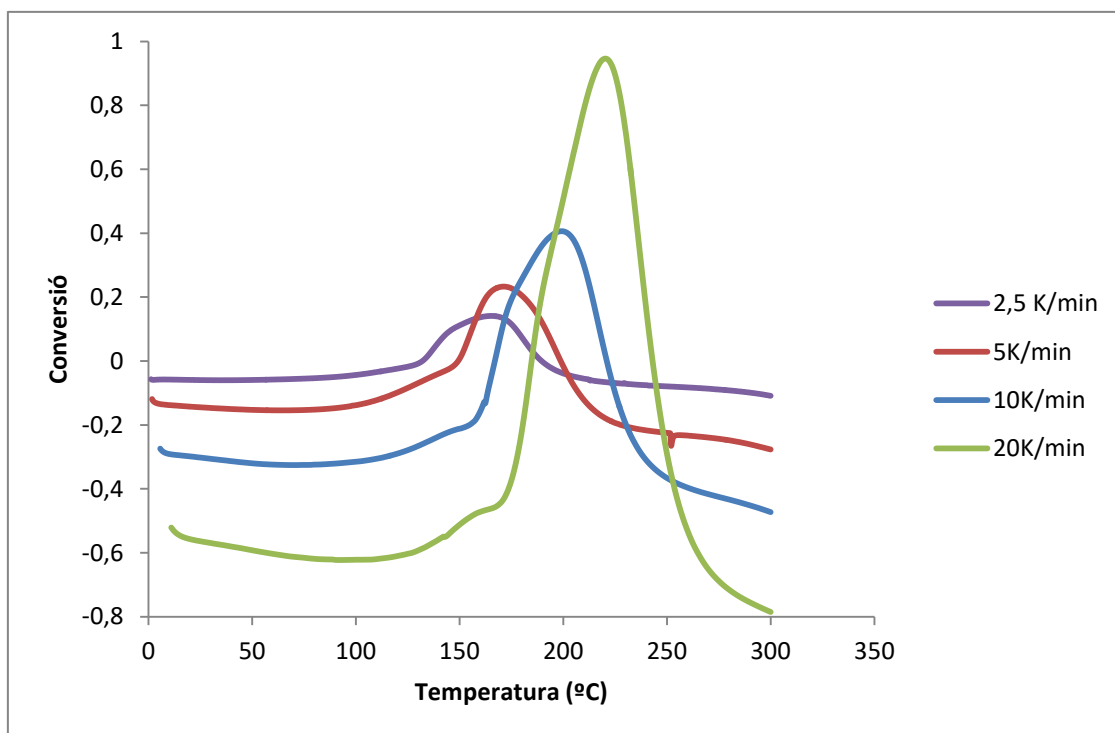
**Segona etapa****Taula 7.** Paràmetres característics de la cinètica isoconversional dinàmica de la segona etapa de HT75CEMA25\_R0,25\_DMAP0,025

| $\alpha$   | E [kJ/mol] | $\ln [AR/g(\alpha) \cdot E]$<br>[min <sup>-1</sup> ] | $\ln [g(\alpha)/A]$<br>[min] | r      | $\ln A$<br>[min <sup>-1</sup> ] |
|------------|------------|--|------------------------------|--------|---------------------------------|
| <b>0,2</b> | 65,32      | 8,02   | 16,99                        | 0,9916 | 14,92                           |
| <b>0,4</b> | 61,55      | 6,34   | 15,25                        | 0,9986 | 15,14                           |
| <b>0,6</b> | 62,12      | 5,97   | 14,89                        | 0,9987 | 15,42                           |
| <b>0,8</b> | 63,16      | 5,74   | 14,68                        | 0,9992 | 15,19                           |

**Taula 8.** Paràmetres característics de la cinètica autocatalítica dinàmica de la segona etapa de HT75CEMA25\_R0,25\_DMAP0,025

