

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Fig. 1.	Residuos de construcción y demolición en un vertedero de materiales inertes.....	3
Fig. 2.	Demolición selectiva en la que, primero, se elimina la tabiquería y otros componentes para, finalmente, demoler la estructura de hormigón.....	4
Fig. 3.	Logotipo del proyecto CLEAM.....	5
Fig. 4.	Porcentajes sobre el Producto Interior Bruto (PIB) español correspondientes al sector de la construcción a lo largo de los últimos años. ....	13
Fig. 5.	Aspecto del árido reciclado tras el proceso de trituración.....	18
Fig. 6.	Árido reciclado procedente de hormigón. ....	19
Fig. 7.	Árido reciclado cerámico procedente de ladrillo. ....	19
Fig. 8.	Proceso de demolición de una estructura de hormigón.....	23
Fig. 9.	Representación conjunta de las curvas de los husos granulométricos para distintos tamaños máximos de árido, límites superior e inferior, de las normas consultadas.	31
Fig. 10.	Rotura a compresión de una probeta cilíndrica normalizada de hormigón donde puede apreciarse cómo la rotura se ha propagado formando un cierto ángulo a través de la zona de menos resistencia: sollicitación a cortante. ....	45
Fig. 11.	Detalle del montaje y distribución de las armaduras de acero antes de su recubrimiento mediante hormigón. El entramado de barras de acero aumentará considerablemente la resistencia a tracción y cortante del hormigón que será utilizado en la construcción.....	45
Fig. 12.	Fotografía realizada durante la construcción de la Cúpula de Jena del año 1922. .	46

Fig. 13.	Evolución de la hidratación de la pasta de cemento con $w/c=0,63$ .....	56
Fig. 14.	Evolución de la hidratación de la pasta de cemento para distintas relaciones de agua/cemento. ....	57
Fig. 15.	Idealización del ciclo de vida del hormigón, una vez finalizado su uso inicial, dividido en 4 etapas: demolición, producción de árido reciclado, fabricación de hormigón reciclado y construcción.....	64
Fig. 16.	Esquema del matraz de Le Chatelier (250 ml) para la determinación de densidades reales de materiales granulares. ....	90
Fig. 17.	Permeabilímetro Blaine para la determinación de la finura del cemento. ....	91
Fig. 18.	Microscopio electrónico de barrido utilizado en los análisis. ....	92
Fig. 19.	Detalle del goniómetro utilizado por el difractor donde puede apreciarse el lugar donde se aloja el tubo de rayos X.....	94
Fig. 20.	Detalle de la muestra de cemento en el momento de su colocación.....	94
Fig. 21.	Separación de componentes por inspección visual del árido reciclado procedente de hormigón. ....	99
Fig. 22.	Procedimiento de cuarteo del árido reciclado mediante rifles (izq.) y pesaje (dcha.). 100	
Fig. 23.	Procedimiento de secado del árido en estufa a $110 \pm 5$ °C.....	101
Fig. 24.	Tamizadora de vaivén para análisis granulométricos.....	102
Fig. 25.	Tamiz de barras para la determinación del índice de lajas.....	104
Fig. 26.	Fracciones granulométricas para la determinación del coeficiente de forma del árido reciclado.....	106
Fig. 27.	Aspecto superficial del árido grueso reciclado en que se aprecian los restos de mortero adherido.....	107
Fig. 28.	Fracciones de árido grueso, árido medio y árido fino reciclado. ....	107
Fig. 29.	Detalle de la fracción de árido fino reciclado obtenido. ....	108
Fig. 30.	Proceso del pesaje del picnómetro para la determinación de la densidad real del árido fino (izq.) y aspecto tras la incorporación del árido fino (dcha.).....	108
Fig. 31.	Fracción del árido medio reciclado encontrado. ....	110
Fig. 32.	Fracción del árido grueso reciclado tras la separación. ....	111
Fig. 33.	Vasija utilizada como celda de vacío para la saturación del árido. ....	111
Fig. 34.	Dispositivo provisto de sonda de cuzín (izq.) para la detección de partículas blandas en áridos gruesos (dcha.); se aprecia el surco producido por la sonda de cuzín..	115
Fig. 35.	Máquina de ensayo Los Ángeles para la determinación de la friabilidad. ....	117
Fig. 36.	Fracción pasante y retenida por el tamiz 1,60 mm tras la realización del ensayo de desgaste Los Ángeles. ....	117
Fig. 37.	Representación esquemática del ensayo de determinación del índice de machacabilidad del árido. ....	118
Fig. 38.	Compactación del material en el molde cilíndrico (izq.) y aplicación de la carga de compresión en el transcurso del ensayo de determinación del índice de machacabilidad del árido (dcha.). ....	120

