

Capítulo

6

**Ensayos con
morteros y pastas**

6.1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

En este capítulo se describe la metodología seguida para la realización de los ensayos correspondientes a las campañas experimentales con morteros y pastas de cemento, asimismo se muestran y analizan los diferentes resultados obtenidos.

Principalmente se estudia la influencia de la temperatura ambiental sobre las propiedades de trabajabilidad, mecánicas y microestructurales de morteros y pastas de cemento.

Asimismo, se muestra el análisis de los resultados y las conclusiones obtenidas del estudio sobre pastas de cemento fabricadas en condiciones climáticas extremas a través del análisis microestructural, mediante técnicas de Resonancia Magnética Nuclear (RMN) y Microscopía Electrónica de Barrido (SEM). Los detalles experimentales y los resultados completos correspondientes a la realización de esta campaña experimental se muestran en el [Anejo C](#).

Conjuntamente con las pastas, se han fabricado probetas prismáticas de mortero (cemento, agua en una relación a/c de 0,5 y arena normalizada) para verificar el comportamiento mostrado mecánicamente (flexión y compresión) por los hormigones en la primera campaña de trabajo, recogándose muestras para su análisis mediante SEM.

Los objetivos específicos de esta serie experimental son lo siguientes:

- Simular las condiciones climáticas de verano e invierno mediante la cámara climática, asimismo tener una condición de referencia.
- Fabricar pastas de cemento con y sin aditivo polifuncional para someterlas a la acción de los ciclos climáticos y posteriormente realizar su caracterización mediante SEM Y RMN.
- Fabricar probetas prismáticas de mortero con arena normalizada para someterlas a la acción de los ciclos climáticos y posteriormente realizar su caracterización mecánica mediante ensayos de flexión y compresión. Asimismo caracterizar microestructuralmente el mortero mediante SEM.
- Analizar los resultados obtenidos en función de su naturaleza (térmicos, mecánicos y microestructurales) y compararlos con las tendencias observadas en los ensayos con hormigón realizados en el [Capítulo 4](#).
- Formular las conclusiones pertinentes en función de las tendencias principales observadas.

6.2 PLAN DE TRABAJO

6.2.1 Introducción

El presente apartado tiene por objeto definir el plan de trabajo realizado con pastas y morteros, en los que se ha simulado las condiciones climáticas estudiadas, tanto de verano como de invierno. Este plan de trabajo alcanza tanto a dichas condiciones como a los materiales utilizados y el tipo de ensayos realizados. Los resultados correspondientes a estos ensayos se muestran y analizan posteriormente en este mismo capítulo.

6.2.2 Simulación de las condiciones climáticas y ciclos utilizados

La simulación de las condiciones climáticas así como los ciclos climáticos utilizados (referencia, verano e invierno) corresponden a los citados en el [apartado 3.4.1](#). Los ensayos fueron realizados en la cámara climática de PROMSA, la cual se describe en el [apartado 3.3.1](#). Los ensayos de caracterización mecánica de resistencia a compresión y flexión de las probetas de mortero se realizaron en las instalaciones del LTE de la UPC. Las probetas correspondientes a estas series se realizaron los días 2 de Abril de 2002 para el ciclo invierno y el 9 de Abril de 2002 para el ciclo verano.

6.2.3 Variables estudiadas y procedimiento experimental

En las campañas de ensayos con hormigón se observó que la hora de hormigonado tenía una influencia significativa en las resistencias a compresión, y por otro lado, que la edad de desmoldeo tenía poca influencia. (Ver [Capítulo 4](#))

Estas conclusiones han influido en esta etapa de trabajo, por lo que para simplificarlo se han reducido las variables de estudio a una única hora de fabricación con desmoldeo a las 48 horas de edad, momento a partir del cual, el curado de los especímenes se realiza en cámara húmeda a una temperatura de 20 ± 1 °C y 99% de humedad relativa. En el caso de las condiciones de referencia, los especímenes se desmoldaban a las 24 horas.

A continuación se muestra la [tabla 6.1](#), en la cual se muestra a detalle el plan de trabajo para cada uno de los especímenes elaborados.

Condiciones climáticas	Material	Hora de Fabricación	Recogida de muestras	Ensayos realizados			
				SEM	RMN	Compresión	Flexión
Referencia	Pasta	No depende de la hora de fabricación	24 horas	X	X		
			7 días	X	X		
			28 días	X	X		
	Mortero		7 días	X		X	X
			28 días	X		X	X
Verano	Pasta	12:00 horas	48 horas	X	X		
			7 días	X	X		
			28 días	X	X		
	Mortero		7 días	X		X	X
			28 días	X		X	X
Invierno	Pasta	12:30 horas	48 horas	X	X		
			7 días	X	X		
			28 días	X	X		
	Mortero		7 días	X		X	X
			28 días	X		X	X

Tabla 6.1.- Toma de muestras de pastas y morteros y ensayos realizados

Para el análisis mediante SEM y RMN de la pasta se tomaron muestras en el momento de desmoldeo a 7 y 28 días, mientras que para el análisis con SEM del mortero las muestras se obtuvieron a los 7 y 28 días, coincidiendo con la caracterización mecánica a compresión y flexión del mortero.

Las pastas analizadas mediante las técnicas de Resonancia Magnética Nuclear de ²⁹Si (RMN) y Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) se realizaron, respectivamente, en el Departamento de Ingeniería Química de la UPC y en los Servicios Científico-Técnicos de la Universidad de Barcelona (UB), habiendo sido operados directamente por Dña. Joana Roncero.

Cabe mencionar que en esta tesis, para el caso de los ensayos de SEM y RMN, se mostrarán los resultados principales y las conclusiones obtenidas directamente por la autora Joana Roncero y se analizarán pero tomándolos solo como referencia [UPC-CMI-PROMSA, 2002] otorgándole el debido crédito a la autora.

6.2.4 Dosificaciones utilizadas en pastas y morteros

Recordemos que la dosificación del hormigón de referencia corresponde a un hormigón con resistencia normal de 25 MPa (relación a/c = 0,56) y tamaño máximo de árido de 20 mm de naturaleza caliza. Dicha dosificación se muestra en detalle en el **apartado 4.2.4**, del **Capítulo 4**. Asimismo los datos correspondientes a los materiales utilizados (cemento y aditivo polifuncional) pueden consultarse en el **apartado 3.2** de l **Capítulo 3**.

Dosificación de la pasta de cemento

Las proporciones para la fabricación de la pasta se han determinado siguiendo las proporciones de la mezcla base restando a la cantidad de agua total la absorción de los áridos, tal y como se detalla a continuación:

$$W = 164,9 - A_1 \cdot a_{A1} - A_2 \cdot a_{A2} - G_1 \cdot a_{G1} - G_2 \cdot a_{G2} ; \text{ donde:}$$

W = cantidad de agua correspondiente a la pasta = 143,7 litros

A₁ = es la cantidad de arena 0-2 = 205 kg

A₂ = es la cantidad de arena 0-5 = 860 kg

G₁ = es la cantidad de gravilla 5-12 = 85 kg

G₂ = es la cantidad de grava 12-20 = 830 kg

a_{A1} = coeficiente de absorción de la arena 0-2 = 1,87%

a_{A2} = coeficiente de absorción de la arena 0-5 = 1,60%

a_{G1} = coeficiente de absorción de la gravilla 5-12 = 0,45%

a_{G2} = coeficiente de absorción de la grava 12-20 = 0,37%

Los valores de absorción de los áridos han sido tomados del **apartado 3.2.2** del **Capítulo 3**. En la **tabla 6.2** se muestra la dosificación final de la pasta de cemento, así como las cantidades utilizadas en la fabricación de los especímenes, de unos 25 cm³ aproximadamente para la extracción posterior de las muestras.

Material	Teóricas para 1 m ³ de hormigón	Fabricación de muestras
Cemento	292 kg	2,0 kg
Agua	143,7 lt	0,984 lt
Aditivo	2,04 kg	13,97 gr

Tabla 6.2.- Materiales y dosificación para la fabricación de pastas

En general, para el caso de las pastas de cemento se siguieron los procedimientos descritos en la norma [ASTM C305-99e1](#), modificando en algunas veces los procedimientos por causas logísticas o prácticas.

Dosificación del mortero

Conjuntamente con las pastas, se fabricaron morteros con arena normalizada para la obtención de las resistencias a compresión y flexión del cemento según las condiciones climáticas de fabricación y conservación a primeras edades. En este sentido se han seguido los procedimientos descritos en las siguientes normas, modificando, como se verá más adelante, algunos aspectos de la fabricación de probetas por motivos de desplazamiento de equipos al interior de la cámara:

- [ASTM C305-99e1](#) “Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency”
- [ASTM C348](#) ”Standard Test Method for Flexural Strength of Hydraulic-Cement Mortars”
- [ASTM C349](#) “Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using Portions of Prisms Broken in Flexure)”
- [ASTM C778](#) “Specification for Standard Sand”

El mortero para la determinación de la resistencia del cemento se compone por la mezcla de cemento, agua y arena normalizada según las proporciones en masa de una parte de cemento, tres partes de arena y media parte de agua (relación a/c = 0,50). La dosificación utilizada para cada amasada para tres probetas se muestra a continuación en la [tabla 6.3](#).

Material	Dosificación (gr)
Cemento	450 ± 2
Agua	225 ± 1
Arena normalizada	1350 ± 5

Tabla 6.3.- Materiales y dosificación para la fabricación de morteros

6.2.5 Secuencia y procedimiento de amasado

Al igual que para el caso de la fabricación de hormigones, los materiales utilizados para la fabricación de pastas y morteros fueron almacenados en la cámara por espacio de 72 horas con el objeto de someterlos a los ciclos térmicos.

Pastas de cemento

La fabricación de las pastas de cemento se realizó en una amasadora de 5 litros de capacidad con dos velocidades de trabajo, una rápida y otra lenta, siguiendo la siguiente secuencia de amasado:

1. Agua (inicialmente se diluye todo el aditivo con 100 ml del agua de amasado).
2. Se vierte el cemento en el recipiente de la amasadora que ya contiene el agua.
3. Se mezclan el cemento y el agua de amasado durante 1 minuto a baja velocidad.
4. Se incorpora el aditivo diluido mezclándose durante 30 segundos a baja velocidad.
5. Se mezcla todo el material durante 1 minuto más a velocidad alta.

Esta secuencia de adición y mezclado de materiales trata de reflejar las condiciones en que fueron fabricadas las probetas de hormigón que se realizaron anteriormente, con el objeto de equiparar en la medida de lo posible, las condiciones de contorno.

Mortero

Dado que se pretende determinar la resistencia a 7 y 28 días (dos series de tres probetas) se ha realizado una amasada única con el objeto de reducir al máximo la dispersión de los resultados.

La secuencia de amasado fue la siguiente:

1. Se vierte el agua dentro del recipiente de la amasadora.
2. Se añade el cemento.
3. Se inicia el amasado a velocidad lenta y a los 30 segundos se introduce de forma regular la arena durante los 30 segundos siguientes, momento en el cual se pasa a velocidad rápida durante otros 30 segundos.
4. Se detiene el amasado y mediante una espátula de goma se retira el mortero adherido a la pala de la amasadora y se devuelve a la mezcla.
5. Continúa el amasado durante 1 minuto más a velocidad rápida.

6.2.6 Toma de muestras y preparación de especímenes

Al igual que se hizo en la anterior campaña de hormigones, se registraron las temperaturas ambientales (en el interior de la cámara) y en la pasta o mortero mediante sondas termopares y sistemas de adquisición de datos tipo “squirrel”.

Pastas de cemento

Una vez finalizada la fase de amasado en las pastas de cemento, se vertía su contenido en pequeños recipientes de plástico (vasos) y se introducían las sondas termopares. Estos recipientes eran cubiertos con bolsas de plástico para evitar la posible evaporación del agua. De igual forma los recipientes se dejaban en las condiciones de curado específicas de acuerdo a la [tabla 6.1](#) y posteriormente, pasado ese tiempo, eran llevadas a la cámara húmeda para estar sometidas a condiciones de 20 °C de temperatura y humedad relativa igual o mayor al 95%.

Llegado el día de ser retiradas de la cámara húmeda se preparaban las muestras para ser analizadas por medio de las técnicas de SEM y RMN como se describe a continuación.

Las muestras para el análisis en SEM consisten en pequeños segmentos finos y con al menos una cara plana extraídos del núcleo del espécimen mediante su fragmentación. Con el objeto de desplazar el agua de la muestra y detener su proceso de hidratación, se realiza una serie de lavados con acetona primero y etanol a continuación, conservándose finalmente en etanol hasta el momento de la preparación de la muestra para su análisis.

