

ÍNDICE

Dedicatoria	I
Agradecimientos	II
Resumen	III
Resum	V
Abstract	VII
Contenido del documento	IX
CAPÍTULO 1 – OBJETIVOS	1
CAPÍTULO 2 – ESTADO DEL ARTE DE LOS HORMIGONES AUTOCOMPACTABLES (HAC)	5
2.1 Introducción	5
2.2 Conceptos específicos relacionados con los HAC	10
2.2.1 Introducción	10
2.2.2 Comportamiento reológico	11
2.2.3 Determinación de las propiedades reológicas del HAC	13
2.3 Caracterización de los HAC en estado fresco	20
2.3.1 Introducción	20
2.3.2 Ensayo del escurrimiento (UNE 83361:2007)	21
2.3.3 Escurrimiento con el anillo japonés (UNE 83362:2007)	23
2.3.4 Embudo en V (UNE 83364:2007)	25
2.3.5 Caja en L (UNE 83363:2007)	28
2.3.6 Caja en U	30
2.3.7 Otros ensayos	31
2.3.8 Ensayos para analizar la segregación de los HAC	34
2.3.9 Criterios de clasificación y aceptación de HAC	37

2.3.10	Comparación de las características reológicas y tecnológicas del HAC	39
2.4	Materiales empleados para fabricar HAC	41
2.4.1	Introducción	41
2.4.2	Cemento	41
2.4.3	Áridos	42
2.4.4	Finos: Adiciones y Filleres	43
2.4.5	Aditivos	45
2.5	Métodos de dosificación de los HAC	47
2.5.1	Introducción	47
2.5.2	Ensayos previos sobre pastas y morteros	48
2.5.3	Método general para la dosificación del HAC	50
2.5.4	Otras propuestas de dosificación basadas el método general	52
2.5.5	Método CBI (Swedish Cement and Concrete Research Institute)	53
2.5.6	Método LCPC(Laboratoire Central des Ponts et Chaussées)	56
2.5.7	Método UPC (Universidad Politécnica de Cataluña)	58
2.5.8	Método EFNARC	59
2.5.9	Método ACI (American Concrete Institute)	63
2.6	Consideraciones finales	64
CAPÍTULO 3 – MATERIALES, METODOLOGÍA, CRITERIOS DE ENSAYO Y PROCEDIMIENTOS		67
3.1	Introducción	67
3.2	Materiales	69
3.2.1	Cementos	69
3.2.2	Adiciones	70

3.2.3	Áridos	71
3.2.4	Aditivos	73
3.2.5	Armaduras	75
3.3	Relación de ensayos normalizados utilizados para la caracterización de pastas, morteros y hormigones o sus materiales constituyentes	76
3.3.1	Ensayos de caracterización de componentes	76
3.3.1.1	Resistencia mecánica de cementos (UNE-EN-196-1)	76
3.3.1.2	Determinación del extracto seco convencional de los aditivos (UNE-EN 480-8)	76
3.3.1.3	Determinación del contenido de agua (h) de los áridos (UNE 83-133-90)	76
3.3.1.4	Determinación de la granulometría de los áridos (UNE-EN 933-1)	77
3.2.2	Determinación de la densidad de conjunto de los áridos (ASTM C29/CM29)	78
3.3.3	Otros ensayos para caracterización de áridos	78
3.3.4	Ensayos sobre pastas morteros y hormigones	78
3.3.4.1	Determinación de la fluidez de una pasta mediante el Cono de Marsh (UNE-EN 455)	78
3.3.4.2	Determinación de la consistencia del hormigón (UNE-EN 12350-2)	80
3.3.4.3	Caracterización de la fluidez de los HAC (UNE 83361:2007)	80
3.3.4.4	Caracterización de la fluidez en presencia de barras. Anillo japonés (UNE 83362:2007)	81
3.3.4.5	Caracterización de la fluidez en presencia de barras. Caja L (UNE 83363:2007)	81
3.3.4.6	Determinación del tiempo de flujo (UNE 83364:2007)	81
3.3.4.7	Determinación de las características mecánicas de los hormigones	82

3.3.4.7.1	Fabricación, curado y refrentado de probetas	82
3.3.4.7.2	Rotura a compresión simple (UNE EN 12390-3:2003)	85
3.3.4.7.3	Ensayo de tracción indirecta (UNE-EN 12390-6:2001)	85
3.3.4.7.4	Ensayo de permeabilidad (UNE-EN 12390-8:2001)	86
3.4	Ensayos específicos para la caracterización de materiales componentes, pasta y hormigón	87
3.4.1	Granulometría de los finos empleados	87
3.4.2	Espectrometría Infrarroja de Transformada de Fourier (FTIR)	88
3.4.3	Termogravimetría TGA850	89
3.4.4	Características reológicas de pastas para hormigón	90
3.4.5	Ensayos para determinar el nivel de segregación en HAC	92
3.5	Procedimiento operatorio para la obtención de composiciones granulares óptimas	93
3.6	Procedimiento operatorio para la fabricación de los HAC	95
3.6.1	Procedimiento de Amasado Hormigonera A	96
3.6.2	Procedimiento de Amasado Hormigonera B	97
3.6.3	Procedimiento para el ajuste de los tiempos de amasado	98
3.6.4	Control de humedad en los áridos durante la fabricación del hormigón	100
3.7	Métodos de ensayo en modelos reducidos para dosificar y caracterizar HAC	102
3.7.1	Introducción	102
3.7.2	Modelos reducidos - propuesta	103
3.7.2.1	Ensayo de Ecurrimiento reducido	103
3.7.2.2	Embudo en V reducido	104