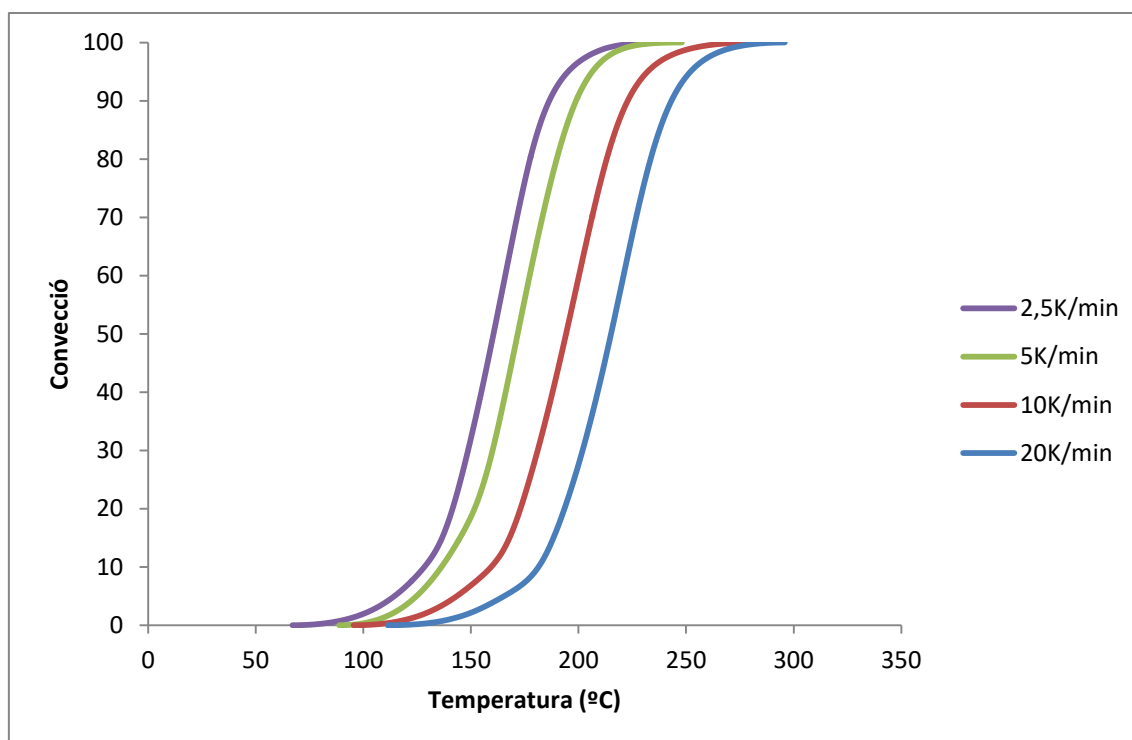
| n     | m      | E [kJ/mol] | ln A [min <sup>-1</sup> ] | r      | ln k <sub>150°C</sub> |
|-------|--------|------------|---------------------------|--------|-----------------------|
| 1,606 | 0,3942 | 62,98      | 15,93                     | 0,9961 | -2,517                |