Para el análisis de la pasta mediante RMN se toma una muestra pulverizada mediante fragmentación y molido por medio de un mortero de piedra de ágata. Al igual que las muestras para SEM se someten a un lavado mediante acetona y etanol para detener su proceso de hidratación y conservación hasta la fecha del análisis.

Mortero

Una vez finalizado el amasado del mortero se determina su grado de fluidez por medio del ensayo de consistencia mediante la mesa de sacudidas definido en la norma [ASTM C305-99e1](#), de la siguiente manera:

1. Se rellena sobre la mesa de sacudidas un molde tronco-cónico de $60\pm 0,5$ mm de altura, $100\pm 0,5$ mm de diámetro de base y $40\pm 0,5$ mm de diámetro superior, mediante dos capas compactadas con 10 golpes de pisón normalizado (barra de diámetro 40 mm, 200 mm de longitud y 250 ± 15 gr de masa).
2. Se retira el molde y se somete el mortero a 15 sacudidas de la mesa (se eleva a una determinada altura dejándose caer libremente).
3. Se mide el escurrimiento como el diámetro medio alcanzado por el mortero.

Inmediatamente después de la preparación del mortero se fabricaron las dos series de probetas de dimensiones 40x40x160 mm mediante dos tongadas con 60 golpes cada una. Si bien la norma especifica el uso de una mesa compactadora para la compactación del mortero, debido a la imposibilidad de trasladar dicho equipo a la

cámara climática y para evitar dispersiones utilizando un pisón manual, la compactación se realizó sujetando fijamente el molde a la mesa de sacudidas manteniendo el número de golpes normalizado.

Finalizando el proceso se enrasó la probeta y se mantuvo en la cámara climática durante 48 horas en los ciclos de verano e invierno y 24 horas en las condiciones de referencia, momento en el que se procedía a su desmoldeo e introducción en la cámara húmeda para su curado hasta el momento del ensayo. A igual que con las pastas de cemento, se registró la evolución de la temperatura en el mortero mediante sondas termopares y dispositivos de adquisición de registros térmicos.

Después de ensayar las probetas (a flexión primero y a compresión después) se fragmentaron aquellas zonas en las que no se había aplicado carga para la obtención de muestras de mortero y su posterior análisis en SEM. Al igual que en las muestras de pasta, para detener su proceso de hidratación se procedió a su lavado mediante acetona y etanol.

6.2.7 Ensayos de caracterización realizados

Los ensayos realizados a las pastas de cemento y morteros se han hecho con el fin de caracterizar las propiedades mecánicas de morteros a diferentes temperaturas. Asimismo conocer la microestructura de morteros y pastas y para determinar el nivel de formación de C-S-H, principal producto de hidratación responsable del desarrollo de resistencia en el hormigón. Lo anterior, comparando pastas de cemento fabricadas en condiciones extremas con una pasta preparada en condiciones de referencia. A continuación se explican los métodos de estudio aplicados así como algunos detalles experimentales.

Resistencia a flexión y compresión de los especímenes de mortero

Estos ensayos se realizaron en el LTE de la UPC en la máquina de ensayo de probetas prismáticas controladas por una Ibertest de 1,5 MN (MegaNewtons), controlada por un ordenador.

Cada probeta de 40x40x160 mm es ensayada a flexión aplicando una carga centrada a una velocidad de 50 N/s sobre la probeta biapoyada con una luz de 100 mm, determinando su resistencia a flexión (R_f) en MPa según la ecuación:

$$R_f = \frac{1,5 \cdot F_f \cdot l}{b^3}$$

donde:

F_f = carga aplicada (N)

l = distancia entre soportes = 100 mm

b = lado de la sección cuadrada de la probeta = 40 mm

Del ensayo se obtienen dos mitades que posteriormente se ensayan a compresión aplicando una carga sobre las caras laterales (moldeadas) en una superficie de 40x40 mm a una velocidad de 160 N/s (en contra de los 2400±200 N/s que indica la norma correspondiente debido a un error en la programación de la prensa en la primera serie de ensayos, pero que se mantuvo en el resto de las determinaciones), obteniendo la resistencia a compresión R_c en MPa según la expresión:

$$R_c = \frac{F_c}{S}$$

donde:

F_c = carga máxima a rotura (N)

S = superficie de los platos de carga = 40x40 = 1600 mm²

6.3 RESULTADOS TÉRMICOS

Antes de presentar los resultados correspondientes, cabría mencionar que el pequeño volumen de material utilizado en el registro hace que los valores obtenidos en los registros de temperatura no sean muy fiables a la hora de interpretarlos y realizar un análisis. No obstante, y como era previsible, se observa una cinética más rápida con la temperatura, si bien los picos de temperatura máxima indicados en las gráficas pueden verse desplazados debido a este problema.

Asimismo, cabe destacar que la propia inercia térmica de la muestra dificulta la localización de picos en los ciclos de temperatura no constante (ciclos de verano e invierno).

Otro factor de atenuación térmica importante es el hecho de que en el caso de los morteros, la temperatura se medía en la masa contenida en probetas prismáticas, las cuales tienen en su parte superior una superficie de transferencia de temperatura importante, por lo tanto el calor acumulado en el interior de éstas es menor que, por ejemplo, en el caso de las probetas cilíndricas de hormigón analizadas en el **Capítulo 4** de esta tesis.

6.3.1 Condiciones térmicas de referencia

Resultados del mortero

En la **figura 6.1** se muestra la evolución térmica presentada por el mortero de referencia durante las primeras 28 horas (temperatura 20 °C y humedad relativa 95%, ambas constantes). El mortero de referencia fue realizado el martes 16 de Abril de 2002. Los registros obtenidos mediante los dispositivos de adquisición de datos térmicos corresponden a la temperatura ambiente y a la temperatura medida en el interior de una de las probetas de mortero.

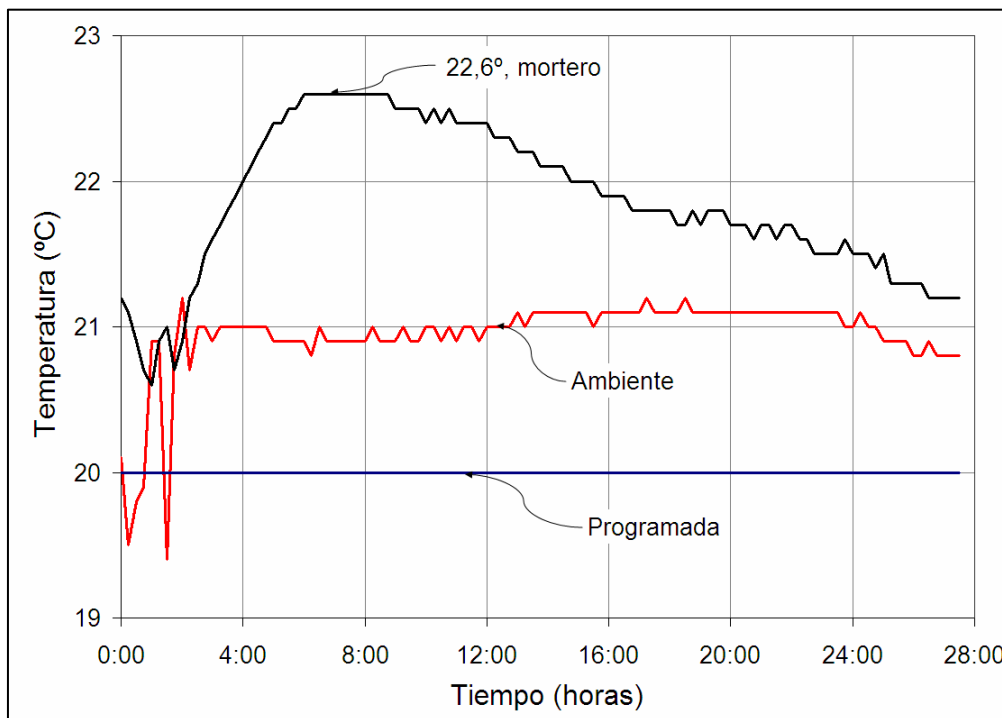


Figura 6.1.- Evolución térmica del mortero de referencia

Se observa en la figura anterior, por una parte, que la temperatura ambiente es aproximadamente 1 °C mayor que la programada, lo que en térmicos prácticos significa una buena correlación. Por otro lado, podemos ver que la máxima temperatura alcanzada por el mortero es de 22,6 °C en un lapso de 6 horas, posteriormente esta temperatura disminuye hasta casi igualarse a la ambiental.

Si comparamos este resultado con el obtenido para el caso del hormigón de referencia del **Capítulo 4** podemos ver que es algo menor, asimismo, el tiempo en que este valor fue alcanzado es también menor. Lo anterior puede deberse a que, como se mencionó anteriormente, el volumen de material que ocupa el molde es menor, de igual forma hay que recordar que el mortero no contiene aditivo, por lo que no hay retrasos en el fraguado.

Resultados de la pasta

A continuación, se presenta en la **figura 6.2** la evolución térmica presentada por la pasta de referencia durante las primeras 28 horas (temperatura 20 °C y humedad relativa 95%, ambas constantes). Dicha pasta fue realizada también el martes 16 de Abril de 2002. Los registros obtenidos mediante los dispositivos de adquisición de datos

térmicos corresponden a la temperatura ambiente y a la temperatura medida en el interior de uno de los recipientes con pasta de cemento con aditivo.

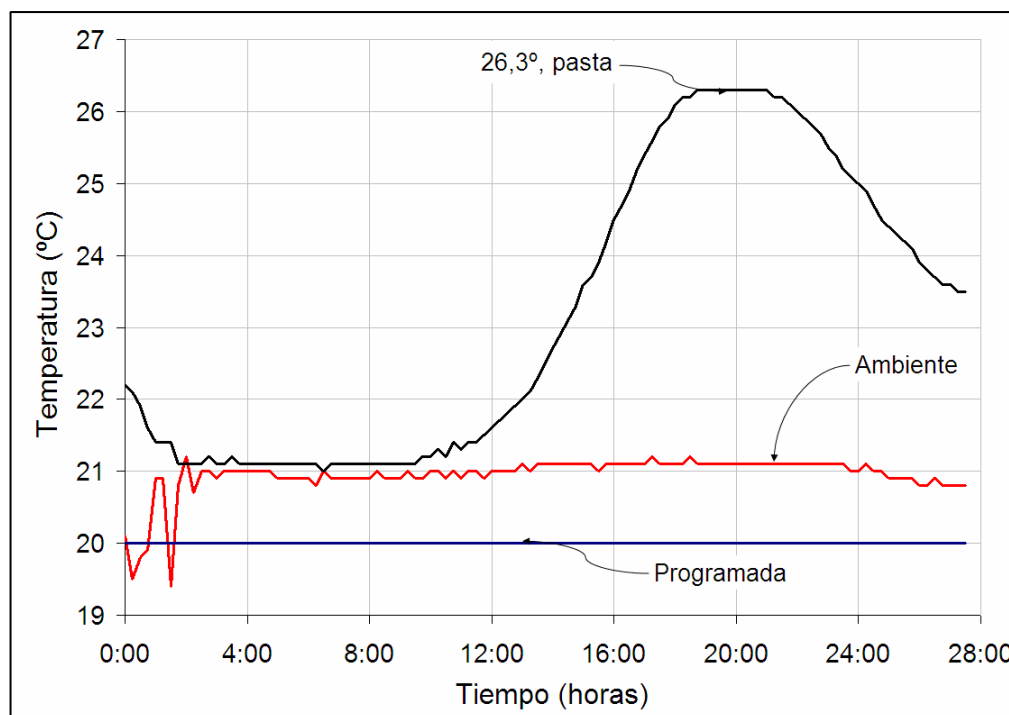


Figura 6.2.- Evolución térmica de la pasta de referencia

Podemos ver en la figura anterior, nuevamente, que la temperatura ambiental en este caso es un poco mayor que la programada, lo cual muestra una buena concordancia del ensayo. En cuanto al incremento térmico, en este caso vemos que la pasta alcanzó una temperatura máxima de 26,3 °C, la cual es mayor que para el caso del mortero. Sin embargo, en este caso el tiempo en alcanzar dicha temperatura máxima fue de 19 horas, es decir, más de 3 veces el tiempo que necesitó el mortero en alcanzarla. Este hecho puede explicarse en función de la presencia de aditivo polifuncional en la pasta y que, para el caso del mortero, no estuvo presente. Para el caso de la relación agua/cemento, no existe diferencia ya que esta fue prácticamente la misma en ambos casos.