3.7.2.3	Caja en L reducida	107
3.7.3	Comparación de resultados entre ensayos estándar y reducido	109
3.8	Ensayo de adherencia de armaduras activas al hormigón	114
3.8.1	El método de ensayo ECADA	114
3.8.2	Procedimiento operativo	116
CAPÍTULO 4 – SOBRE LA COMPOSICIÓN DE LOS HORMIGONES AUTOCOMPACTANTES		119
4.1	Introducción	119
4.2	Estudios sobre la composición de las pastas	120
4.3	Estudio de la estructura granular de los HAC	124
4.3.1	Planteamiento del estudio	124
4.3.2	Caracterización de los HAC	126
4.4	Parámetros para la dosificación de los HAC	130
4.5	Sobre la sensibilidad de los HAC frente a cambios en su estructura granular	134
4.6	Optimización de composición de los áridos en un HAC	141
4.7	Extrapolación de los criterios a las dosificaciones de hormigones con áridos de tamaño máximo superior a 12 mm	145
CAPÍTULO 5 – CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y EFECTIVIDAD DE LOS ADITIVOS UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DE LOS HAC		147
5.1	Introducción y objetivos	147
5.2	Planteamiento del estudio	149
5.2.1	Ensayos de caracterización de los aditivos	149
5.2.2	Determinación de la efectividad de los aditivos	150
5.3	Resultados	153

5.3.1	Preselección de los aditivos	153
5.3.2	Estudios de efectividad de los aditivos seleccionados por medio del Cono de Marsh	154
5.3.3	Caracterización físico-química de los aditivos empleados	156
5.3.4	Influencia en el comportamiento reológico de las pastas (Viscosímetro):	158
5.4	Consideraciones finales	161
CAPÍTULO 6 – ESTUDIO DE LA ADHERENCIA DE LOS HAC EN ARMADURAS ACTIVAS		163
6.1	Introducción y objetivos	163
6.2	Dosificaciones estudiadas y caracterización del hormigón	165
6.3	Resultados	168
6.4	Consideraciones finales	172
CAPÍTULO 7 ESTUDIO DE SENSIBILIDAD DE LOS HAC		175
7.1	Introducción	175
7.2	Normativa sobre tolerancias de pesado de materiales en la producción del hormigón	177
7.3	Definición de las dosificaciones de referencia	178
7.4	Planteamiento del estudio de sensibilidad. Diseño estadístico del experimento	185
7.5	Variables respuesta y programa de ensayos	191
7.6	Resultados	195
7.6.1	Análisis estadístico de errores en la producción en plantas de hormigón preparado	195
7.6.2	Análisis estadístico e interpretación de los resultados experimentales de Robustez.	196

7.6.2.1	Análisis de varianza sobre las dosificaciones de referencia.	197
7.6.2.2	Análisis estadísticos de resultados de las dosificaciones HAC1 y HAC2	199
7.6.2.3	Análisis de resultados de las series HAC3 y HAC4	206
7.7	Consideraciones finales	209
CAPÍTULO 8 – APLICACIÓN: DOSIFICACIÓN Y CONTROL DE EJECUCIÓN DEL HAC EN LA CONSTRUCCIÓN DE LAS PILAS DEL PUENTE EN LA RONDA NORTE DE VALENCIA		211
8.1	Introducción	211
8.2	Descripción de la obra	212
8.3	Justificación de la dosificación de hormigón empleada	214
8.3.1	Ideas iniciales	214
8.3.2	Ensayos previos en obra	216
8.3.3	Propuestas para la optimización de la dosificación, definición de la dosificación definitiva	219
8.4	Propuesta de criterios de recepción y aceptación del hormigón	221
8.5	Aspectos relacionados con el calor de hidratación	226
8.6	Presión prevista sobre el encofrado	227
8.7.	Planteamiento del proceso de hormigonado	230
8.7.1.	Inclusión de vibradores de superficie	230
8.7.2.	Criterios de Vertido del hormigón	232
8.7.3.	Curado y desencofrado	233
8.8.	Seguimiento de la fabricación de las pilas y de su control de calidad	234
8.9	Control de resistencias	239
8.10.	Consideraciones finales	240

CAPÍTULO 9 – CONCLUSIONES Y FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN	243
9.1. Introducción	243
9.2 Conclusiones	244
9.3 Futuras líneas de investigación	255
BIBLIOGRAFIA	257
ANEXOS	
A I RESULTADOS PARAMETRO P	
A II DISEÑO DE EXPERIMENTOS SENSIBILIDAD	
A III RESULTADOS ENSAYOS DE SENSIBILIDAD	
LISTA DE FIGURAS	
LISTA DE TABLAS	