---

Fig. 39.	Aspecto de la muestra del ensayo de machacabilidad tras retirar el émbolo (izq.) y después de su extracción del recipiente (dcha.).	121
Fig. 40.	Aspecto de las dos fracciones obtenidas en el ensayo de machacabilidad tras el tamizado del árido a la conclusión del mismo.	121
Fig. 41.	Distribución esquematizada de los objetivos planteados para cada una de las tres fases de la etapa experimental.	125
Fig. 42.	Representación esquemática de la relación entre el volumen de amasado y la superficie interior de contacto de la amasadora.	130
Fig. 43.	Pesaje de la gravilla, utilizada en una de las amasadas, en una báscula de precisión.	132
Fig. 44.	Arena extendida para su secado en condiciones de laboratorio.	133
Fig. 45.	Fotografía del dispositivo empleado (izda) y detalle del interior (dcha) del recipiente para la saturación de los áridos gruesos.	134
Fig. 46.	Componentes para la confección de una amasada.	134
Fig. 47.	Pesaje y saturación del árido grueso por inmersión en agua durante 10 min.	135
Fig. 48.	Proceso de escurrido (izquierda) y posterior pesaje del árido grueso saturado (derecha).	135
Fig. 49.	Incorporación de los áridos gruesos en la hormigonera de eje vertical.	136
Fig. 50.	Medida del asiento utilizando del cono de Abrams.	143
Fig. 51.	Medida de la consistencia en el ensayo del asiento del cono de Abrams.	144
Fig. 52.	Llenado y compactación, mediante picado, de los moldes normalizados.	146
Fig. 53.	Mesa vibratoria para la compactación de los moldes normalizados.	147
Fig. 54.	Llenado y compactación, mediante aguja vibradora, de los moldes normalizados.	148
Fig. 55.	Imagen de las probetas almacenadas en el interior de la cámara de curado (izda.) y en exposición al ambiente marino (dcha.).	149
Fig. 56.	Esquema del despiece de las probetas cilíndricas normalizadas para la realización de los distintos ensayos.	151
Fig. 57.	Probeta normalizada (izq.) y aspecto de las muestras obtenidas a partir del despiece de probetas cilíndricas normalizadas de hormigón (dcha.).	152
Fig. 58.	Aspecto de la superficie de corte tras la aplicación del esmalte de fondo de color negro.	158
Fig. 59.	Aspecto de la superficie de corte en el momento de la aplicación de la pasta de cemento blanca.	159
Fig. 60.	Aspecto de la superficie preparada, con fondo de negro y color blanco para la porosidad, para la toma de imágenes de análisis.	159
Fig. 61.	Macrografía de la superficie totalmente preparada y sobre fondo rojo para mayor contraste entre colores; a la derecha puede observarse el cuadrado (40x40 mm) de calibración.	160
Fig. 62.	GUI del programa al arrancar.	162
Fig. 63.	GUI para cargar la imagen a procesar.	163
Fig. 64.	GUI del programa una vez cargada la foto.	164