6.3.2 Condiciones térmicas de verano

Temperatura ambiental

En la **figura 6.3** se muestra la evolución de la temperatura registrada en la cámara, con relación a la programada durante el ciclo de verano. En ella puede verse una buena concordancia entre la temperatura registrada y la temperatura programada. Las pequeñas diferencias responden a las distintas ubicaciones de los registros.

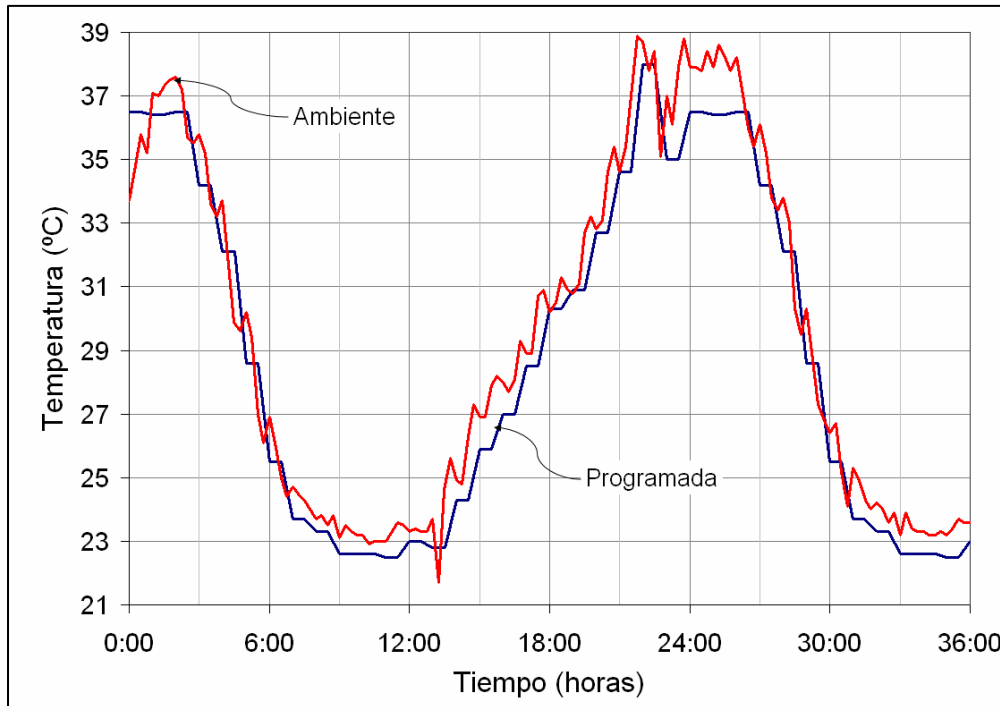


Figura 6.3.- Temperatura programada y ambiente en cámara para verano

Resultados del mortero

El mortero correspondiente a las condiciones de verano fue fabricado el martes 9 de Abril de 2002. En la [figura 6.4](#) se muestra la evolución térmica presentada por el mortero sometido a las condiciones de verano durante las primeras 36 horas. Los registros obtenidos mediante los dispositivos de adquisición de datos térmicos corresponden a la temperatura ambiente y a la temperatura medida en el interior de una de las probetas de mortero.

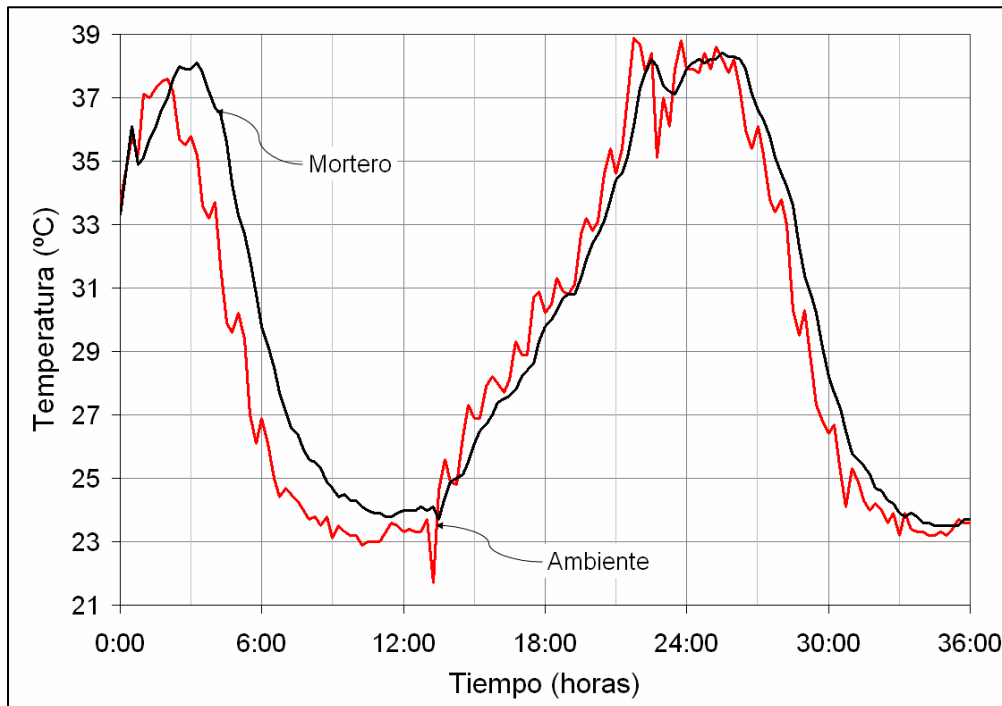


Figura 6.4.- Evolución térmica del mortero para condiciones de verano

Podemos ver en la figura anterior que el perfil térmico del mortero casi no presenta variación respecto a la temperatura ambiental, de hecho la temperatura máxima alcanzada puede localizarse en las primeras 6 horas, influenciada también por la tendencia creciente de la temperatura ambiental al momento de fabricar este mortero.

Para visualizar mejor este segmento que comprende las primeras horas, se presenta a continuación la **figura 6.5**, en la cual se muestra un detalle de estos primeros momentos.

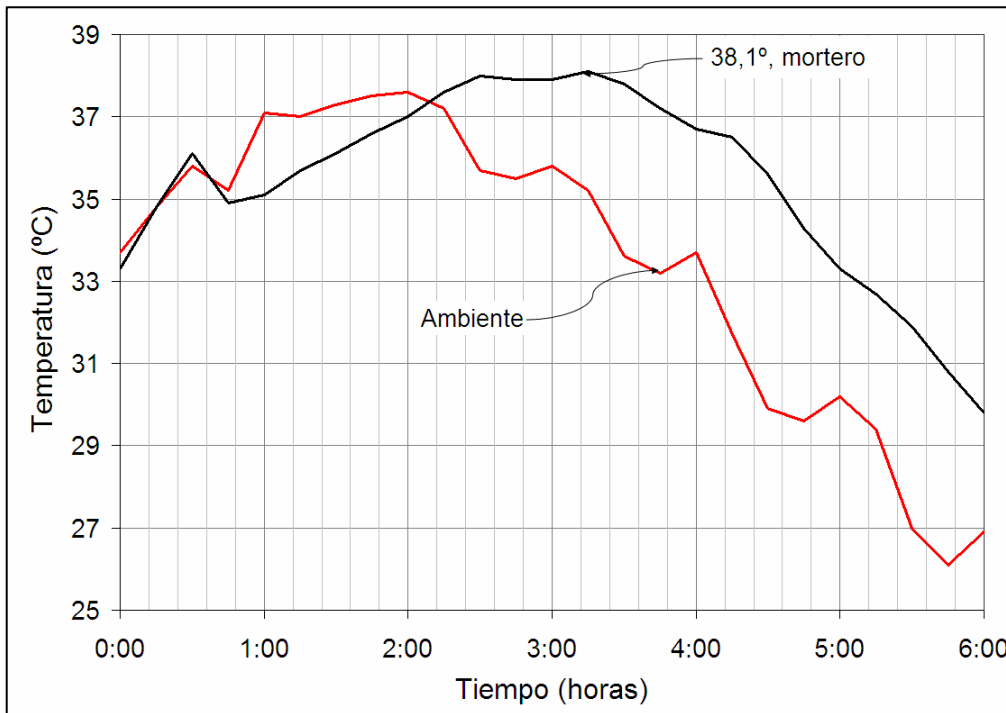


Figura 6.5.- Detalle a primeras edades del mortero para condiciones de verano

En este caso, la temperatura máxima alcanzada por el mortero fue de 38,1 °C, en un lapso de 3:15 horas, es decir, aproximadamente la mitad de tiempo que necesitó el mortero bajo condiciones de referencia para alcanzar su máximo, que por otro lado, es mucho menor.

Resultados de la pasta

La pasta de cemento correspondiente a las condiciones de verano fue fabricada también el martes 9 de Abril de 2002. En la **figura 6.6** se muestra la evolución térmica presentada por dicha pasta sometida a las condiciones de verano durante las primeras 36 horas. Los registros obtenidos mediante los dispositivos de adquisición de datos térmicos corresponden a la temperatura ambiente y a la temperatura medida en el interior de uno de los recipientes que contenía una muestra de la pasta.

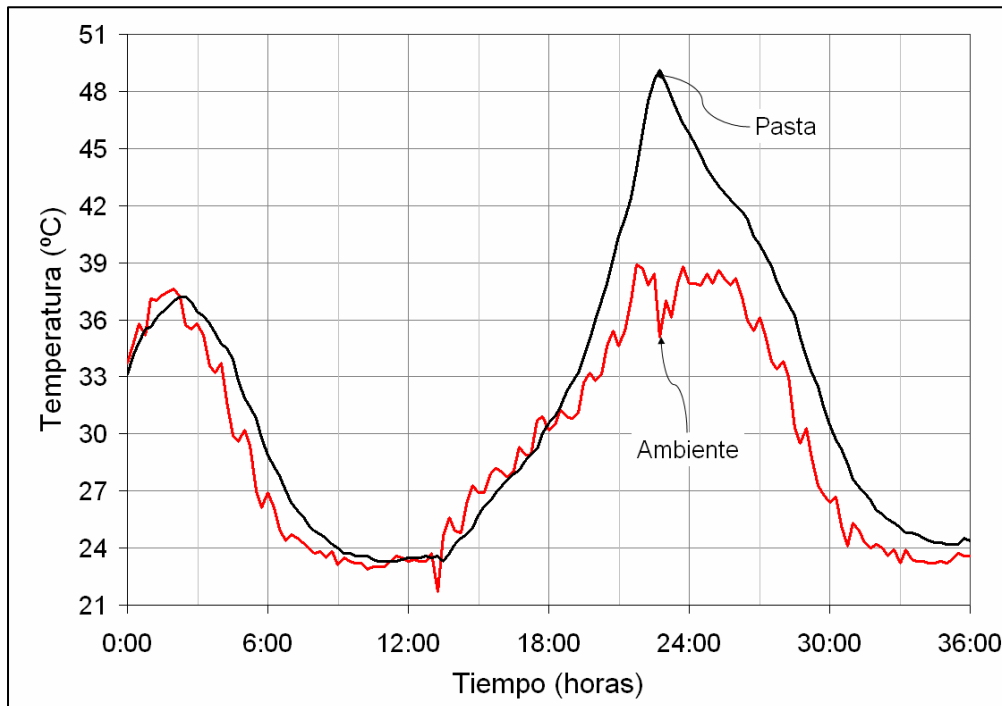


Figura 6.6.- Evolución térmica de la pasta para condiciones de verano

Podemos ver en la figura anterior que el perfil térmico presentado por la pasta de cemento para las condiciones de verano presenta una cresta correspondiente a la temperatura máxima alcanzada (T_{\max}) coincidiendo con la hora en que la temperatura ambiental tiene también su máximo. Este resultado tiene concordancia con los resultados observados para las condiciones de control, en la que el mortero tenía su punto máximo antes que la pasta de cemento.

Con objeto de visualizar con mayor detalle lo expuesto anteriormente, se presenta a continuación en la **figura 6.7**, un detalle de la cresta de máximos de la curva de reacción exotérmica de la pasta de cemento.

