



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Escola Tècnica Superior d'Enginyers de
Camins, Canals i Ports de Barcelona



Departament d'Enginyeria de la Construcció

Tesis Doctoral

ESTUDIO EXPERIMENTAL SOBRE LA INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA AMBIENTAL EN LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN PREPARADO

Realizada por:
José Angel Ortiz Lozano

Director de tesis:
Antonio Aguado de Cea

A mi amada esposa, Guadalupe

A mis queridos padres, José y Aurora

A mis hermanos, Patricia, Liliana y Jaime

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría aprovechar este espacio para mostrar mi más profundo agradecimiento a todas aquellas personas, instituciones o empresas que de alguna manera, forman parte importante de este logro tan significativo para mí. Considero que esta tesis es fruto de un gran trabajo en equipo y que todas las personas con las que participé y conviví durante estos cuatro años, ayudaron a la culminación y el alcance de todas las metas propuestas, tanto académicas como de desarrollo personal.

En primer lugar quiero agradecer muy especialmente a Antonio Aguado, director de esta tesis, su gran apoyo a lo largo de este tiempo, tanto en el ámbito académico como en el personal. Agradezco mucho su entusiasmo y la dedicación que siempre mostró durante la realización de este trabajo, pero sobre todo, le doy las gracias por su gran calidad humana y por todo el tiempo que dedicó a este proyecto.

De igual forma, me gustaría darles las gracias a Luis Agulló y a Tomàs García, quienes también participaron en primera línea en esta investigación, mostrando siempre un gran afán investigador y sobre todo mucha creatividad. Agradezco también su valiosa amistad.

También me gustaría expresar mi especial agradecimiento a Joan Puig y a Domènec Masó, del Grupo Cementos Molins, quienes de igual manera, formaron parte del equipo de trabajo de este proyecto de investigación aportando sus amplios conocimientos y experiencias en el área de la tecnología del hormigón.

Asimismo, a Ravindra Gettu y a Joana Roncero, quienes participaron en algunas fases de este trabajo de investigación, a todo el personal del Laboratorio de Tecnología de Estructuras de la UPC, Camilo Bernad, Ernesto Díaz, Miguel Martín, Carlos Hurtado y Jordi Lafuente; también al personal de la empresa PROMSA, en la realización de las campañas experimentales. Igualmente me gustaría reconocer todo el apoyo que me fue brindado por el personal docente y administrativo del Departamento de Ingeniería de la Construcción de la UPC, Montserrat Santos, Mari Carmen Longas, Raquel Miguel y Mercè González.

También agradezco el apoyo brindado por el Laboratorio de Geotecnia de la UPC, especialmente a Enrique Romero por su asesoría especializada y a José Álvarez por el soporte en la realización de los ensayos. De igual forma me gustaría mencionar la gran labor realizada por el Servicio de Bibliotecas y Documentación de la UPC, especialmente a Jordi Lázaro de la Biblioteca Rector Gabriel Ferraté, por su gran ayuda en la obtención de muchos documentos bibliográficos.

El desarrollo de esta tesis doctoral no habría sido posible sin el apoyo económico del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACyT), deseo agradecer sinceramente a todo el personal de esta institución, y reconocer el importante trabajo que desempeñan en beneficio de la investigación en México.

Especialmente me gustaría agradecer al Grupo Cementos Molins, la confianza que me depositaron al brindarme la oportunidad de participar directamente en este proyecto, y quienes financiaron esta investigación mediante dos convenios de colaboración con el Departamento de Ingeniería de la Construcción y el Centro de Innovación Tecnológica de Estructuras y Construcción de la UPC.

En el plano personal, me gustaría agradecer primeramente a mi adorada esposa Lupita, quien me acompañó en esta aventura dándome siempre su incondicional apoyo y estando siempre a mi lado en los buenos y en los malos momentos. Este logro es igualmente suyo.