### 1.3 Curat dinàmic segona etapa HT25CEMA75 després primera etapa UV a 30°C



**Gràfic 5.** Flux de calor segona etapa dinàmica d'HT25CEMA75\_R0,25\_DMAP0,025, després primera etapa UV a 30°C





**Gràfic 6.** Conversions segona etapa dinàmica d'HT25CEMA75\_R0,25\_DMAP0,025 després primera etapa UV a 30 °C

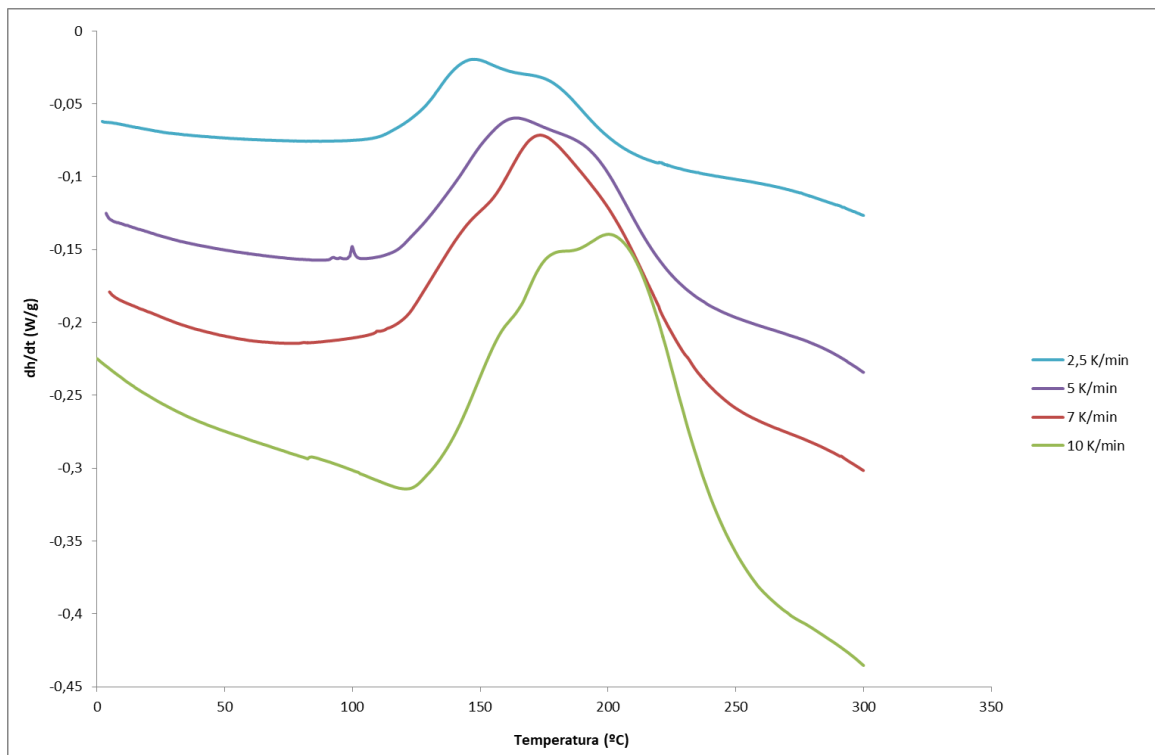
**Taula 9.** Paràmetres característics de la cinètica isoconversional dinàmica de la segona etapa d'HT25CEMA75\_R0,25\_DMAP0,025 després primera etapa UV a 30°C

| $\alpha$   | E<br>[kJ/mol] | $\ln [AR/g(\alpha) \cdot E]$<br>[min <sup>-1</sup> ] | $\ln [g(\alpha)/A]$<br>[min] | r      | $\ln A$<br>[min <sup>-1</sup> ] | $\ln k_{150^{\circ}C}$<br>[min <sup>-1</sup> ] | $(d\alpha/dt)_{150^{\circ}C}$<br>[min <sup>-1</sup> ] |
|------------|---------------|--|------------------------------|--------|---------------------------------|--|---|
| <b>0,1</b> | 52,88         | 4,79   | -13,55                       | 0,9954 | 13                              | -0,44  | 0,188   |
| <b>0,2</b> | 57,38         | 5,52   | -14,36                       | 0,9982 | 14,25                           | -0,34  | 0,2396  |
| <b>0,3</b> | 58,02         | 5,39   | -14,24                       | 0,9983 | 14,41                           | -0,34  | 0,2356  |
| <b>0,4</b> | 58,76         | 5,32   | -14,19                       | 0,9987 | 14,6                            | -0,34  | 0,2124  |
| <b>0,5</b> | 59,68         | 5,34   | -14,21                       | 0,9991 | 14,84                           | -0,33  | 0,1797  |
| <b>0,6</b> | 60,7          | 5,38   | -14,28                       | 0,9995 | 15,12                           | -0,31  | 0,1419  |
| <b>0,7</b> | 61,71         | 5,42   | -14,33                       | 0,9998 | 15,41                           | -0,27  | 0,1017  |
| <b>0,8</b> | 62,61         | 5,41   | -14,34                       | 0,9999 | 15,7                            | -0,21  | 0,0616  |
| <b>0,9</b> | 64,15         | 5,44   | -14,4                        | 1      | 16,2                            | -0,11  | 0,0249  |