---

Fig. 65.	GUI para guardar los datos en un Fichero.....	164
Fig. 66.	Ventana que permite seleccionar el tamaño mínimo de poro que se pretende identificar.....	164
Fig. 67.	Distribución de número de poros con respecto a la distancia radial al centro de la probeta. 167	
Fig. 68.	Distribución del tamaño de los poros con respecto a la distancia radial al centro de la probeta. ....	167
Fig. 69.	Distribución del número de poros con respecto al tamaño de ellos.....	168
Fig. 70.	Representación bidimensional de la distribución del tamaño de los poros en el plano de corte de la probeta.....	168
Fig. 71.	Representación tridimensional de la distribución del tamaño de los poros en el plano de corte de la probeta.....	169
Fig. 72.	Cortes practicados a las probetas normalizadas y submuestras obtenidas. ....	171
Fig. 73.	Imagen B/N de una de las secciones de la probeta preparada para el análisis de la macroporosidad.....	171
Fig. 74.	Probeta de hormigón durante el ensayo de propagación de impulsos ultrasónicos. 172	
Fig. 75.	Representación de los distintos tipos de porosidad y capilaridad según su tamaño. 177	
Fig. 76.	Superficie interior de una probeta normalizada de hormigón, rota por tracción indirecta, a la que se ha aplicado una fina capa de fenolftaleína.....	181
Fig. 77.	Esquema del dispositivo experimental que dio origen a la Ley de Darcy.....	183
Fig. 78.	Esquema del dispositivo experimental para la realización de ensayos de permeabilidad al oxígeno sobre probetas cilíndricas de hormigón.....	186
Fig. 79.	Aspecto de la muestra parcialmente (izq.) y totalmente (dcha.) introducida en la junta de caucho.....	187
Fig. 80.	Disposición de la muestra en el portamuestras inferior. ....	188
Fig. 81.	Detalle de la colocación del portamuestras superior. ....	188
Fig. 82.	Montaje final del dispositivo experimental, a falta de conectar la salida del portamuestras superior al caudalímetro de gases. ....	189
Fig. 83.	Detalle del PC y tarjeta de adquisición de datos conectada al caudalímetro digital. 190	
Fig. 84.	Detalle del caudalímetro digital conectado y evaluando el flujo de oxígeno a la salida de la muestra. ....	191
Fig. 85.	Dispositivo experimental para los ensayos de penetración de agua bajo presión. 193	
Fig. 86.	Detalle del dispositivo experimental para los ensayos de penetración de agua bajo presión. 193	
Fig. 87.	Detalle del perfil de profundización del agua en los ensayos de penetración de agua bajo presión.....	193
Fig. 88.	Probetas normalizadas de hormigón refrentadas y preparadas para ensayar a compresión.....	196
Fig. 89.	Rotura a compresión simple de una probeta normalizada de hormigón. ....	197