A mis papás Pepe y Aurora, por su ejemplo y su constante apoyo, quiero que sepan que estos logros son también fruto de toda su enseñanza. A mis hermanos Pati, Lili y Jaime quisiera agradecerles también todo el apoyo que siempre me han brindado en todos los aspectos. A mis abuelos Pablo y Aurora, quienes también han sido mi ejemplo más importante a seguir. También me gustaría dar las gracias a todos mis familiares, tíos, primos, suegros, cuñados, concuños y sobrinos, por su gran afecto y apoyo.

No me puedo olvidar de todas las personas que he podido conocer a lo largo de este tiempo en Barcelona, empezando por los compañeros de la UPC, Bibiana Alarcón, Fernando Almeida, Francisco Alonso, Gerardo Araiza, Juan Carlos Araiza, Bryan Barragán, María del Mar Cansario, Javier Charry, Mariela Cordero, Claudia de la Cruz, Miguel Lobato, Resmundo Manga, Felipe Mora, Alvaro Viviescas, etc. También a todas las personas con las que tuve la oportunidad de convivir en esta ciudad, Enrique Martínez, Luis Morán y Claudia Palomino, Miguel Sahagún y Rosa Luz Dávila, Adrián Loaiza y Carola Arteaga, Miguel Perez y Eva Domingo, Leonardo Arriaga y Laura Llamas, Ramón Ortuño, Jesús González, Mario Esparza, Antonio del Moral, Enrique Ochoa, Francisco Hidalgo, Javier Guerrero, Pedro Valdez, etc. De igual forma a todos mis amigos de Aguascalientes, los cuales me es imposible nombrarlos a todos ya que son demasiados.

También quiero dar un agradecimiento muy sincero a Daniel Mediavilla y a Jordi Arau, por confiar en mí todo este tiempo y también a todos los compañeros que trabajan en el despacho, especialmente a Esther, a Leonardo y a Carol.

Por último, quiero agradecer el enorme apoyo que siempre recibí por parte de Mario Eduardo Zermeño y de José Luis López, de la Universidad Autónoma de Aguascalientes.

RESUMEN

Este trabajo de investigación presenta un estudio acerca de los efectos de la temperatura ambiental sobre las prestaciones del hormigón en estado fresco y endurecido y sobre las propiedades de los materiales constituyentes del mismo, desde una perspectiva industrial.

El objetivo principal de este estudio es el de optimizar la dosificación del hormigón en climas cálidos y al mismo tiempo, proponer algunas medidas de actuación a nivel industrial para minimizar los efectos adversos en plantas de producción de hormigón preparado.

Por tal motivo se realizaron varias campañas experimentales para determinar la influencia de las temperaturas ambientales extremas (verano e invierno) sobre las propiedades térmicas, de trabajabilidad y mecánicas del hormigón, morteros, pastas de cemento y áridos, desarrollando los procedimientos y herramientas experimentales de caracterización necesarias.

Los resultados experimentales obtenidos indican que cuando menor es el diferencial térmico entre la temperatura del hormigón y la temperatura ambiente, mejores son los resultados relativos a prestaciones mecánicas. Asimismo, la trabajabilidad está influenciada por las propiedades de los áridos, las cuales son susceptibles de variaciones en función de la temperatura. En este sentido, la temperatura actúa sobre la velocidad de absorción y el rozamiento interno de los áridos, mientras que en el hormigón tiene un efecto sobre su desempeño y sobre el coste final.

Las conclusiones apuntan pues al árido como un factor de gran importancia, no sólo por las características específicas de su comportamiento con la temperatura, sino también, porque es el componente más numeroso en el hormigón.

Lo anterior, es significativo en términos de sus potenciales aplicaciones a nivel industrial en la producción de hormigón preparado, debido a que las características del hormigón son dependientes de las propiedades de los áridos y éstas son altamente influenciadas por las condiciones ambientales.

