

Índice

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. ASPECTOS GENERALES	1
1.2. OBJETIVOS	6
1.2.1. Objetivos generales	6
1.2.2. Objetivos específicos	6
1.3. ESTRUCTURA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	7

CAPÍTULO 2. HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE

2.1. INTRODUCCIÓN	9
2.2. COMPONENTES	12
2.2.1. Áridos	13
a) Árido grueso	14
b) Árido fino	16
2.2.2. Adiciones	18
2.2.3. Agua	21
2.2.4. Aditivos	22
a) Agentes reductores de agua o superplastificantes	23
b) Agentes modificadores de viscosidad	24
2.2.5. Cemento	25
2.2.6. Pasta	28
2.3. ESQUELETO GRANULAR	29
2.4. TIPIFICACIÓN DEL HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE	31
2.5. MÉTODOS DE DOSIFICACIÓN	31
2.6. DOSIFICACIONES TÍPICAS DE LOS HAC	33
2.7. CARACTERÍSTICAS DE LOS HAC EN ESTADO FRESCO	36
2.7.1. Influencia de los aditivos y adiciones	45
2.7.2. Presión sobre los encofrados	46
2.7.3. Capacidad de relleno	48
2.7.4. Resistencia a la segregación	49

2.8. ENSAYOS DEL HAC EN EL ESTADO FRESCO	52
3.3.1. Ensayo de escurrimiento o Slump Flow:	53
2.8.2. Embudo en V	56
2.8.3. Caja en L	57
2.8.4. Anillo Japonés	58
2.8.5. Otros ensayos	59
2.8.6. Reómetros	60
2.8.7. Ensayo de segregación	62
a) Índice de segregación y exudación visual, "VSI"	62
b) Índice estabilidad visual, "IEV"	64
c) Índice de estabilidad visual "HVSÍ"	65
d) Sonda de segregación.	66
e) Método de columna de segregación en estado fresco.	67
f) Ensayos de segregación GTM	68
2.9. CARACTERÍSTICAS Y ENSAYOS DEL HAC EN EL ESTADO ENDURECIDO	70
2.9.1. Resistencia a la compresión	70
2.9.2. Resistencia a tracción	73
2.9.3. Módulo de deformación	75

CAPÍTULO 3. SOSTENIBILIDAD DE LOS HORMIGONES. LA ESCORIA GRANULADA DE ALTO HORNO

3.1. INTRODUCCIÓN	79
3.1.1. Residuos, reciclaje y valorización en los hormigones	81
3.1.2. Hormigones sostenibles	83
a) Clinker	84
b) Materiales cementantes sustitutorios	85
c) Áridos	86
d) Finos	87
e) Superplastificantes	87
3.2. LAS ESCORIAS Y SU CLASIFICACIÓN.	88
3.2.1. Clasificación de las escorias según enfriamiento	89
3.3. ESCORIA GRANULADA DE ALTO HORNO	92
3.3.1. Composición química de la escoria	93
3.3.2. Reactividad de la escoria	96

3.3.3. Propiedades de la EGAH como árido en los hormigones.	107
a) Como árido fino	107
b) Como árido grueso	108

CAPÍTULO 4. RETRACCIÓN DEL HORMIGÓN

4.1. INTRODUCCIÓN	111
4.1.1. Los áridos en la retracción	113
4.1.2. La humedad relativa en la retracción	118
4.1.3. Microestructura	121
4.1.4. Agua	123
4.2. LA RETRACCIÓN DE LOS HORMIGONES	125
4.2.1. Retracción plástica	126
4.2.2. Retracción térmica	129
4.2.3. Retracción química o de hidratación	132
4.2.4. Retracción por autodesecación	133
4.2.5. Retracción autógena	133
4.2.6. Retracción por secado	136
4.2.7. Retracción por carbonatación	139
4.3. LA RETRACCIÓN DE LOS HAC	140
4.4. MODELOS DE ESTIMACIÓN DE LA RETRACCIÓN	145
4.4.1. Introducción	145
4.4.2. CEB-FIB MODEL CODE 2010	145
4.4.3. ACI 209R-92	147
4.4.4. EUROCODIGO 2	149
4.4.5. EHE -08	151
4.4.6. Análisis de los modelos EHE-08, ACI, EC-2 y CM-2010	151
a) Modelo de cálculo CM-2010 Y EC-2	152
c) Modelo de cálculo EHE-08, ACI, EC-2 y CM-2010	154