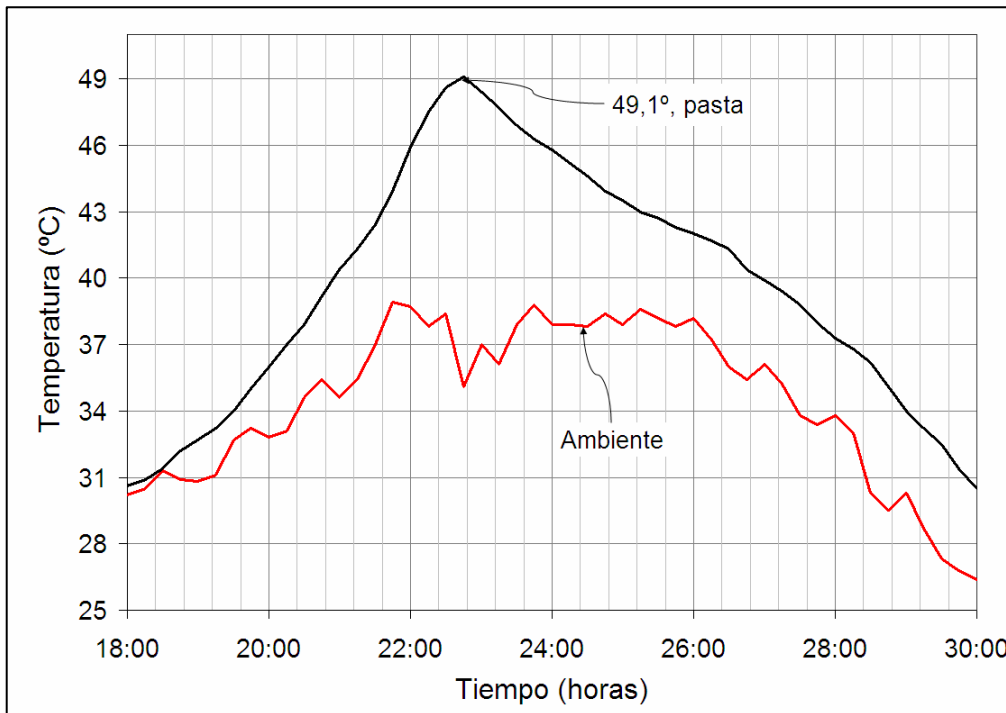


Figura 6.7.- Detalle de curva exotérmica de la pasta para condiciones de verano

En este caso, la temperatura máxima alcanzada por la pasta de cemento fue de 49,1 °C, en un lapso de 22:45 horas, este tiempo es mucho mayor que el observado para las condiciones de referencia. Lo anterior puede explicarse debido a que cuando se terminó de elaborar la pasta y se introdujo la sonda termopar para registrar su evolución térmica, la tendencia de la temperatura ambiental era decreciente. Debido a este hecho y a la influencia del aditivo, el punto máximo de liberación de calor tuvo un retraso en el tiempo respecto al observado para las condiciones de referencia.

6.3.3 Condiciones térmicas de invierno

Temperatura ambiental

En la **figura 6.8** se muestra la evolución de la temperatura registrada en la cámara, con relación a la programada durante el ciclo de invierno. En ella puede verse una buena concordancia entre la temperatura registrada y la temperatura programada. Las pequeñas diferencias responden a las distintas ubicaciones de los registros.

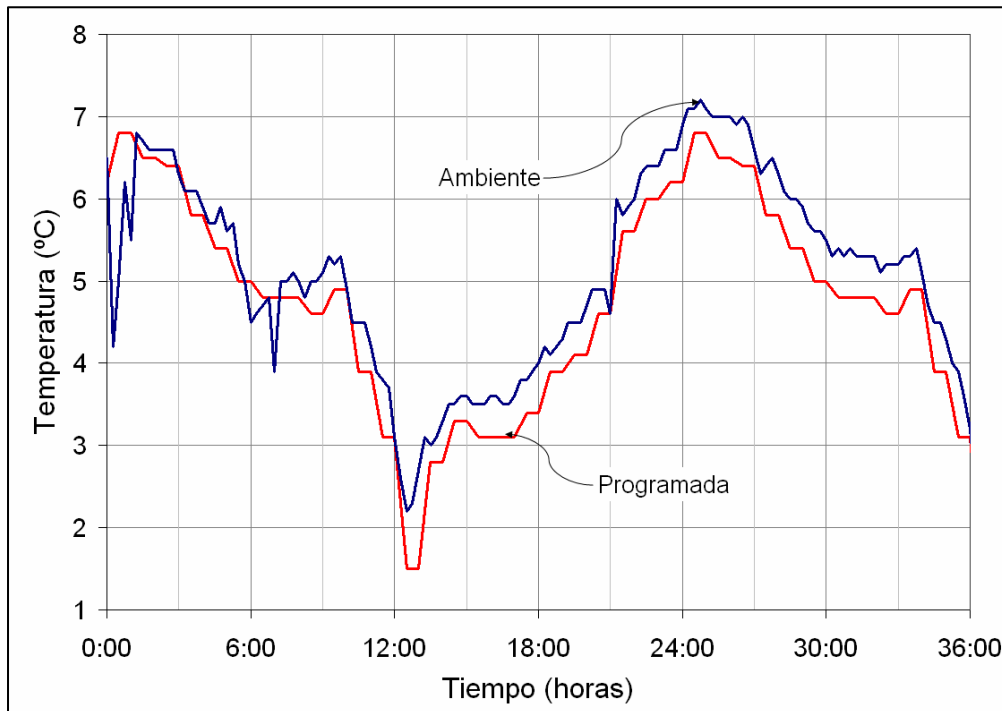


Figura 6.8.- Temperatura programada y ambiente en cámara para invierno

Resultados del mortero

El mortero correspondiente a las condiciones de invierno fue fabricado el martes 2 de Abril de 2002. En la **figura 6.9** se muestra la evolución térmica presentada por el mortero sometido a las condiciones de invierno durante las primeras 36 horas. Los registros obtenidos mediante los dispositivos de adquisición de datos térmicos corresponden a la temperatura ambiente y a la temperatura medida en el interior de una de las probetas de mortero.

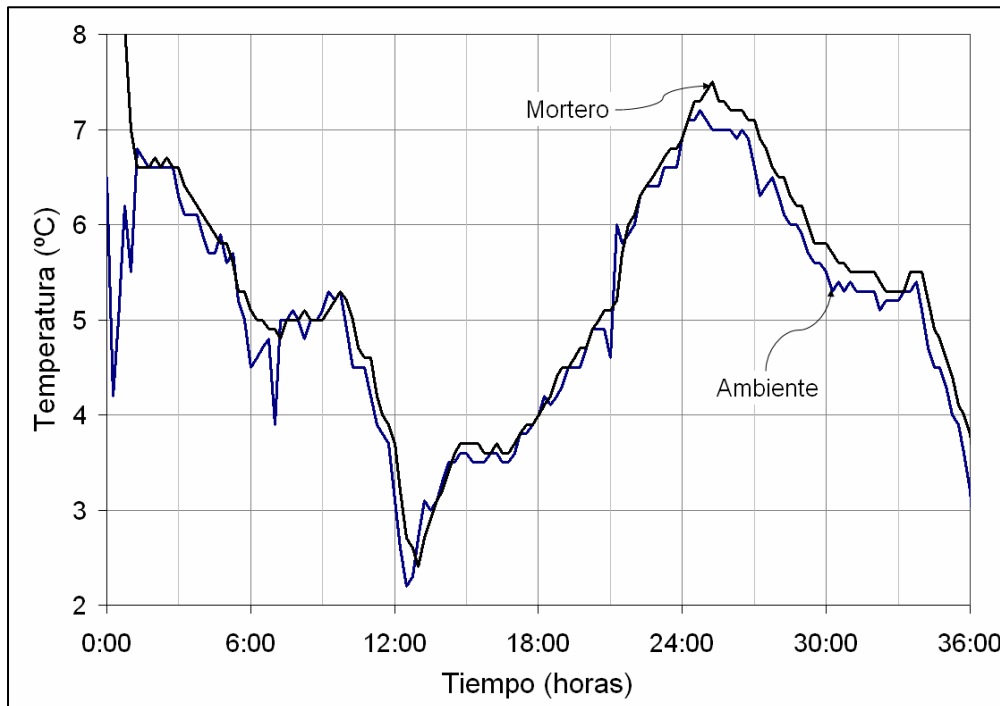


Figura 6.9.- Evolución térmica del mortero para condiciones de invierno

Podemos ver en la figura anterior que el perfil térmico del mortero casi no presenta variación respecto a la temperatura ambiental, de hecho la temperatura máxima alcanzada puede localizarse hasta después de 24 horas, influenciada también por la tendencia decreciente de la temperatura ambiental al momento de fabricar este mortero. Tal vez por esto la reacción exotérmica haya sido mermada por esta tendencia a la baja.

Con objeto de visualizar con mayor detalle lo expuesto anteriormente, se presenta a continuación en la **figura 6.10**, un detalle de la cresta de máximos de la curva de reacción exotérmica del mortero.

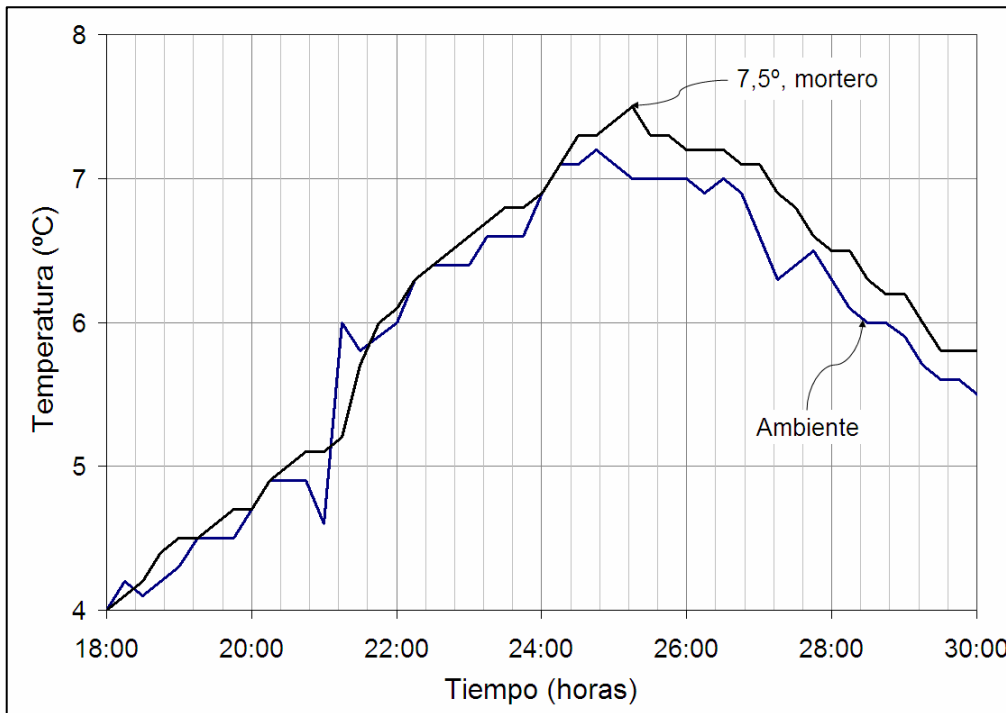


Figura 6.10.- Detalle de curva exotérmica del mortero para condiciones de invierno

En este caso, la temperatura máxima alcanzada por el mortero fue de 7,5 °C, en un lapso de 25:15 horas, lo cual es un tiempo excesivamente largo en comparación con los tiempos obtenidos bajo condiciones de referencia y bajo condiciones de verano.

Resultados de la pasta

La pasta de cemento correspondiente a las condiciones de invierno fue fabricada también el martes 2 de Abril de 2002. En la **figura 6.11** se muestra la evolución térmica presentada por dicha pasta sometida a las condiciones de invierno durante las primeras 36 horas. Los registros obtenidos mediante los dispositivos de adquisición de datos térmicos corresponden a la temperatura ambiente y a la temperatura medida en el interior de uno de los recipientes que contenía una muestra de la pasta.