Por otro lado, con el propósito de reducir costes, el consumo de cemento en el hormigón puede ser optimizado en función de variables dependientes de la temperatura. La forma de actuar frente a este problema consiste básicamente en lograr que el comportamiento del hormigón en verano sea lo más semejante posible al de primavera y otoño, lo anterior se puede llevar a cabo mediante actuaciones a escala industrial, principalmente sobre la dosificación de cemento y sobre los áridos.

En este sentido, se presentan las bases de una formulación metodológica para llevar a cabo dicha optimización del hormigón en climas cálidos en base a la variación de la temperatura ambiental y de las curvas de calor de hidratación del hormigón. Dicha propuesta se ha aplicado con éxito a escala industrial en plantas de producción de hormigón preparado, obteniendo resultados satisfactorios en relación a considerables ahorros en el consumo de cemento en períodos estivales.

La presente tesis doctoral se ha realizado en el marco de dos convenios de colaboración (C-4669 y C-5737) entre el Grupo Cementos Molins con el Departamento de Ingeniería de la Construcción de la UPC, en colaboración con el Centro de Innovación Tecnológica de Estructuras y Construcción (CEINTEC) y gestionados por el Centro de Transferencia de Tecnología (CTT).

SUMMARY

This researching work deals with a study about the effects of environmental temperature over the concrete performance in both, fresh and hardened states, and over the properties of the materials constituents of concrete, from an industrial point of view.

The main objective of this study is the optimization of concrete in hot weather environments, proposing at the same time, some industrially proceedings in ready-mix-concrete plants, in order to minimize the adverse effects of climatology on the concrete performance.

In this way, several experimental stages were carried out in order to detect the influence of extreme environmental conditions (hot weather and cold weather conditions) over the thermal, workability and mechanical properties of concrete, cement mortars, cement pastes and aggregates, developing the experimental procedures for the materials characterization.

The experimental results obtained point out that the minor the thermal difference between concrete and environmental temperature, the best the compressive strength performance. Likewise, the concrete workability is influenced by the aggregates properties, which also are sensitive to variations depending on the environmental conditions.

In this way, the temperature acts over the aggregates absorption rate and internal friction, while in the concrete it has a harmful effect over its performance and over its final production cost. For this reason, the aggregates can be considered as a major importance factor, not only because their specific properties are affected by temperature, but also, because these are the most numerous component in concrete.

All the above mentioned is important in relation to the potential applications from an industrial perspective in ready-mix-concrete production plants, since the concrete properties are highly influenced by the aggregates conditions, and these, in turn, are highly affected by environmental conditions.

On the other hand, with the aim of a reduction in production costs, the cement consumption in concrete can be optimized by means of temperature related variables. This can be done achieving a concrete performance in the summer season the most similar to a performance in spring or autumn seasons, by means of some industrial implementations in ready-mix-concrete production plants, acting over the cement dosage and over the aggregates properties.

Summary

In this way, the fundamentals of a methodological formulation to optimize the concrete performance in hot weather environments are presented, which are based on the environmental temperature prediction and on the heat of hydration of concrete. This methodological proposal has been applied successfully at an industrial scale in ready-mix-concrete production plants, having finally satisfactory results regarding significant savings in cement consumptions in the summer seasons.

This thesis has been accomplished within a collaboration agreement (C-4669 y C-5737) between Cementos Molins Group and the Department of Construction Engineering of UPC, in association with the Center of Technological Innovation of Structures and Construction (CEINTEC) and administered by the Center for Technology Transfer (CTT).