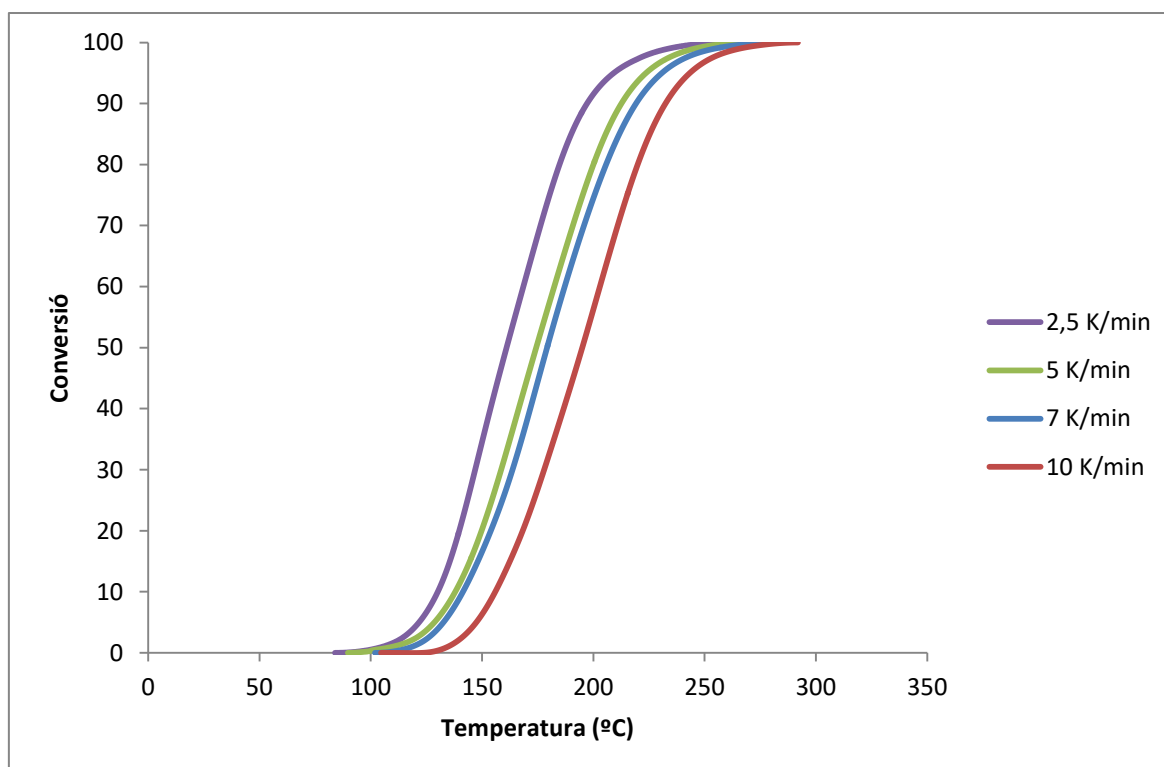
**Taula 10.** Paràmetres característics de la cinètica autocatalítica dinàmica de la segona etapa de HT25CEMA75\_R0,25\_DMAP0,025, després primera etapa UV a 30°C

| n      | m      | E [kJ/mol] | ln A [min <sup>-1</sup> ] | r     |
|--------|--------|------------|---------------------------|-------|
| 1,5346 | 0,4654 | 59,28      | 14,788                    | 0,994 |

#### 1.4 Curat dinàmic segona etapa HT75CEMA25 després primera etapa UV a 30 °C



**Gràfic 7.** Flux de calor segona etapa dinàmica HT75CEMA25\_R0,25\_DMAP0,025 després primera etapa Uva 30°C



**Gràfic 8.** Conversions segona etapa dinàmica HT75CEMA25\_R0,25\_DMAP0,025 després primera etapa UV a 30°C

**Taula 11.** Paràmetres característics de la cinètica isoconversional dinàmica de la segona etapa de HT75CEMA25\_R0,25\_DMAP0,025 després primera etapa UV a 30°C