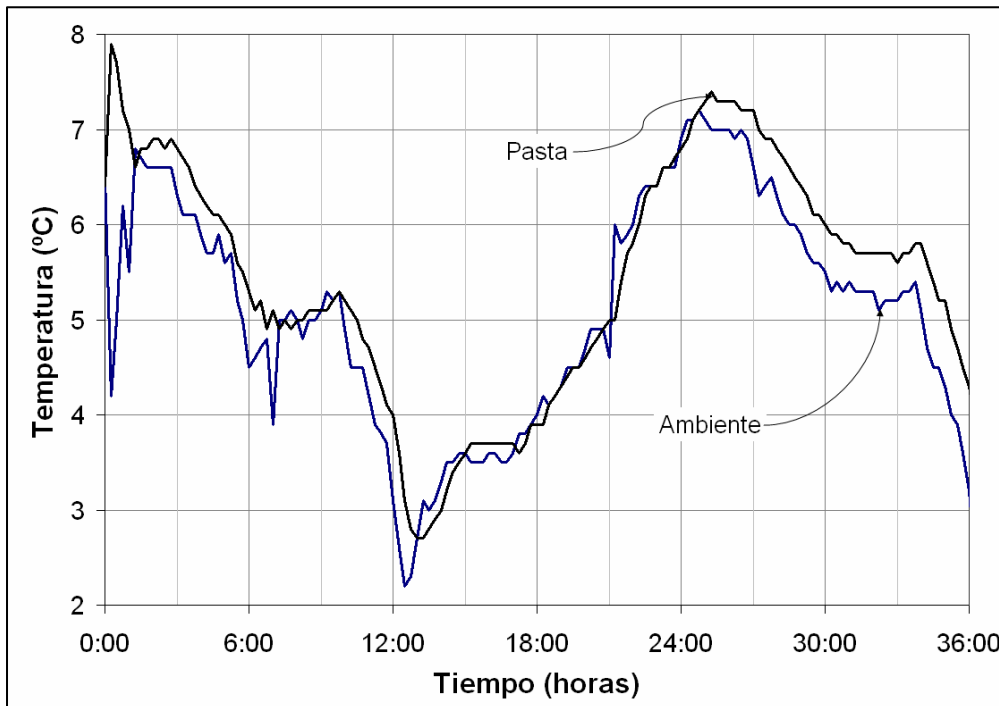


Figura 6.11.- Evolución térmica de la pasta para condiciones de invierno

Podemos ver en la figura anterior que el perfil térmico presentado por la pasta de cemento para las condiciones de invierno presenta una cresta correspondiente a la temperatura máxima alcanzada (T_{\max}) coincidiendo con la hora en que la temperatura ambiental tiene también su máximo.

Con objeto de visualizar con mayor detalle lo expuesto anteriormente, se presenta a continuación en la **figura 6.12**, un detalle de la cresta de máximos de la curva de reacción exotérmica de la pasta de cemento.

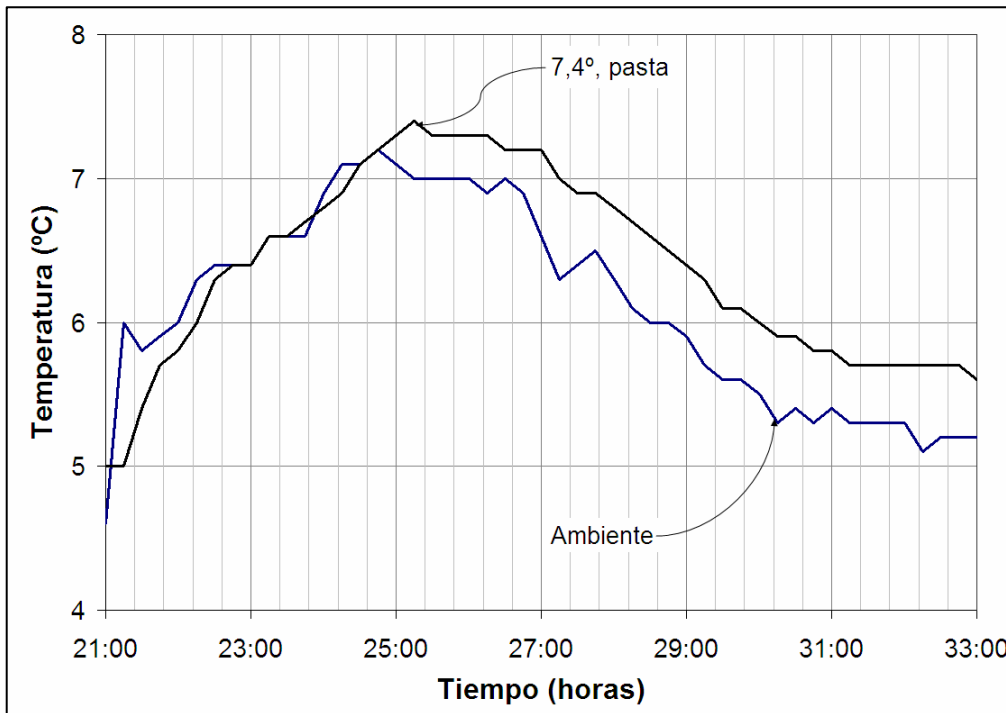


Figura 6.12.- Detalle de curva exotérmica de la pasta para condiciones de invierno

En este caso, la temperatura máxima alcanzada por la pasta de cemento fue de 7,4 °C, en un lapso de 25:15 horas, este tiempo es mucho mayor que el observado para las condiciones de referencia pero muy similar al observado en las condiciones de verano.

6.3.4 Resumen de resultados térmicos

Resultados del mortero

A manera de resumen en la **tabla 6.4** se muestran los resultados térmicos obtenidos para el caso del mortero bajo todas las condiciones climáticas. En dicha tabla se muestran los valores obtenidos de la temperatura inicial (T_i), temperatura máxima (T_{max}), variación térmica ($\Delta T = T_{max} - T_i$), tiempo de reacción (Δt) y la pendiente, o sea, el cociente resultante entre el incremento térmico y el tiempo de reacción.

Mortero	T_i (°C)	T_{max} (°C)	ΔT (°C)	Δt (hr)	Pendiente
Referencia	21,2	22,6	1,4	6,00	23,3%
Verano	33,3	38,1	4,8	3,25	147,7%
Invierno	6,6	7,5	0,9	25,25	3,6%

Tabla 6.4.- Resultados térmicos del mortero

Puede verse en la tabla anterior que los valores resultantes de la variación térmica y del tiempo de reacción tienen relación directa, y corresponden de manera general, con los resultados obtenidos en el **Capítulo 4** de ensayos con hormigón en el sentido de que los valores de variación térmica (ΔT) son mayores cuando mayor es la temperatura ambiental, y los tiempos de reacción (Δt) son menores cuando mayor es la temperatura ambiental. En el caso del mortero bajo condiciones de referencia se observa un comportamiento intermedio respecto a las condiciones de verano e invierno. Posteriormente se hará una correlación entre estos resultados y los valores de resistencia a compresión.

A continuación se muestra la información anterior de manera gráfica en la **figura 6.13**.

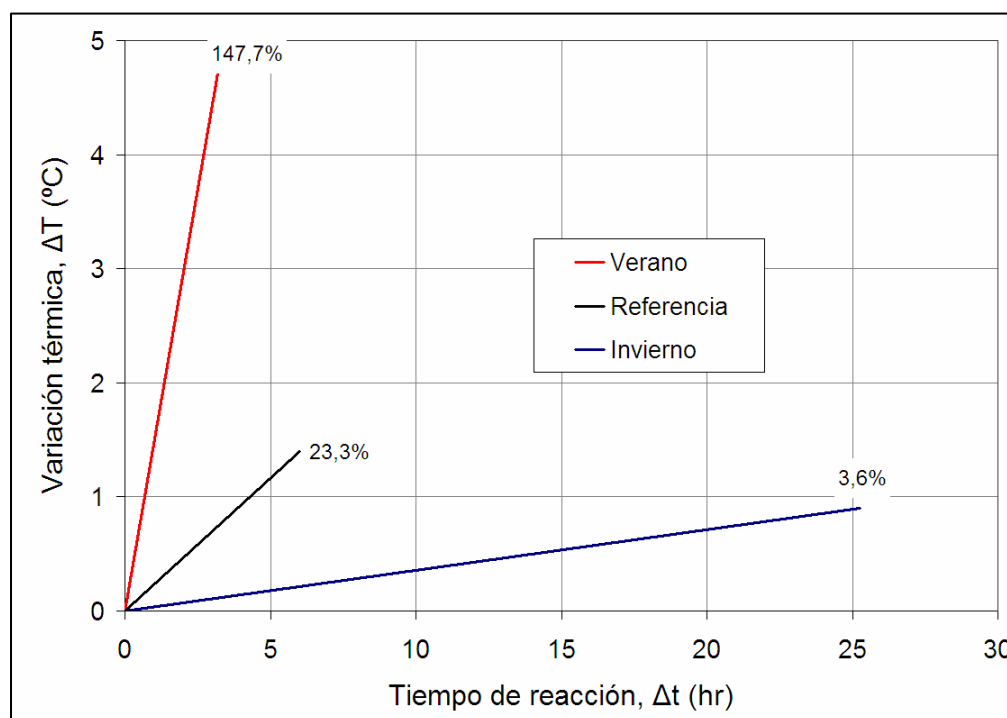


Figura 6.13.- Resultados térmicos del mortero

Resultados de la pasta

De igual forma que se hizo con el mortero, a continuación se muestra la **tabla 6.5** en la que se muestran los valores obtenidos en relación a los resultados térmicos de las pastas de cemento.

Mortero	T _i (°C)	T _{max} (°C)	ΔT (°C)	Δt (hr)	Pendiente
Referencia	22,2	26,3	4,1	18,75	21,9%
Verano	33,1	49,1	16,0	22,75	70,3%
Invierno	6,6	7,4	0,8	25,25	3,2%

Tabla 6.5.- Resultados térmicos de la pasta

En este caso, los resultados muestran las mismas tendencias observadas con los morteros, salvo en el caso del tiempo de reacción (Δt), en el que la pasta de condiciones de verano tuvo un valor mayor que la pasta de referencia. Sin embargo el valor de las pendientes sí sigue los mismos principios descritos para el caso del mortero. A continuación se muestra la información anterior de forma gráfica en la **figura 6.14**.

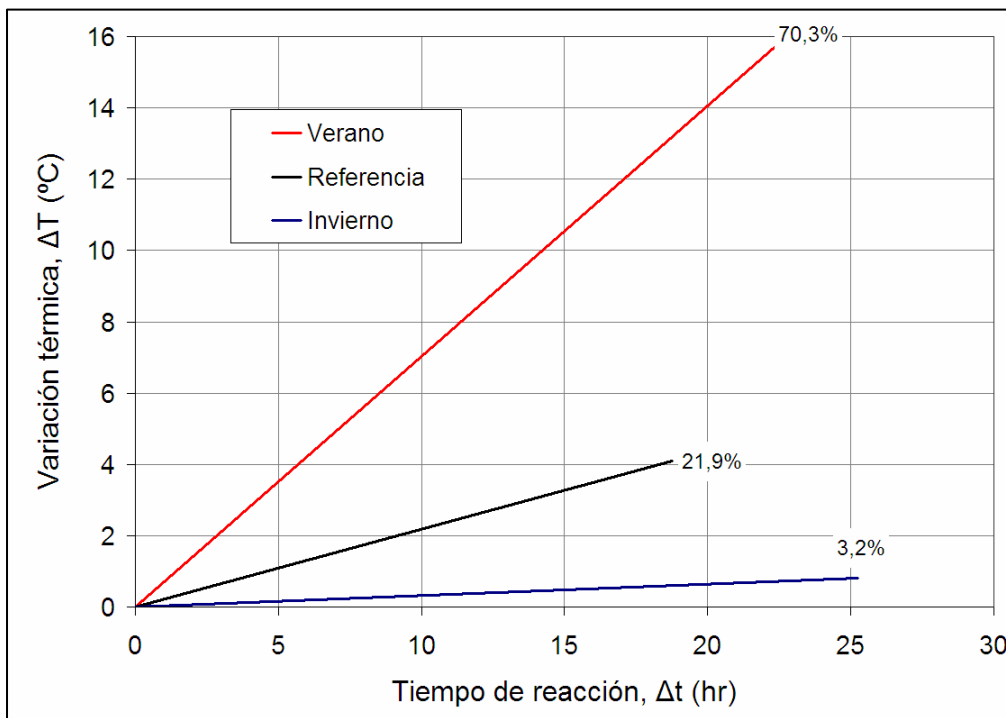


Figura 6.14.- Resultados térmicos de la pasta

6.4 RESULTADOS DE CONSISTENCIA

Los resultados de consistencia obtenidos mediante el ensayo de la mesa de sacudidas de los morteros fabricados se muestran a continuación en la **tabla 6.6** para todas las condiciones climáticas estudiadas. De igual forma se incluye también la **figura 6.15** en la que se han graficado dichos resultados.