ÍNDICE

	<u>Página</u>
CAPÍTULO 1 – INTRODUCCIÓN	
1.1.- Antecedentes.....	3
1.2.- Objetivo principal.....	5
1.3.- Objetivos específicos.....	6
1.4.- Estructura de la tesis.....	6
CAPÍTULO 2 – ESTADO DEL CONOCIMIENTO	
2.1.- Introducción.....	13
2.2.- Influencia de la temperatura ambiental en las propiedades del hormigón preparado.....	15
2.2.1.- Análisis de la problemática (consideraciones industriales y económicas)....	15
2.2.2.- Definición de clima cálido.....	17
2.3.- Efecto de la temperatura sobre las propiedades del hormigón.....	19
2.3.1.- Propiedades afectadas en estado fresco.....	19
2.3.2.- Propiedades afectadas en estado endurecido.....	22
2.4.- Factores asociados al problema y su influencia en las propiedades del hormigón.....	26
2.4.1.- Parámetros térmicos ambientales.....	26
2.4.2.- Temperatura de los principales constituyentes del hormigón.....	29
2.4.3.- Temperatura inicial del hormigón.....	30
2.4.4.- Contenido y tipo de cemento.....	31
2.4.5.- Contenido y tipo de aditivo.....	33
2.4.6.- Propiedades físicas de los áridos.....	34
2.4.7.- Propiedades térmicas de los áridos.....	35
2.4.8.- Aspectos industriales y de producción.....	36
2.4.9.- Factores humanos.....	39

2.5.- Mecanismos del hormigón influenciados por la temperatura.....	41
2.5.1.- Propiedades térmicas del hormigón.....	41
2.5.2.- Hidratación.....	44
2.5.3.- Sentido físico de los mecanismos de hidratación, fraguado y endurecimiento del cemento en el hormigón.....	45
2.5.4.- Mecanismo de hidratación.....	48
2.5.5.- Cinética del proceso de hidratación.....	49
2.5.6.- Calor de hidratación.....	51
2.5.7.- Fraguado.....	52
2.5.8.- Efecto de la temperatura en el proceso de hidratación.....	53
2.5.9.- Desarrollo de microestructura y endurecimiento.....	55
2.5.10.- Morfología y microestructura (efecto de la temperatura).....	59
2.5.11.- Durabilidad.....	61
2.5.12.- Desarrollo de resistencia.....	61
2.6.- Métodos de minimización de los efectos adversos.....	64
2.6.1.- Consideraciones generales.....	64
2.6.2.- Pre-enfriamiento de los materiales constituyentes del hormigón.....	67
2.6.3.- Post-enfriamiento y enfriamiento artificial.....	69
2.6.4.- Reducción del contenido de cemento, sustitución parcial del cemento por puzolana y utilización de cemento de bajo calor de hidratación.....	70
2.6.5.- Control de la finura del cemento.....	71
2.6.6.- Hormigonado nocturno.....	72
2.6.7.- Consideraciones para la dosificación.....	72
2.7.- Discusión.....	74

CAPÍTULO 3 – MATERIALES Y CONSIDERACIONES EXPERIMENTALES

3.1.- Introducción.....	79
3.2.- Materiales utilizados y su caracterización.....	80
3.2.1.- Cemento.....	80
3.2.2.- Áridos.....	80
3.2.3.- Aditivo químico.....	82
3.3.- Instalaciones y equipo utilizado.....	83
3.3.1.- Características de la cámaras climáticas utilizadas y equipamiento de registros térmicos.....	83
3.4.- Simulación de las condiciones climáticas.....	86
3.4.1.- Ciclos climáticos utilizados.....	86

CAPÍTULO 4 – ENSAYOS CON HORMIGÓN

4.1.- Introducción.....	93
4.2.- Plan de trabajo.....	94
4.2.1.- Introducción y objetivos.....	94
4.2.2.- Condiciones climáticas simuladas.....	94
4.2.3.- Variables estudiadas y procedimiento experimental.....	95
4.2.4.- Diseño utilizado de la mezcla de hormigón.....	95
4.2.5.- Secuencia y procedimiento de amasado para la fabricación del hormigón...	97
4.2.6.- Fabricación de las probetas de hormigón.....	98
4.2.7.- Ensayos de caracterización realizados.....	99
4.3.- Resultados térmicos.....	101
4.3.1.- Condiciones térmicas de referencia (serie 1).....	101
4.3.2.- Condiciones térmicas de verano.....	103
4.3.3.- Promedio de resultados térmicos (verano).....	113
4.3.4.- Condiciones térmicas de invierno.....	115
4.3.5.- Promedio de resultados térmicos (invierno).....	127
4.4.- Resultados de consistencia.....	130
4.4.1.- Condiciones de verano.....	130
4.4.2.- Condiciones de invierno.....	131
4.5.- Resultados mecánicos.....	133
4.5.1.- Condiciones de verano.....	133
4.5.2.- Condiciones de invierno.....	138
4.6.- Análisis comparativo entre ambas condiciones.....	145
4.6.1.- Resultados térmicos.....	145
4.6.2.- Resultados de consistencia y mecánicos.....	146
4.7.- Discusión.....	149
4.8.- Conclusiones.....	152

