

-ÍNDICE DE CONTENIDO-

CAPITULO I.- INTRODUCCIÓN	17
1.- Generalidades	17
2.- Antecedentes históricos	17
3.- Planteamientos previos y objetivos generales del trabajo	20
4.- Contenido de este documento	21
CAPITULO II.- ESTADO DEL CONOCIMIENTO Y OBJETIVOS ESPECIFICOS	23
1.- Introducción	23
2.- Los Residuos de construcción y demolición (RCDs).	23
2.1.- Proceso de producción de áridos reciclados. Maquinaria, transporte y almacenamiento.	23
2.2.- El reciclaje de RCDs en España y en Europa.	26
3.- Estudios sobre las características de los áridosR para fabricación de hormigones	28
3.1.- Ganulometrías y forma	28
3.2.- Mortero adherido	29
3.3.- Densidad	30
3.4.- Absorción	32
3.5.- Dureza.	32
3.6.- Ataque por sulfatos	33
3.7.- Contaminantes	33
4.- Estudios sobre propiedades mecánicas de los hormigones con árido reciclado	35
4.1.- Propiedades del hormigón fresco	35
4.1.1.- Necesidad de agua. Relación agua-cemento y trabajabilidad	35
4.1.2.- Densidad y contenido de aire	36
4.1.3.- Relación árido fino – árido grueso	36
4.2.- Propiedades mecánicas del hormigón endurecido	36
4.2.1.- Resistencia a compresión	36
4.2.2.- Coeficiente de variación de la resistencia a compresión	40
4.2.3.- Módulo de elasticidad	40
4.2.4.- Relaciones tensión – deformación	43
4.2.5.- Retracción por secado	43
4.2.6.- Fluencia	44
4.2.7.- Resistencia a tracción, flexión, cortante	44
4.2.8.- Adherencia entre hormigón y acero	45
4.2.9.- Densidad	46
4.3.- Durabilidad	46
4.3.1.- Absorción y Permeabilidad	46
4.3.2.- Resistencia a la helada	46
4.3.3.- Carbonatación y corrosión de armaduras	46
4.3.4.- Resistencia a sulfatos	47
4.3.5.- Efecto de adiciones en el hormigón original	47
4.3.6.- Reacciones álcali – árido	47

4.4.- Hormigones de altas resistencias con áridos reciclados	47
4.5.- Efectos de las adiciones. Humo de sílice	48
5.- Estudios sobre propiedades estructurales de los hormigones con áridos R.	48
5.1.- Comportamiento estructural en vigas	49
5.1.1.- Comportamiento a flexión. Estado límite último, deformación y fisuración.	49
5.1.2.- Comportamiento a cortante. Estado límite último, figuración y deformación	49
5.1.3.- Adherencia. Longitudes de anclaje	49
5.2.- Elementos prefabricados pretensados	50
5.3.- Piezas prefabricadas en masa o armadas	50
6.- Estudios sobre comportamiento a cortante del hormigón	50
6.1.- Introducción	50
6.2.- Comportamiento de vigas a cortante	52
6.3.- Aproximaciones al diseño de elementos de hormigón a cortante	54
6.3.1.- Teoría elástica: vigas sin fisuración	54
6.3.2.- Estudio teórico plástico	54
6.3.3.- “Soluciones exactas”: Teorías de campos de compresión (CFT)	54
6.3.4.- Estudios teóricos basados en métodos de equilibrio	54
7.- Normativas y estándares sobre áridos reciclados para hormigones	55
7.1.- Situación en USA	55
7.2.- Situación en Japón	55
7.3.- Situación en Alemania	56
7.4.- Situación en España	56
7.5.- Situación en los países del norte (Bélgica, Dinamarca, Holanda)	56
7.6.- Situación en el Reino Unido	58
7.7.- RILEM RECOMENDATION. TC-121 DGR (RILE94, HENR93)	58
7.8.- CEN-TC 154	59
8.- Normativas sobre el diseño a cortante del hormigón (vigas de hormigón convencional)	60
8.1.- Normativas Europeas. CEB/FIP Model Code 1990.	60
8.2.- Japanese Code (1988)	60
8.3.- Canadian Standards: Design of Concrete Structures (1994) (CSA A23.3-94)	60
8.4.- AASHTO’s LRFD Bridge Design Specifications (2000)	60
8.5.- American Concrete Institute Building Code (1995) (ACI Code 318-95), Instrucción de hormigón estructural – EHE, Australian Code (AS 3600 – 2001), New Zeland Code (NZS 3101-1995)	60
9.- Objetivos específicos y planificación de los trabajos	61
9.1.- Objetivos específicos	61
9.2.- Planificación de los trabajos.	62
CAPITULO III.- SELECCIÓN DE LOS MATERIALES UTILIZADOS. DESCRIPCIÓN Y RESULTADOS DE ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN.	63
1.- Principio básico relativo a la selección de materiales.	63
2.- Cemento	63
3.- Agua	65
4.- Adición: Humo de Sílice	65
5.- Aditivo	66