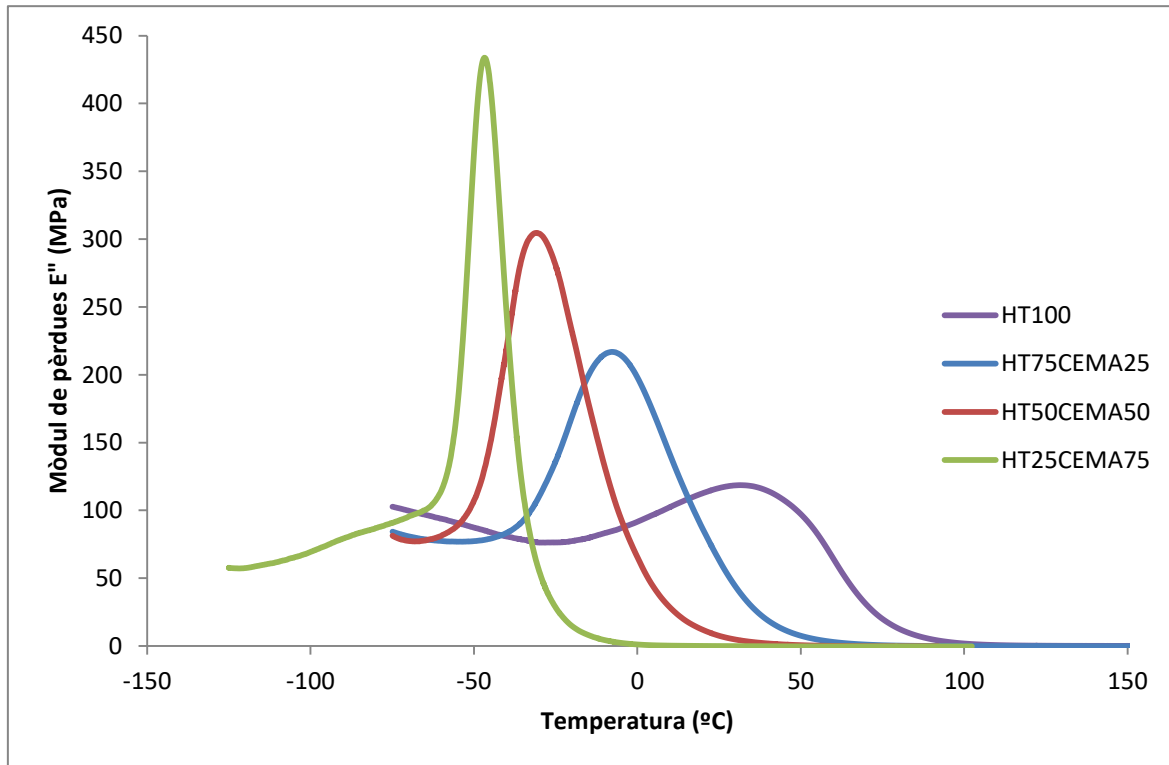
| $\alpha$   | E<br>[kJ/mol] | $\ln [AR/g(\alpha) \cdot E]$<br>[min <sup>-1</sup> ] | $\ln [g(\alpha)/A]$<br>[min] | r      | $\ln A$<br>[min <sup>-1</sup> ] |
|------------|---------------|--|------------------------------|--------|---------------------------------|
| <b>0,1</b> | 67,01         | 9,01   | -18,01                       | 0,9481 | 16,67                           |
| <b>0,2</b> | 64,88         | 7,85   | -16,81                       | 0,9716 | 16,07                           |
| <b>0,3</b> | 62,17         | 6,7  | -15,62                       | 0,9812 | 15,28                           |
| <b>0,4</b> | 60,57         | 5,92   | -14,81                       | 0,9842 | 14,81                           |
| <b>0,5</b> | 60,64         | 5,62   | -14,51                       | 0,9861 | 14,81                           |
| <b>0,6</b> | 62,28         | 5,74   | -14,66                       | 0,9896 | 15,25                           |
| <b>0,7</b> | 64,17         | 5,91   | -14,86                       | 0,9933 | 15,79                           |
| <b>0,8</b> | 65,97         | 6,01   | -14,99                       | 0,996  | 16,32                           |
| <b>0,9</b> | 69,46         | 6,39   | -15,43                       | 0,9967 | 17,36                           |

**Taula 12.** Paràmetres característics de la cinètica autocatalítica dinàmica de la segona etapa de HT75CEMA25\_R0,25\_DMAP0,025 després primera etapa UV a 30°C