CAPÍTULO 5 – ENSAYOS CON ÁRIDOS

5.1.- Introducción.....	157
5.2.- Etapa preliminar.....	158
5.2.1.- Introducción y objetivos.....	158
5.2.2.- Simulación de las condiciones climáticas y ciclos utilizados.....	158
5.2.3.- Equipo utilizado para hacer los ensayos.....	159

5.2.4.- Variables estudiadas, procedimiento experimental y resultados.....	159
5.2.5.- Conclusiones.....	164
5.3.- Estudios de absorción.....	165
5.3.1.- Introducción.....	165
5.3.2.- Objetivos.....	165
5.3.3.- Simulación de las condiciones climáticas.....	166
5.3.4.- Variables estudiadas y procedimiento experimental.....	166
5.3.5.- Resultados obtenidos.....	168
5.3.6.- Conclusiones.....	179
5.4.- Estudios de compactación dinámica (vibratoria).....	180
5.4.1.- Introducción.....	180
5.4.2.- Objetivo.....	181
5.4.3.- Simulación de las condiciones climáticas.....	181
5.4.4.- Variables estudiadas.....	181
5.4.5.- Procedimiento experimental.....	182
5.4.6.- Resultados obtenidos.....	184
5.4.7.- Conclusiones.....	195
5.5.- Ensayos de inercia térmica.....	197
5.5.1.- Introducción.....	197
5.5.2.- Objetivos.....	197
5.5.3.- Simulación de las condiciones climáticas.....	198
5.5.4.- Variables estudiadas.....	198
5.5.5.- Equipo especial utilizado.....	199
5.5.6.- Procedimiento experimental.....	201
5.5.7.- Resultados obtenidos.....	203
5.5.8.- Cuantificación de la inercia térmica de los áridos.....	211
5.5.9.- Conclusiones.....	214
5.6.- Estudio de la influencia de la humedad superficial y la temperatura de los áridos en las propiedades del mortero.....	215
5.6.1.- Introducción.....	215
5.6.2.- Objetivos.....	215
5.6.3.- Simulación de las condiciones climáticas (temperatura y humedad relativa)	216
5.6.4.- Cámara climática utilizada.....	216
5.6.5.- Condiciones de humedad del material.....	217
5.6.6.- Variables estudiadas y materiales utilizados.....	218
5.6.7.- Ensayos realizados y procedimiento experimental.....	219
5.6.8.- Resultados obtenidos.....	232
5.6.9.- Discusión.....	244
5.6.10.- Conclusiones.....	245
5.7.- Discusión general.....	246