6.- Fracción 0-40 de áridos reciclados	66
6.1.- Granulometrías	66
6.2.- Composición por tipos (> 4 mm)	67
6.3.- Densidades y absorción	68
6.4.- Equivalente de arena	68
6.5.- Dureza. Coeficiente de Los Ángeles	68
6.6.- Índice de Lajas	69
7.- Áridos para hormigones	69
7.1.- Arenas	69
7.1.1.- Forma y granulometría	70
7.1.2.- Densidad y absorción	70
7.2.- Áridos gruesos convencionales	70
7.2.1.- Forma y granulometría	71
7.2.2.- Dureza	72
7.2.3.- Densidad y absorción	72
7.3.- Áridos gruesos reciclados	73
7.3.1.- Forma y granulometría	73
7.3.2.- Dureza	74
7.3.3.- Densidad y absorción	75
8.- Resumen sobre las propiedades de los áridos. Adecuación para uso en hormigones	76
8.1.- Forma y granulometría	76
8.2.- Dureza	77
8.3.- Densidad y absorción	77
9.- Acero para armar	78
10.- Consideraciones finales respecto a los materiales utilizados.	79
10.1.- Cemento	79
10.2.- Adición	79
10.3.- Aditivo	79
10.4.- Áridos	80
10.5.- Acero	80

CAPITULO IV.-TIPO DE HORMIGONES A UTILIZAR. DESCRIPCIÓN Y RESULTADOS DE ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE LOS HORMIGONES

	81
1.- Fase 1A. Ajuste de dosificaciones de partida	81
1.1.- Dosificación de hormigones convencionales sin humo de sílice (HC)	81
1.2.- Dosificación de hormigones con áridosR sin humo de sílice (HR)	82
1.3.- Dosificación de hormigones convencionales con humo de sílice (HCS)	82
1.4.- Dosificación de hormigones reciclados con humo de sílice (HRS)	83
2.- Fase 1B. Ajuste de dosificaciones	83
2.1.- Dosificación de hormigones convencionales sin humo de sílice (HC)	83
2.2.- Dosificación de hormigones reciclado sin humo de sílice (HR)	83
2.3.- Dosificación de hormigones convencionales con humo de sílice (HCS)	84
2.4.- Dosificación de hormigones reciclados con humo de sílice (HRS)	84

3.-Fase 2.Ajuste de dosificaciones	84
4.- Resumen de parámetros básicos de dosificaciones	84
5.- Desarrollo de los trabajos para obtención de testigos	84
5.1.- Acopios.	84
5.2.- Preparación del material para el amasado	85
5.3.- Procedimiento de Amasado y consistencia	86
5.3.1.- Fase-1a	86
5.3.2.- Fase-1b y Fase-2	87
5.4.- Fabricación y conservación de probetas	89
5.5.- Refrentado	89
6.- Plan de ensayos	89
7.- Ambiente en los laboratorios	90
8.- Densidad	90
8.1.- Resultados Fase-1a	92
8.2.- Resultados Fase-1b y Fase-2	92
8.3.- Resultados de densidad en estado endurecido (muestra seca y muestra saturada)	93
9.- Propiedades mecánicas	93
9.1.- Resistencia a compresión (UNE 83304:1984)	93
9.1.1.- Resultados Fase-1a	95
9.1.2.- Resultados Fase-1b y Fase-2	96
9.1.3.- Comparación de comportamientos	98
9.2.- Resistencia a tracción. Tracción indirecta (UNE 83306:1985)	99
9.2.1.- Resultados Fase-1a	99
9.2.2.- Resultados Fase-1b y Fase-2	100
9.2.3.- Comparación de comportamientos	101
9.3.- Módulo de deformación	101
9.3.1.- Resultados Fase-1a	101
9.3.2.- Resultados Fase-1b y Fase-2	102
9.3.3.- Comparación de comportamientos	103
9.4.- Diagramas tensión deformación y módulos determinados mediante extensometría	104
9.4.1.- Resultados Fase-1a	104
10.- Ensayos de caracterización general en probetas de control de vigas	105
10.1.- Ensayos de absorción de hormigones	105
10.2.- Roturas a carga lenta. Fenómenos diferidos	106
11.- Consideraciones finales respecto a las propiedades básicas de los hormigones	107
CAPITULO V.- DESCRIPCIÓN DE ENSAYOS A NIVEL ESTRUCTURAL: CORTANTE EN VIGAS ARMADAS	109
1.- Introducción	109
2.- Notación	110
3.- Descripción de las vigas fabricadas. Geometría y armado	110
3.1.- Criterios de diseño	110
3.2.- Definición geométrica teórica	115