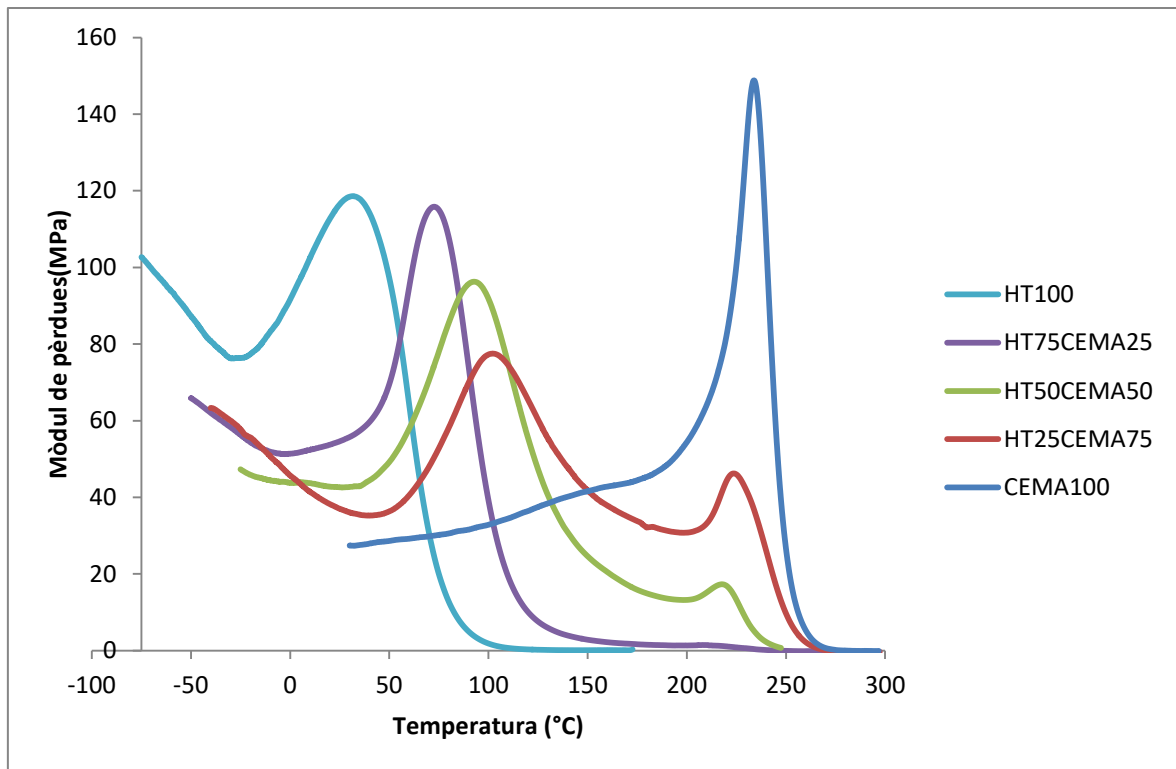
| <b>n</b> | <b>m</b> | <b>E [KJ/mol]</b> | <b>ln A [min<sup>-1</sup>]</b> | <b>r</b> |
|----------|----------|-------------------|--------------------------------|----------|
| 1,7434   | 0,2566   | 64,373            | 15,895                         | 0,9924   |

## Annex 2. Mòduls de pèrdues anàlisi dinamomecànica

En aquest annex 2 es mostren els gràfics addicionals corresponents a l'anàlisi dinamomecànica de l'apartat 7.5. En els següents gràfics es mostren el mòdul de pèrdues en funció de la temperatura per a les diferents formulacions intermèdies i finals.