5.8.- Conclusiones generales.....	247
-----------------------------------	-----

CAPÍTULO 6 – ENSAYOS CON MORTEROS Y PASTAS

6.1.- Introducción y objetivos.....	251
6.2.- Plan de trabajo.....	252
6.2.1.- Introducción.....	252
6.2.2.- Simulación de las condiciones climáticas y ciclos utilizados.....	254
6.2.3.- Variables estudiadas y procedimiento experimental.....	255
6.2.4.- Dosificaciones utilizadas en pastas y morteros.....	256
6.2.5.- Secuencia y procedimiento de amasado.....	258
6.2.6.- Toma de muestras y preparación de especímenes.....	256
6.2.7.- Ensayos de caracterización realizados.....	258
6.3.- Resultados térmicos.....	260
6.3.1.- Condiciones térmicas de referencia.....	261
6.3.2.- Condiciones térmicas de verano.....	262
6.3.3.- Condiciones térmicas de invierno.....	267
6.3.4.- Resumen de resultados térmicos.....	272
6.4.- Resultados de consistencia.....	275
6.5.- Resultados mecánicos.....	277
6.5.1.- Resistencia a flexión.....	277
6.5.2.- Resistencia a compresión.....	280
6.5.3.- Resumen de resultados.....	284
6.6.- Resultados de Resonancia Magnética Nuclear.....	285
6.6.1.- Introducción.....	285
6.6.2.- Análisis de los resultados.....	285
6.7.- Resultados de Microscopia Electrónica de Barrido.....	286
6.7.1.- Introducción.....	286
6.7.2.- Análisis de los resultados.....	286
6.8.- Conclusiones.....	288

CAPÍTULO 7 – PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE CEMENTO

7.1.- Introducción y objetivos.....	293
-------------------------------------	-----

7.2.- Desarrollo analítico de la metodología.....	295
7.2.1.- Calor de hidratación del hormigón.....	295
7.2.2.- Influencia de los factores externos.....	296
7.2.3.- Temperatura ambiente.....	297
7.2.4.- Temperatura inicial del hormigón.....	300
7.2.5.- Evolución de la temperatura del hormigón.....	301
7.2.6.- Cálculo del área bajo la curva térmica del hormigón y la diferencia en relación a la temperatura ambiental.....	305
7.2.7.- Diagrama de flujo de la propuesta metodológica.....	306
7.3.- Plan de trabajo.....	307
7.3.1.- Introducción y objetivos.....	307
7.3.2.- Condiciones climáticas simuladas.....	307
7.3.3.- Variables estudiadas y procedimiento experimental.....	308
7.3.4.- Sobreconsumos de cemento en función de la hora del día.....	308
7.3.5.- Diseño utilizado de la mezcla de hormigón.....	309
7.3.6.- Secuencia y procedimiento de amasado para la fabricación de hormigón....	309
7.3.7.- Fabricación de las probetas de hormigón.....	309
7.3.8.- Ensayos de caracterización realizados.....	310
7.4.- Resultados térmicos.....	311
7.4.1.- Temperatura ambiental.....	311
7.4.2.- Temperatura de los áridos.....	312
7.4.3.- Temperatura inicial del hormigón.....	313
7.4.4.- Temperatura desarrollada por el hormigón (calor de hidratación cemento)...	314
7.4.5.- Temperatura desarrollada por el hormigón en condiciones no adiabáticas y no isotérmicas.....	317
7.5.- Resultados de consistencia.....	322
7.6.- Resultados de resistencia a compresión.....	323
7.6.1.- Resistencia a compresión a los 7 días.....	323
7.6.2.- Resistencia a compresión a los 28 días.....	323
7.7.- Tabla de valores de sobreconsumo de cemento.....	326
7.8.- Conclusiones.....	328
CAPÍTULO 8 – CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS FUTURAS	
8.1.- Introducción.....	331
8.2.- Conclusiones generales.....	331

8.3.- Conclusiones específicas.....	333
8.3.1.- Conclusiones referentes a los ensayos con hormigón.....	333
8.3.2.- Conclusiones referentes a los ensayos con áridos.....	334
8.3.3.- Conclusiones referentes a los ensayos con morteros y pastas.....	334
8.3.4.- Conclusiones referentes al estudio sobre pastas con aditivo polifuncional...	335
8.3.5.- Conclusiones referentes a la propuesta metodológica para la optimización de cemento.....	336
8.4.- Perspectivas futuras.....	337

CAPÍTULO 9 – REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

9.1.- Referencias bibliográficas.....	341
---------------------------------------	-----