Consistencia (mesa de sacudidas)				
Ciclo	Diámetro 1 (cm)	Diámetro 2 (cm)	Diámetro medio (cm)	C.V.
Referencia	17,35	17,55	17,45	0,8%
Verano	16,30	16,60	16,45	1,3%
Invierno	16,40	15,70	16,05	3,1%

Tabla 6.6.- Consistencia del mortero fresco

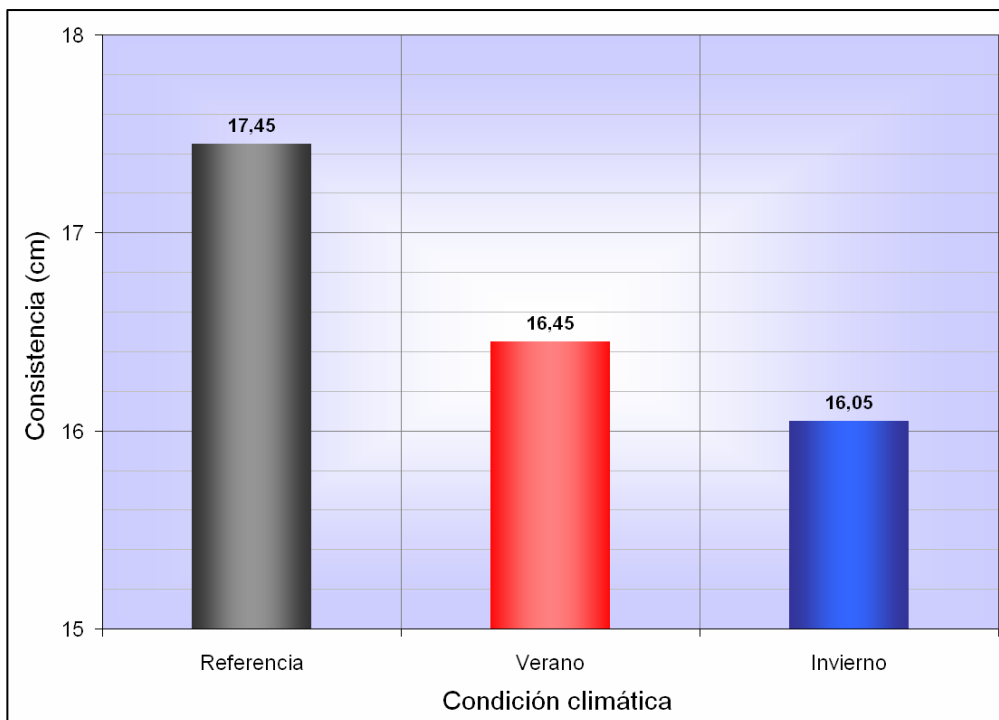


Figura 6.15.- Consistencia del mortero fresco

De forma similar que en la anterior campaña se observa una disminución de la trabajabilidad del mortero en ambos ciclos (verano e invierno), siendo en el primer caso más acentuada.

Si en el ciclo de verano la reducción puede ir explicada a una mayor demanda de agua por parte de los áridos y a una evaporación acelerada por el efecto de la temperatura, en el ciclo de invierno, esta puede ser debida a la variación de algunas propiedades físicas del agua con la temperatura (densidad, viscosidad y tensión superficial) así como a la expansión o contracción de la estructura porosa de los áridos y su relación con la capacidad de absorción de agua.

Por otro lado, como en la fabricación del mortero no se ha incluido el aditivo, a priori, se puede excluir a éste de cualquier efecto en las diferencias de trabajabilidad sufridas por los hormigones fabricados en los distintos ciclos. De manera general el hecho de que la trabajabilidad sea mayor en condiciones de verano que en condiciones de invierno, es un fenómeno ilógico en función de los resultados que hemos estado observando a lo largo de este trabajo.

6.5 RESULTADOS MECÁNICOS

En este apartado se presentan y analizan los resultados correspondientes a la resistencia a flexión y a compresión del mortero a 7 y 28 días. Conviene recordar que para estas determinaciones se han elaborado 6 probetas prismáticas estándar, de las cuales 3 se han ensayado a los 7 días y 3 a los 28 días, para cada condición climática.

6.5.1 Resistencia a flexión

Los resultados a flexión mostrados no son objeto de estudio en esta tesis, sin embargo su determinación es parte del procedimiento descrito en la norma aplicable: [ASTM C349](#). En la cual la resistencia a compresión se hace sobre las porciones de probeta prismática resultante del ensayo a flexión.

Resultados a flexión a los 7 días

La [tabla 6.7](#) muestra las resistencias a flexión obtenidas a la edad de 7 días para los morteros bajo estudio. En ella se muestran los resultados correspondientes a cada probeta para todas las condiciones climáticas. Asimismo, se dan los valores medios y el coeficiente de variación.

Resistencia a Flexión a 7 días (MPa)					
Ciclo	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	Media	C.V.
Referencia	5,6	6,0	5,9	5,8	3,3%
Verano	4,9*	5,6	5,6	5,6	0,6%
Invierno	6,1	5,7	6,0	5,9	3,3%

Tabla 6.7.- Resultado de los ensayos a flexión a los 7 días (MPa)

Cabe mencionar que para el caso de condiciones de verano se ha descartado el resultado de la Probeta 1 por ser muy bajo en comparación de los otros dos, por lo tanto este resultado no se ha tomado en cuenta para el cálculo de la media. Por otro lado, el valor de los coeficientes de variación es aceptable, por lo que la fiabilidad de los resultados es asumible. Para visualizar mejor estos resultados, en la [figura 6.16](#) se presentan los mismos de forma gráfica.

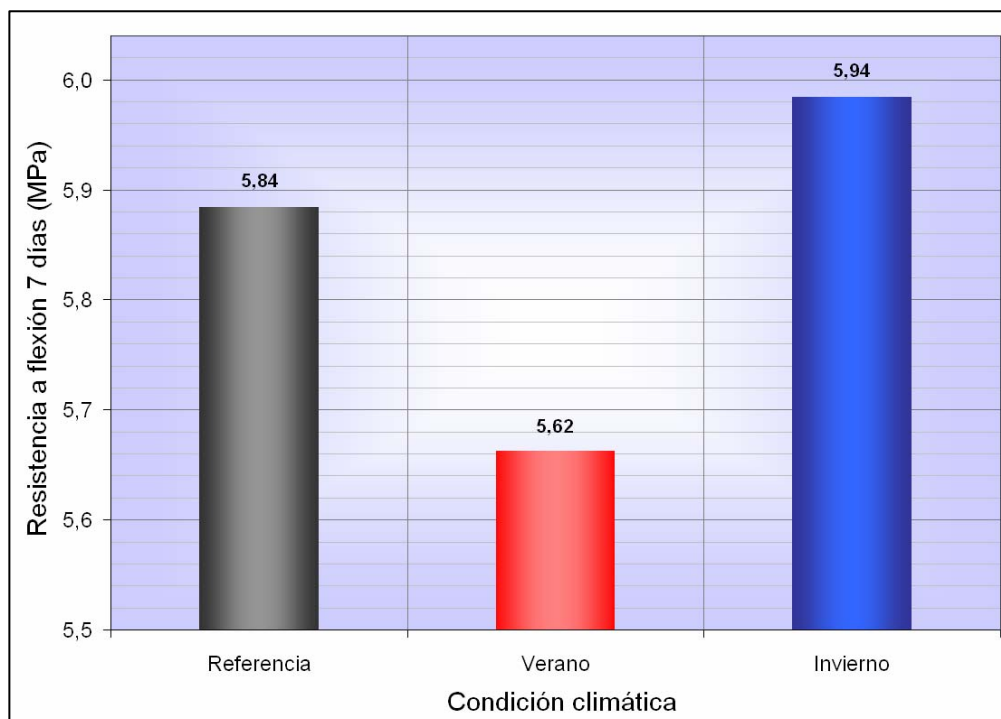


Figura 6.16.- Resultado de los ensayos a flexión a los 7 días (MPa)

Puede verse en la tabla y figura anteriores que los resultados mayores corresponden a las condiciones de invierno, seguidos por las condiciones de referencia y por último, los más bajos corresponden a los morteros fabricados bajo condiciones de verano. Por otro lado, es preciso indicar que la variación entre los resultados de cada condición climática es mínima, es decir, parece ser que la temperatura en este caso no juega un papel muy importante en la resistencia flexión del mortero.

Resultados a flexión a los 28 días

La **tabla 6.8** muestra las resistencias a flexión obtenidas a la edad de 28 días para los morteros bajo estudio. En ella se muestran los resultados correspondientes a cada probeta para todas las condiciones climáticas. Asimismo, se dan los valores medios y el coeficiente de variación.

Resistencia a Flexión a 28 días (MPa)					
Ciclo	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	Media	C.V.
Referencia	6,9	6,7	6,6	6,7	2,3%
Verano	6,4	6,6	6,4	6,5	1,5%
Invierno	6,0	6,3	6,0	6,1	2,6%

Tabla 6.8.- Resultado de los ensayos a flexión a los 28 días (MPa)

De igual forma que para los resultados a 7 días, el valor de los coeficientes de variación es aceptable, por lo que la fiabilidad de los resultados es asumible. Asimismo, se observa también que la variación intrínseca de estos resultados a 28 días es mínima, al igual que para las resistencias a 7 días. Para visualizar mejor estos resultados, en la [figura 6.17](#) se presentan los mismos de forma gráfica.

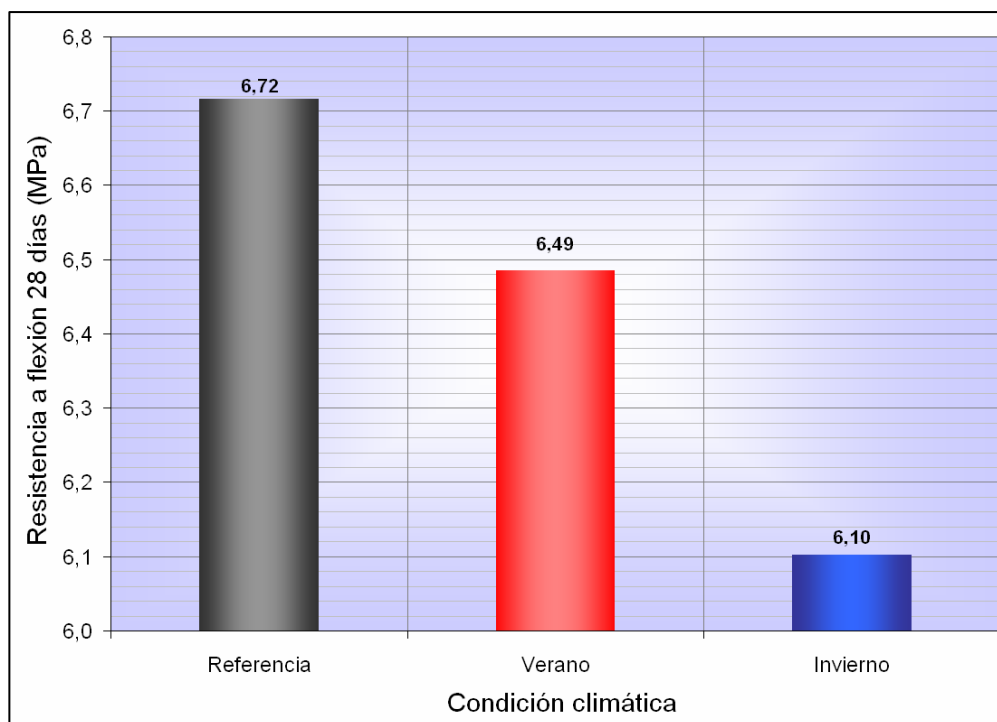


Figura 6.17.- Resultado de los ensayos a flexión a los 28 días (MPa)

Puede verse en la tabla y figura anteriores que en este caso, los valores no tienen nada que ver con los obtenidos a la edad de 7 días en cuanto a las tendencias observadas. Es decir, en este caso los valores más altos corresponden a la condición térmica de referencia, seguidas por las de verano y por último, las menores corresponden a las condiciones de invierno.

Finalmente, la temperatura parece no ser un factor decisivo en la resistencia a flexión del mortero, lo cual es opuesto al comportamiento de este material bajo compresión. Esto es debido a los diferentes mecanismos de fractura y deformación de los materiales cementantes bajo estos dos tipos de esfuerzos.