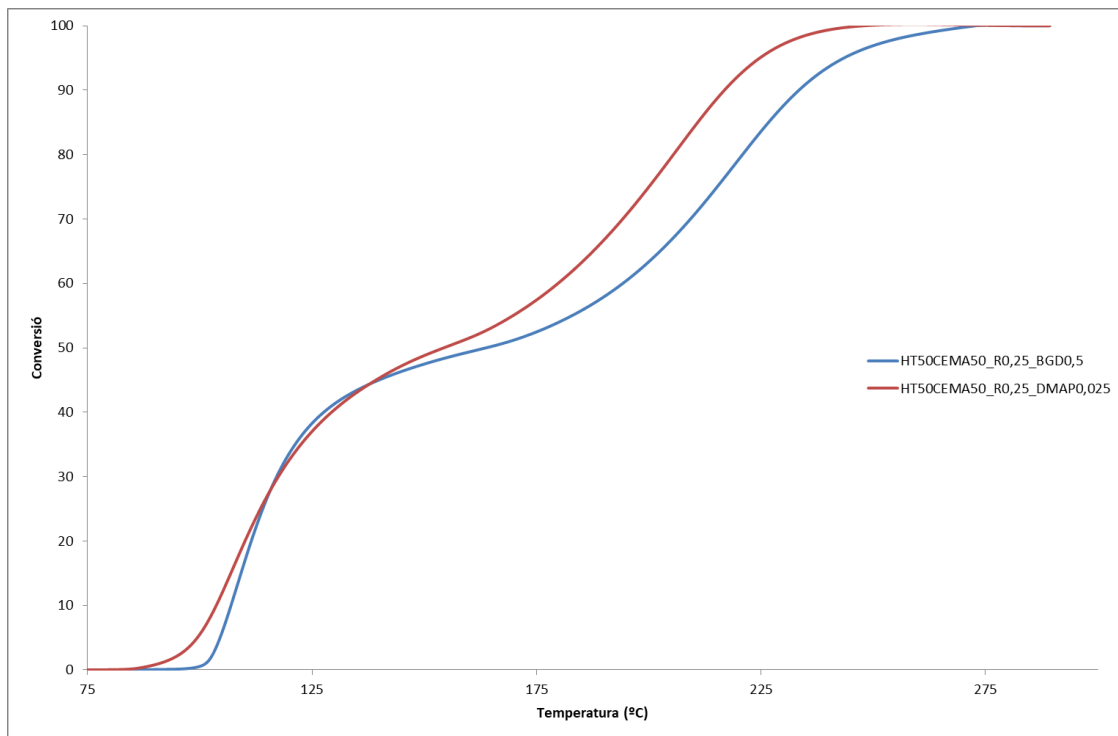
**Gràfic 1.** Mòdul de pèrdues en funció de la temperatura per als materials intermedis



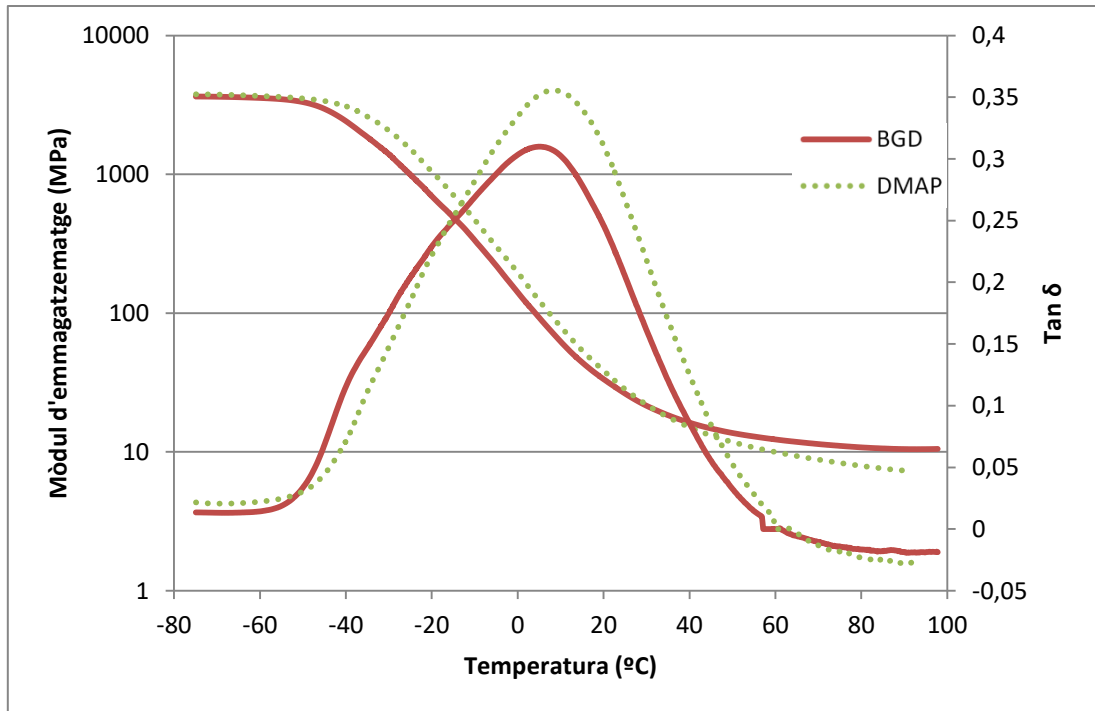
**Gràfic 2.** Mòduls de pèrdues en funció de la temperatura per als materials finals