ANEJO A – ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS ÁRIDOS

A.1.- Introducción.....	351
A.2.- Análisis granulométrico de las gravas.....	351
A.2.1.- Grava de clasificación granulométrica 12-20 mm.....	351
A.2.2.- Grava de clasificación granulométrica 5-12 mm.....	352
A.3.- Análisis granulométrico de las arenas.....	354
A.3.1.- Arena de clasificación granulométrica 0-5 mm.....	354
A.3.2.- Arena de clasificación granulométrica 0-2 mm.....	355
A.4.- Análisis comparativo de las granulometrías.....	357

ANEJO B – ESTUDIO SOBRE PASTAS CON ADITIVO POLIFUNCIONAL

B.1.- Introducción y objetivo.....	363
B.2.- Plan de trabajo.....	364
B.2.1.- Introducción y objetivo.....	364
B.2.2.- Variables estudiadas.....	364
B.2.3.- Dosificación de las pastas de cemento.....	364
B.2.4.- Descripción de los ensayos.....	365
B.2.5.- Fabricación de las pastas de cemento.....	367
B.3.- Resultados obtenidos.....	368
B.3.1.- Determinación del punto de saturación en función de la temperatura.....	368

B.3.2.- Pérdida de fluidez en función de la temperatura y de la dosis de aditivo polifuncional.....	369
B.3.3.- Demanda de agua en función de la temperatura y de la dosis de aditivo polifuncional.....	373
B.3.4.- Tiempo de fraguado en función de la temperatura y de la dosis de aditivo polifuncional.....	374
B.4.- Análisis de los resultados.....	377
B.4.1.- Fluidez y punto de saturación.....	377
B.4.2.- Pérdida de fluidez con el tiempo.....	379
B.4.3.- Demanda de agua.....	380
B.4.4.- Principio y final de fraguado.....	381
B.5.- Conclusiones.....	382

ANEJO C – ESTUDIOS MICROESTRUCTURALES DE PASTAS Y MORTEROS

C.1.- Introducción y objetivo.....	387
C.2.- Plan de Trabajo.....	388
C.2.1.- Introducción.....	388
C.2.2.- Simulación de las condiciones climáticas y ciclos utilizados.....	388
C.2.3.- Variables estudiadas y procedimiento experimental.....	388
C.2.4.- Ensayos de caracterización realizados.....	389
C.3.- Resultados de Resonancia Magnética Nuclear.....	393
C.3.1.- Introducción.....	393
C.3.2.- Resultados.....	393
C.3.3.- Análisis de los resultados.....	395
C.4.- Resultados de Microscopia Electrónica de Barrido.....	397
C.4.1.- Introducción.....	397
C.4.2.- Microestructura de la pasta de referencia.....	397
C.4.3.- Microestructura de la pasta de verano.....	400
C.4.4.- Microestructura de la pasta de invierno.....	403
C.4.5.- Análisis de los resultados.....	406
C.5.- Conclusiones.....	408

ANEJO D – ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE TEMPERATURAS

D.1.- Introducción y objetivo.....	411
------------------------------------	-----

D.2.- Análisis estadístico de las temperaturas en verano.....	411
D.2.1.- Histogramas de frecuencia de las temperaturas.....	411
D.2.2.- Distribución de frecuencia de las temperaturas mínimas.....	412
D.2.3.- Distribución de frecuencia de las temperaturas a las 7:00 horas.....	414
D.2.4.- Distribución de frecuencia de las temperaturas máximas.....	414
D.2.5.- Distribución de frecuencia de las tres temperaturas.....	415
D.3.- Cálculo de las temperaturas mínimas y máximas.....	416
D.3.1. -Estimación de las temperaturas mínimas.....	416
D.3.2.- Estimación de las temperaturas máximas.....	417
D.3.3.- Resumen de temperatura mínimas y máximas.....	418
D.4.– Tabla de distribución estadística t-Student.....	420

ANEJO E – PUBLICACIONES EN REVISTAS Y CONGRESOS

E.1.- Revistas indexadas.....	423
E.2.- Congresos internacionales.....	423
E.3.- Otras publicaciones.....	423