CAPÍTULO 5. FASE EXPERIMENTAL

5.1. INTRODUCCIÓN	159
5.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES	163
5.2.1. Introducción	163

5.2.2. Caracterización óptica de las EGAH (x20)	163
5.2.3. Composición de la EGAH y CV	165
5.2.4. Módulo de deformación de los áridos	167
5.2.5. Estudio con microscopio electrónica de barrido	170
5.2.6. Estudio con microscopio de fuerza atómica	174
5.2.7. Estudio de la reactividad de la EGAH molida	177
5.2.8. Resistencia a la fragmentación de los áridos (Micro-Deval)	180
5.2.9. Densidad aparente y absorción de los áridos	184
5.2.10. Granulometría de los áridos	187
5.2.11. El esqueleto granular de los HAC	189
5.2.12. Caracterización del cemento	191
5.3. DOSIFICACIÓN	192
5.3.1. Granulometría del HAC	192
5.3.2. Automatización de cálculos en la dosificación	194
5.3.3. Dosificación de los HAC con EGAH	196
5.4. PROGRAMA DEL PLAN EXPERIMENTAL	198
5.5. ENSAYOS EN ESTADO FRESCO	201
5.5.1. Ensayo de escurrimiento (slump- flow)	201
5.5.2. Estudio reológico	204
5.5.3. Índice de segregación y exudación visual, "VSI"	207
5.5.4. Acabado superficial. Método propuesto "ICB"	209
5.5.5. Determinación de inicio y final de fraguado de los HAC	214
5.6. ENSAYOS EN ESTADO ENDURECIDO	216
5.6.1. Ensayo de resistencia a compresión en probeta cilíndrica	216
5.6.2. Ensayo de resistencia a tracción indirecta	218
5.6.3. Ensayo de resistencia a flexotracción	221
5.6.4. Módulo de deformación	223
5.6.5. Porosimetría por intrusión de mercurio (PIM)	226
5.7. ENSAYOS DE RETRACCIÓN	231
5.7.1. Introducción	231
5.7.2. Ensayo de pérdida de peso en probetas	232
5.7.3. Evolución de temperatura del HAC durante el fraguado	233
5.7.4. Ensayo de retracción a edad temprana	234
5.7.5. Ensayo de retracción autógena y total	235

CAPÍTULO 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	239
6.1. ESTRUCTURA POROSA DE LOS HAC. POROSIMETRÍA CON INTRUSIÓN DE MERCURIO	239
6.2. REACTIVIDAD DE LOS ÁRIDOS	249
6.2.1. Microscopia electrónica de barrido	250
a) Arena sílicea. Interfaz árido-pasta a x1.000 y x3.500	252
b) Arena caliza y EGAH. Interfaz árido-pasta x 1.000	253
c) Interfaz EGAH-pasta a 28 días (x 1.300 y x 5.000)	254
d) Interfaz EGAH-pasta a 120 días (x 1.300)	257
e) Interfaz sílice-pasta a 120 días (x 1.300)	259
6.2.2. Microscopio de fuerza atómica	260
6.2.3. Morteros para estudiar reactividad de la EGAH molida.	265
6.3. COMPORTAMIENTO REOLÓGICO	268
6.4. ACABADO SUPERFICIAL DE LOS HAC	274
6.4.1. Método ICB en los HAC fabricados	274
6.4.2. Análisis del valor ICB por parámetros reológicos	282
6.4.3. Conversión de valores ICB a la escala CIB N°24 W29	285
6.4.4. Verificación del método ICB con las plantillas CIB N°24 W29	288
6.5. RESISTENCIA A A COMPRESIÓN	290
6.5.1. Resistencia a la compresión en probeta cilíndrica	290
6.5.2. Evolución de la resistencia a compresión de los HAC	308
6.6. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	311
6.6.1. Resistencia a la tracción indirecta	311
6.6.2. Resistencia a la flexotracción	317
6.6.3. Resistencia a tracción según varias instrucciones	322
6.7. MÓDULO DE DEFORMACIÓN	326
6.7.1. Módulo de deformación del mortero	326
6.7.2. Módulo de deformación de los HAC	328
6.7.3. Módulo de deformación según diferentes instrucciones	333
6.8. RETRACCIÓN DE LOS HAC	335
6.8.1. Introducción	335
6.8.2. Determinación del inicio y final de fraguado	336
6.8.3. Ensayo de pérdida de peso en probetas prismática	338
6.8.4. Temperaturas del HAC durante el fraguado	340

6.8.5. Ensayo de retracción a edad temprana	343
6.8.6. Retracción autógena	347
6.8.7. Retracción de secado	354
6.8.8. Retracción total	360
6.8.9. Retracción de los HAC con EGAH según los modelos de la EHE-08, ACI-92, EC-2 y CM-2010.	362
a) Retracción autógena	362
b) Retracción de secado	364
c) Retracción total	366
CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES GENERALES	371
7.1. INTRODUCCIÓN	371
7.2. CONCLUSIONES	372
7.3. TRABAJOS FUTUROS	377
BIBLIOGRAFÍA	379
ANEXOS	421
1 Granulometría de los áridos	421
2 Procesos de amasado y molienda	426
3 Ajustes previos de la dosificación de los HAC	431
4 Estudio VSI en los HAC	440
5 Estudio del ensayo de escurrimiento	445
6 Digitalización y conversión de la plantilla del CIB N°24 al método ICB	455
7 Tablas de resultados. Compresión y densidades	458
8 Estudio de la interfaz árido-pasta	464
ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS	481