4.- Instrumentación	117
4.1.- Descripción	117
4.2.- Nomenclatura de la instrumentación	118
4.3.- Situación	119
4.3.1.- Deformaciones de la armadura de cortante (fotografía 5.15)	119
4.3.2.- Deformaciones de la armadura longitudinal	120
4.3.3.- Deformaciones del hormigón	120
4.3.4.- Deformación de cortante en el vano	120
4.3.5.- Flechas	120
4.3.6.- Medida de carga	120
5.- Características mecánicas y geométricas de las vigas.	121
5.1.- Fabricación y curado	121
5.2.- Características mecánicas del hormigón	123
5.3.- Características de los aceros	123
5.4.- Características geométricas de las vigas	124
6.- Procedimiento de ensayo	124
CAPÍTULO VI - RESULTADOS DE LOS ENSAYOS SOBRE VIGAS	125
1.- Introducción	125
2.- Parámetros significativos	126
3.- Determinación de la carga de fisuración	128
4.- Determinación de la carga de plastificación	128
5.- Resultado de los ensayos	129
5.1.- Vigas sin armadura transversal	129
5.1.1.- V0HC	129
5.1.2.- V0HCS	130
5.1.3.- V0HR	131
5.1.4.- V0HRS	132
5.2.- Vigas con la mayor cuantía de armadura transversal	133
5.2.1.- V13HC	133
5.2.2.- V13HCS	134
5.2.3.- V13HR	135
5.2.4.- V13HRS	136
5.3.- Vigas con la cuantía de armadura transversal mínima según la EHE	137
5.3.1.- V17HC	137
5.3.2.- V17HCS	138
5.3.3.- V17HR	140
5.3.4.- V17HRS	141
5.4.- Vigas con cuantía de armadura transversal inferior a la mínima (EHE)	142
5.4.1.- V24HC	142
5.4.2.- V24HCS	143
5.4.3.- V24HR	144
5.4.4.- V24HRS	145

CAPÍTULO VII - ANÁLISIS DE RESULTADOS DE ENSAYOS ESTRUCTURALES	175
1.- Comportamiento de la viga durante el ensayo	175
1.1.- Comportamiento hasta fisuración.	175
1.2.- Comportamiento hasta plastificación	176
1.3.- Comportamiento hasta rotura	178
2.- Comportamiento deformacional (flechas, curvatura, deformación por cortante y anchos de fisura)	180
2.1.- Influencia del tipo de material	180
2.2.- Influencia de la cuantía de armadura transversal	180
3.- Comparación de los resultados de los ensayos con las distintas ecuaciones de diseño de cortante	181
3.1.- Teoría del MCFT	181
3.2.- Predicción de la resistencia a cortante por las distintas normativas	184
4.- Consideraciones finales sobre el comportamiento estructural de vigas armadas.	187
CAPÍTULO VIII - CONCLUSIONES , RECOMENDACIONES Y FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN	189
1.- Conclusiones	189
1.1.- Conclusiones relativas a las propiedades de los materiales utilizados.	189
1.2.- Conclusiones relativas a las propiedades básicas de los hormigones.	189
1.3.- Conclusiones relativas a las propiedades estructurales de los hormigones con áridosR	190
2.- Recomendaciones	191
3.- Futuras líneas de investigación	192
CAPÍTULO IX: BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS	193