6.5.2 Resistencia a compresión

Resultados a compresión a los 7 días

La **tabla 6.9** muestra las resistencias a compresión obtenidas a la edad de 7 días para los morteros bajo estudio. Estas resistencias se han obtenido ensayando los cubos de mortero resultantes del ensayo a flexión, es decir, de cada probeta prismática se han obtenido dos cubos de mortero. En dicha tabla se muestran los resultados correspondientes a cada probeta para todas las condiciones climáticas. Asimismo, se dan los valores medios y el coeficiente de variación.

Resistencia a Compresión a 7 días (MPa)								
Ciclo	Probeta 1		Probeta 2		Probeta 3		Media	C.V.
Referencia	28,7	29,0	29,8	26,8	29,8	28,0	28,7	4,0%
Verano	27,6	27,4	28,0	28,3	27,7	27,7	27,8	1,2%
Invierno	31,7	32,5	32,8	31,7	28,0	27,7	30,7	7,5%

Tabla 6.9.- Resultado de los ensayos a compresión a los 7 días (MPa)

Con el objeto de visualizar mejor la información mostrada anteriormente, en la **figura 6.18** se muestran estos datos gráficamente.

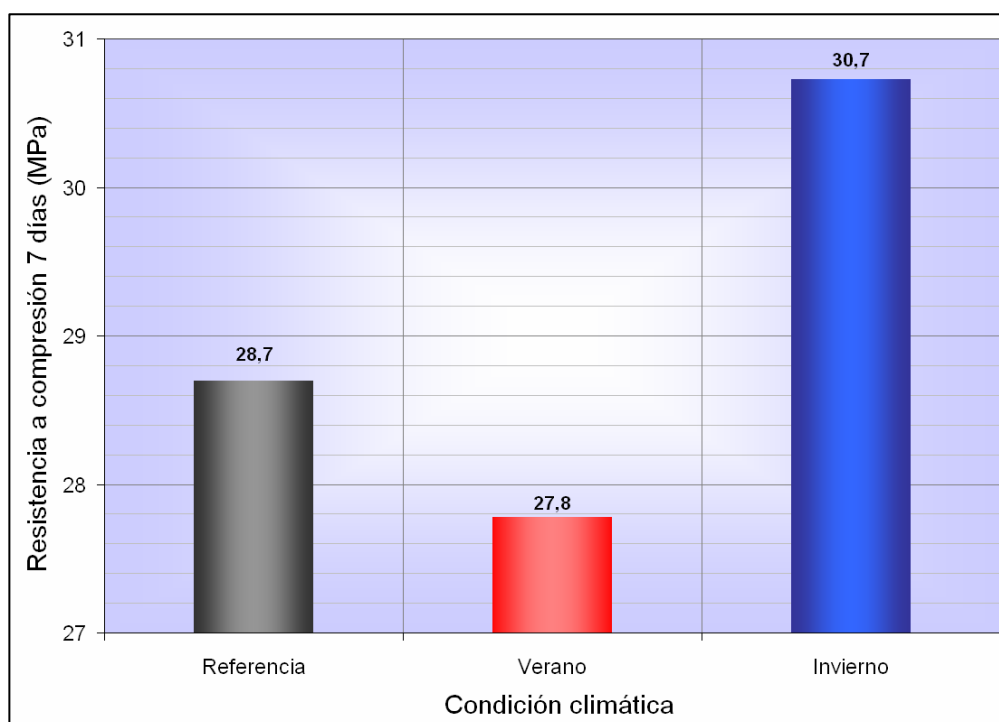


Figura 6.18.- Resultado de los ensayos a compresión a los 7 días (MPa)

Observamos en la figura anterior que los mayores resultados se obtienen bajo las condiciones de invierno, seguidos por las de referencia y por último, por las de verano. Estos resultados concuerdan con los obtenidos en ensayos con hormigón. (Capítulo 4)

Resultados a compresión a los 28 días

La **tabla 6.10** muestra las resistencias a compresión obtenidas a la edad de 28 días para los morteros bajo estudio. En dicha tabla se muestran los resultados correspondientes a cada probeta para todas las condiciones climáticas. Asimismo, se dan los valores medios y el coeficiente de variación.

Resistencia a Compresión a 28 días (MPa)								
Ciclo	Probeta 1		Probeta 2		Probeta 3		Media	C.V.
Referencia	36,7	34,2	37,4	36,9	36,7	38,1	36,7	3,6%
Verano	32,0	34,2	30,3	32,7	32,5	33,9	32,6	4,3%
Invierno	40,1	40,6	34,4	35,6	36,3	37,4	37,4	6,7%

Tabla 6.10.- Resultado de los ensayos a compresión a los 28 días (MPa)

Con el objeto de visualizar mejor la información mostrada anteriormente, en la **figura 6.19** se muestran estos datos gráficamente.

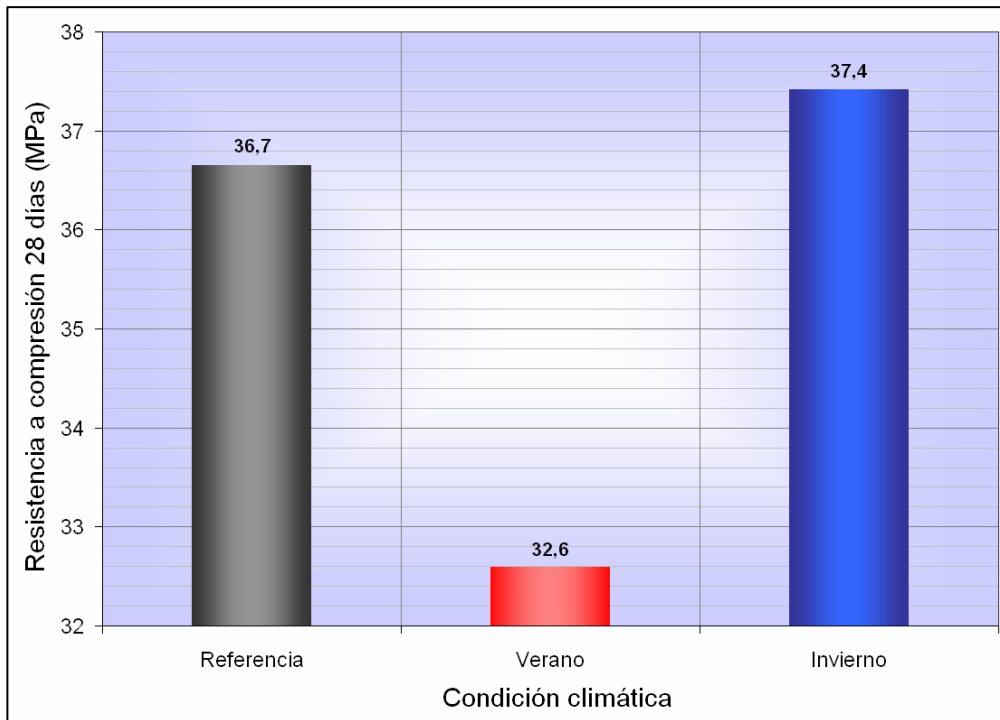


Figura 6.19.- Resultado de los ensayos a compresión a los 28 días (MPa)

Se observan en la figura anterior los mismos resultados obtenidos para la edad de 7 días, no obstante, en este caso las diferencias son más marcadas, teniendo las condiciones de verano los resultados más bajos, tal como se observó en los resultados obtenidos con probetas de hormigón (**Capítulo 4**).

Por otro lado, se presentan en la **figura 6.20**, los resultados de resistencia a compresión a la edad de 7 y 28 días junto con los resultados de la consistencia obtenida del mortero. En dicha figura se muestra también el porcentaje de incremento de resistencia de 7 a 28 días.

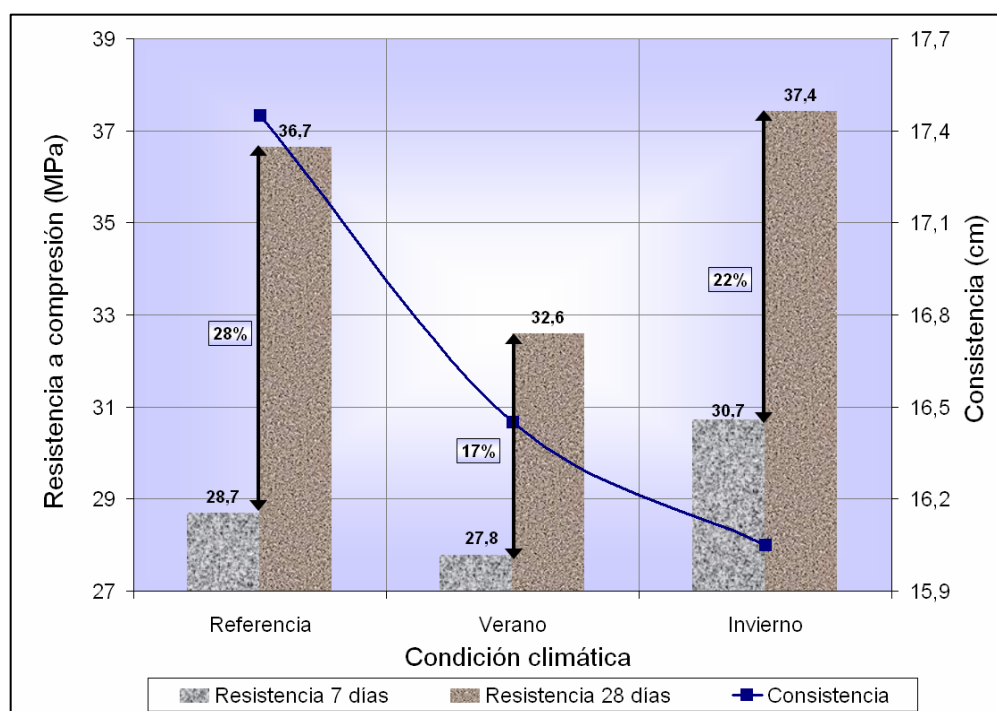


Figura 6.20.- Resultados de compresión y consistencia

Se observa en la figura anterior que la mayor variación de resistencia a compresión entre 7 y 28 días corresponde a las condiciones de referencia, posteriormente las condiciones de invierno y por último, las de verano. Por otro lado, en este caso la consistencia tampoco parece tener una influencia importante sobre las resistencias, más bien dicha consistencia es solamente afectada por la temperatura pero sin tener consecuencias sobre el desarrollo de resistencia mecánica.

Asimismo, el hecho de que el incremento de las resistencias mecánicas a compresión sea mayor que el incremento registrado para el caso de resistencias a flexotracción, puede explicarse debido a que la formación de los productos de hidratación del cemento en el mortero aporta propiedades físico-mecánicas que aumentan la resistencia a compresión y para el caso de la resistencia a flexotracción, este tipo de estructuración reticular no tiene importancia significativa.

Por último, se presentan en la [figura 6.21](#) los mismos valores de resistencia a compresión a 7 y 28 días junto con el valor de la pendiente calculado anteriormente ([apartado 6.3.4](#)), cabe recordar que la pendiente es la relación entre la variación térmica (ΔT) y el tiempo de reacción (Δt).

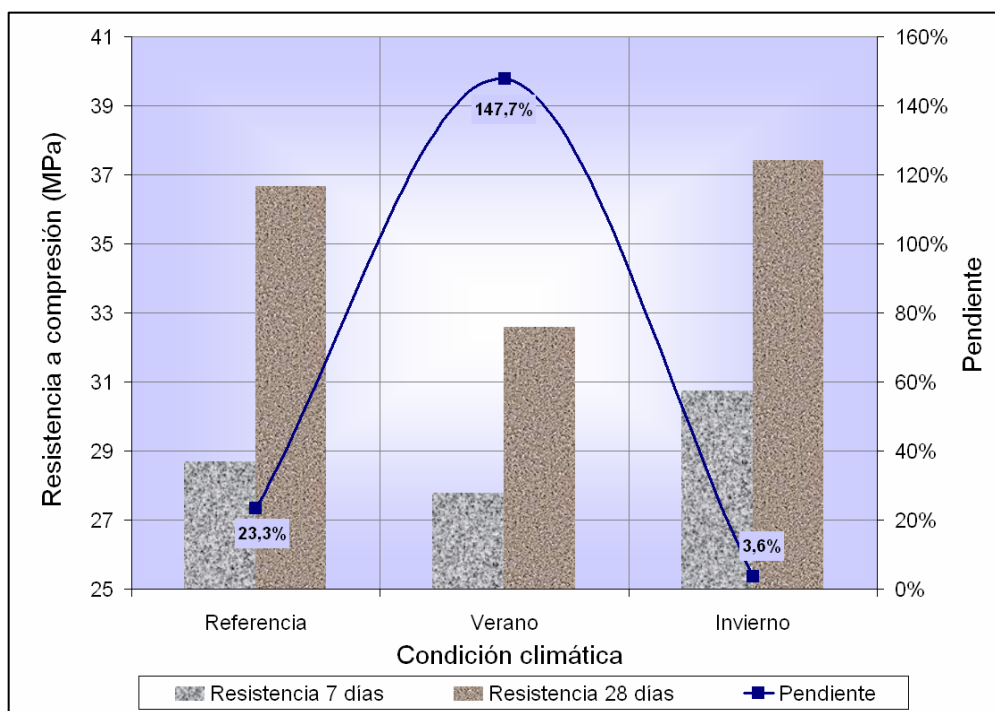


Figura 6.21.- Resultados de compresión y pendiente

Puede verse en la figura anterior la correlación entre la resistencia a compresión del mortero y el valor calculado de la pendiente en el sentido de que a mayor pendiente la resistencia es menor y viceversa.