### Annex 3. Gràfics estabilitat HT50CEMA50 amb DMAP i BGD

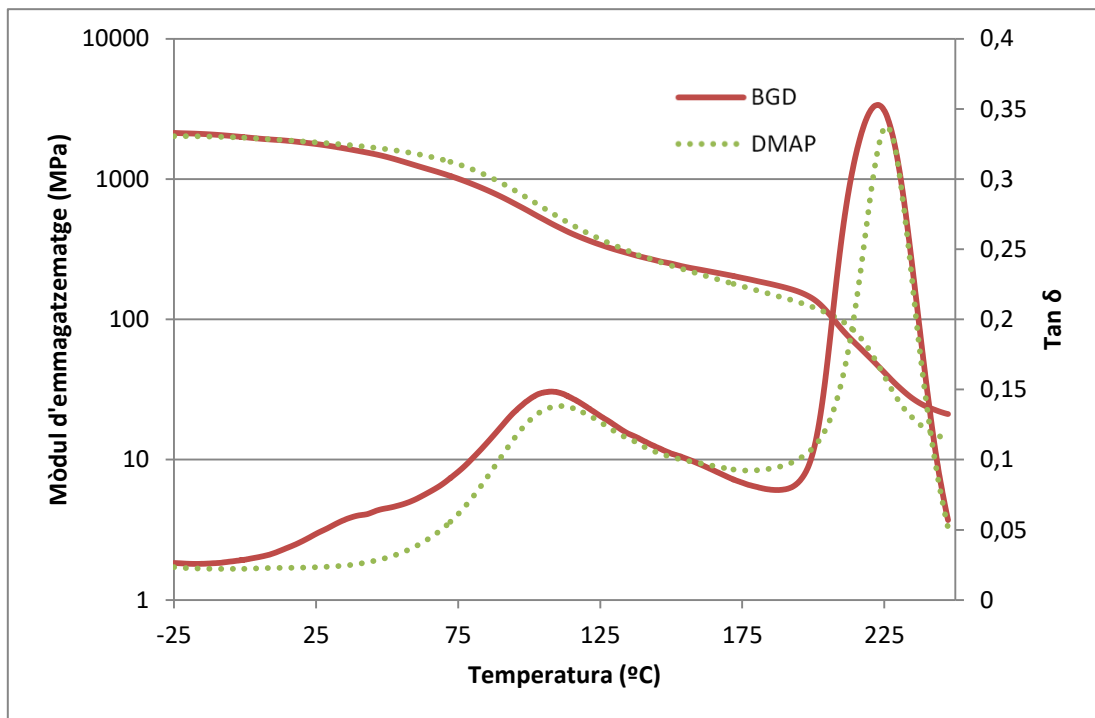
En aquest tercer annex es mostren els gràfics corresponents a l'apartat d'estabilitat no mostrats en la memòria. En primer lloc es mostra les conversions associades al curat dinàmic d'ambdues formulacions i després es comparen els mòduls d'emmagatzematge i els factors de pèrdues dels materials intermedis i finals amb els diferents iniciadors emprats, DMAP o BGD.



**Gràfic 1.** Conversions en front a temperatura del curat dinàmic d'HT50CEMA50\_R0,25 amb els iniciadors tèrmics BGD i DMAP.



**Gràfic 2.** Mòduls d'emmagatzematge i factor de pèrdues en funció de la temperatura per als materials intermedis HT50CEMA50\_R0,25 amb DMAP i BGD



**Gràfic 3.** Mòduls d'emmagatzematge i factor de pèrdues en funció de la temperatura per als materials finals HT50CEMA50\_R0,25 amb DMAP i BGD