6.5.3 Resumen de resultados

Por último, se presenta a continuación en la **tabla 6.11**, un resumen de todos los resultados de los ensayos de caracterización llevados a cabo en esta serie experimental sobre los morteros.

Resumen de Resultados				
Propiedad	Unidades	Referencia	Verano	Invierno
Díámetro consistencia	cm	17,5	16,5	16,1
Resistencia flexión (7 días)	MPa	5,8	5,6	5,9
Resistencia flexión (28 días)	MPa	6,7	6,5	6,1
Resistencia compresión (7 días)	MPa	28,7	27,8	30,7
Resistencia compresión (28 días)	MPa	36,7	32,6	37,4
Pendiente ($\Delta T/\Delta t$)	%	23,3%	147,7%	3,6%

Tabla 6.11.- Resumen de resultados de caracterización de morteros

6.6 RESULTADOS DE RESONANCIA MAGNÉTICA NUCLEAR

6.6.1 Introducción

Como se mencionó anteriormente en el **apartado 6.2.3** de este mismo capítulo, los ensayos de caracterización de las pastas de cemento mediante Resonancia Magnética Nuclear, fueron realizados por Joana Roncero, por lo tanto, a efectos de esta tesis se mostrará solamente el análisis de los resultados y las conclusiones obtenidas haciendo referencia siempre al texto del cual han sido tomados [UPC-CMI-PROMSA, 2002], otorgándole el debido crédito a la autora.

La razón de haber incluido este estudio en la tesis como parte de este capítulo, radica en la importancia que tiene el conocimiento de la microestructura de las pastas de cemento y de los morteros como parte integral del efecto de la temperatura sobre las propiedades del hormigón preparado bajo condiciones climáticas extremas.

6.6.2 Análisis de los resultados

Los resultados obtenidos analizando las pastas de cemento mediante RMN permiten evaluar, en cierta medida, el efecto de las condiciones climáticas extremas sobre la microestructura y los procesos de hidratación del cemento. El estudio basado en RMN muestra que, a pesar de que en las tres pastas estudiadas la cantidad de C-S-H formado a la edad de 28 días es similar, la evolución del mismo hasta esta edad depende significativamente de las condiciones climáticas a las que ha sido sometida la pasta de cemento.

De esta manera, a la edad de 48 horas, la cantidad de C-S-H formado en la pasta sometida a condiciones de invierno es significativamente menor que la que se obtiene en la pasta de referencia y la pasta sometida al ciclo de verano, siendo mayor en este último caso. Sin embargo, en la pasta sometida a condiciones de verano la cantidad de C-S-H formado se mantiene aproximadamente constante entre 48 horas y 7 días, indicando una inhibición de los procesos de hidratación. Esto no ocurre en la pasta de referencia y la sometida a condiciones de invierno donde la cantidad de C-S-H aumenta, especialmente en la pasta sometida a condiciones de invierno. A partir de 7 días, las tres pastas evolucionan de forma similar, aunque la pasta sometida a ciclo de invierno muestra una velocidad de formación de C-S-H mayor que las otras dos pastas estudiadas.

Por otro lado, a la edad de 48 horas, el espectro de ^{29}Si RMN de la pasta sometida a condiciones de verano muestra una señal Q^2 más evidente que la pasta control indicando que la temperatura favorece la formación de cadenas formadas por más de dos iones silicato. Sin embargo, a esta edad, el C-S-H formado en la pasta control está compuesto fundamentalmente por dímeros. Esto indica que la temperatura, además de influir en la cantidad de C-S-H formado a edades tempranas también afecta a su morfología.

6.7 RESULTADOS DE MICROSCOPIA ELECTRONICA DE BARRIDO

6.7.1 Introducción

De igual forma que se hizo en el caso de los resultados de RMN, los ensayos de caracterización de las pastas de cemento mediante Microscopía Electrónica de Barrido, fueron realizados por Joana Roncero, por lo tanto, a efectos de esta tesis se mostrará solamente el análisis de los resultados y las conclusiones obtenidas haciendo referencia siempre al texto del cual han sido tomados [UPC-CMI-PROMSA, 2002], otorgándole el debido crédito a la autora.

En este caso también, la razón de haber incluido este estudio en la tesis como parte de este capítulo, radica en la importancia que tiene el conocimiento de la microestructura de las pastas de cemento y de los morteros como parte integral del efecto de la temperatura sobre las propiedades del hormigón preparado bajo condiciones climáticas extremas.

6.7.2 Análisis de los resultados

Los resultados obtenidos analizando las pastas de cemento mediante SEM permiten evaluar, en cierta medida, el efecto de las condiciones climáticas extremas sobre la microestructura y los procesos de hidratación del cemento. En el **Anejo C** pueden consultarse estos resultados con mayor detalle, asimismo se incluyan las fotografías tomadas mediante SEM.

Los resultados obtenidos indican, a la edad de 48 horas, un mayor desarrollo microestructural en la pasta de referencia y en la pasta sometida a condiciones de verano. En estos casos la formación de gel C-S-H recubriendo las originales partículas de cemento es evidente. Sin embargo, en la pasta sometida a condiciones de invierno se pueden distinguir claramente los granos anhidros de cemento escasamente unidos entre sí.

La formación de portlandita que ocurre simultáneamente con la del C-S-H confirma estas observaciones ya que en la pasta sometida a condiciones de invierno no se han observado cristales de portlandita mientras que las otras dos pastas muestran, a la edad de 48 horas, grandes cristales de portlandita en forma de cristales aislados o agrupaciones masivas de placas hexagonales. Estas observaciones confirman los resultados obtenidos mediante RMN. Se observa, sin embargo, una mayor cantidad de cristales de etringita en forma de barras en la pasta sometida a condiciones de verano a la edad de 48 horas cuando se compara con la pasta control, los cuales, además, son de mayor tamaño.

A la edad de 7 días, las tres pastas estudiadas muestran una microestructura caracterizada por un evidente desarrollo de C-S-H que recubre las originales partículas de cemento. Sobre la superficie de fractura de cada pasta se observan diferentes fases cristalinas cuya naturaleza, morfología y tamaño dependen significativamente de las condiciones de curado.

En este sentido, en la pasta de referencia se observan muy pocos cristales de etringita en forma de pequeñas barras. Sin embargo, en la pasta sometida a condiciones de invierno se observa una mayor cantidad de cristales de etringita que son, además, de mayor tamaño; y están acompañados por otra fase que se presenta en forma de pequeños cristales prismáticos. Por otro lado, en la pasta sometida a condiciones de verano se observan unos cristales en forma de placas entrecruzadas acompañados por escasos cristales de etringita.

A la edad de 28 días, las diferencias entre las tres pastas estudiadas son poco significativas, de acuerdo con los resultados obtenidos mediante RMN, y radican principalmente en el tipo de fases cristalinas observadas sobre la superficie de fractura formada por un extensivo crecimiento de C-S-H. De esta manera, la pasta de referencia muestra pocos cristales de etringita que son más abundantes y de mayor tamaño en el caso de la pasta sometida a condiciones de verano. Sin embargo, no se observan los cristales en forma de placas entrecruzadas observados a la edad de 7 días. Por otro lado, en la pasta sometida a condiciones de invierno se observan numerosos cristales de etringita en forma de finas barras acompañados por cristales de tipo prismático que ya fueron observados a la edad de 7 días.

En resumen, los estudios realizados mediante RMN y SEM en pastas de cemento sometidas a diferentes condiciones climáticas ponen de manifiesto ciertas diferencias en la cantidad y morfología del gel amorfo C-S-H, principal producto de hidratación responsable del desarrollo de resistencias, especialmente hasta la edad de 7 días. Sin embargo, a la edad de 28 días estas diferencias son menos significativas.

Por otro lado, en las tres edades estudiadas (48 horas, 7 y 28 días), las diferencias más apreciables entre las tres pastas tienen lugar en la formación de las diferentes fases cristalinas. Estas fases, aunque no contribuyen de forma significativa al desarrollo de resistencias en la pasta de cemento, ponen de manifiesto la existencia de diferentes procesos de cristalización y la influencia de la temperatura en las reacciones de hidratación del cemento.

6.8 CONCLUSIONES

Después de la realización de estas campañas experimentales sobre el estudio de la influencia de la temperatura ambiental sobre el comportamiento mecánico y microestructural de morteros y pastas, las siguientes conclusiones pueden ser hechas:

- El pequeño volumen de material utilizado hace que los valores obtenidos en los registros de temperatura no sean muy fiables a la hora de interpretarlos y realizar un análisis, en general, se observa una cinética más rápida con la temperatura.
- Los resultados térmicos (variación térmica- ΔT y tiempo de reacción- Δt) corresponden de manera general con los resultados obtenidos en los **Capítulos 4 y 5** de ensayos con hormigón y mortero en el sentido de que las variaciones térmicas (ΔT) son mayores cuando mayor es la temperatura, y los tiempos de reacción (Δt) son menores cuando mayor es la temperatura también. Asimismo, estos resultados tienen relación directa con el desarrollo de resistencia mecánica.
- Los resultados de consistencia señalan que las condiciones climáticas extremas (verano e invierno) representan una disminución de la trabajabilidad respecto a las condiciones de referencia. Para las condiciones de verano, la mayor demanda de agua hace más áspera la mezcla al perder parte del efecto lubricador del agua, en condiciones de invierno, existe el agua libre, si bien la pérdida de trabajabilidad es consecuencia de unos áridos menos trabajables. De igual forma se confirman los resultados obtenidos en los **Capítulos 4 y 5**.
- La temperatura ambiental parece no tener un efecto altamente influyente sobre la resistencia a flexión del mortero.
- La resistencia a compresión aumenta a medida que disminuye la temperatura media estudiada. Así, las mayores resistencias se obtienen para los ciclos más fríos; ello concuerda con lo observado en probetas de hormigón del **Capítulo 4** y con las probetas de mortero en el **Capítulo 5**.
- Las condiciones climáticas extremas influyen en el desarrollo microestructural y la formación del gel C-S-H, principal producto de hidratación responsable del desarrollo de resistencias, especialmente en las edades más tempranas.
- La formación de gel C-S-H ocurre de forma continuada y progresiva en la pasta de referencia y en la pasta sometida a condiciones de invierno. Sin embargo, en la pasta sometida a condiciones de verano la cantidad de C-S-H formado no aumenta entre 48 horas y 7 días indicando una inhibición de las reacciones de hidratación. Posteriormente evoluciona de forma similar a las otras dos pastas.

- A la edad de 48 días, la cantidad de C-S-H formado, así como su morfología, depende significativamente de las condiciones climáticas. Así, la pasta sometida a condiciones de invierno muestra, mediante RMN, una escasa formación de C-S-H, mientras que en la pasta de referencia y en la sometida a condiciones de verano la formación de C-S-H es muy significativa, tal y como confirman los resultados obtenidos mediante SEM.
- La cantidad de C-S-H formado a la edad de 28 días es similar en las tres pastas estudiadas indicando niveles de hidratación parecidos en las tres muestras. Asimismo, a esta edad, las pastas muestran microestructuras caracterizadas por un extensivo crecimiento de C-S-H cuyas principales diferencias radican en la morfología, composición y tamaño de las diferentes fases cristalinas, las cuales, en principio, no contribuyen de manera significativa al desarrollo de resistencias.