Fig. 90.	Dos galgas extensométricas de 120 mm de longitud antes de su colocación en la probeta. 198	
Fig. 91.	Equipo necesario para la colocación de las galgas: galgas, conectores y adhesivo. 199	
Fig. 92.	Detalle del proceso de colocación de las galgas. .... 199	
Fig. 93.	Aplicación del primer componente del pegamento (90% de la mezcla) y adición del segundo componente del pegamento (10% de la mezcla). .... 200	
Fig. 94.	Color que toma la mezcla cuando está lista para extenderse y aplicación del adhesivo sobre la probeta..... 200	
Fig. 95.	Galga colocada y preparada para ser soldada y probeta lista para ser conectada y ensayada. .... 201	
Fig. 96.	Fotografía de la probeta instrumentada y colocada entre los platos de la prensa. 201	
Fig. 97.	Diagrama tensión-microdeformación de los ciclos de carga y descarga del ensayo de determinación del módulo de elasticidad..... 202	
Fig. 98.	Esquema de fuerzas (izq.) y tercio de probeta cilíndrica normalizada ensayada (dcha.) a tracción indirecta..... 203	
Fig. 99.	Evolución de la amplitud de los ciclos de tensión variable con respecto al número de ciclos aplicados (curva de Wöhler). .... 206	
Fig. 100.	Corona durante proceso de extracción (izq.) y extracción de la probeta del equipo portador, una vez realizada la operación de corte. .... 209	
Fig. 101.	Probeta y testigo preparado para ser identificado. .... 209	
Fig. 102.	Testigo durante el proceso de corte y refrentado con azufre. .... 210	
Fig. 103.	Testigo de hormigón reciclado instrumentado con galgas extensométricas, conectores y cableado (izq.), y dispuesto en la máquina dinámica de ensayo (dcha.). 211	
Fig. 104.	Ejemplo del programa de ensayos STAIRCASE..... 212	
Fig. 105.	Ejemplo del programa de escalones del ensayo LOCATI. .... 219	
Fig. 106.	Microscopio electrónico de barrido marca JEOL JSM – 5800 LV..... 221	
Fig. 107.	Composición química elemental del cemento CEM I 42,5 R/SR. .... 226	
Fig. 108.	Composición química elemental del cemento CEM I 52,5 N/SR. .... 226	
Fig. 109.	Análisis mineralógico del CEM I 42.5 R/SR donde B: Belita ( $C_2S$ ); A: Alita ( $C_3S$ ); AC: Aluminato tricálcico ( $C_3A$ ); P: Periclase ( $MgO$ ); L: Carbonato cálcico ( $CaCO_3$ ); G: Yeso ( $CaSO_4$ ); Bw: Brownmillerita ( $Ca_4Al_2Fe_2O_{10}$ ) ..... 227	
Fig. 110.	Análisis mineralógico del CEM I 52.5 R/SR donde B: Belita ( $C_2S$ ); A: Alita ( $C_3S$ ); AC: Aluminato tricálcico ( $C_3A$ ); P: Periclase ( $MgO$ ); L: Carbonato cálcico ( $CaCO_3$ ); G: Yeso ( $CaSO_4$ ); Bw: Brownmillerita ( $Ca_4Al_2Fe_2O_{10}$ ) ..... 228	
Fig. 111.	Resultados de la separación visual de los áridos reciclados de las primera y segunda fases. .... 229	
Fig. 112.	Mortero y árido con mortero del árido reciclado de las fases I y II. .... 230	
Fig. 113.	Árido natural encontrado en el árido reciclado de las fases I y II..... 230	
Fig. 114.	Yeso encontrado en el árido reciclado de las fases I y II. .... 230	
Fig. 115.	Asfalto encontrado en el árido reciclado de las fases I y II. .... 230	

Fig. 116.	Cerámicos encontrados en el árido reciclado de las fases I y II. ....	231
Fig. 117.	Finos encontrados en el árido reciclado de las fases I y II. ....	231
Fig. 118.	Resultados de la separación de los áridos reciclados de la fase III. ....	231
Fig. 119.	Mortero y conglomerado encontrados en el árido de la fase III. ....	232
Fig. 120.	Árido natural encontrado en el árido reciclado de la fase III. ....	232
Fig. 121.	Árido contaminado con betún de la fase III. ....	232
Fig. 122.	Finos encontrados en el árido reciclado de la fase III. ....	232
Fig. 123.	Curvas granulométricas de los áridos de las fases primera y segunda. ....	233
Fig. 124.	Curvas granulométricas de los áridos utilizados en la tercera fase. ....	233
Fig. 125.	Aspecto del árido mezcla y dispositivo antes de la realización del ensayo. Fases I y II, 50%, fracción 14/20. ....	240
Fig. 126.	Aspecto del árido tras la realización del ensayo. Fases I y II, 50%, fracción 14/20. ....	240
Fig. 127.	Curvas tensión-deformación del esqueleto confinado de áridos naturales, reciclado y mezclas de las Fases I y II para la fracción 10/14. ....	241
Fig. 128.	Curvas tensión-deformación del esqueleto confinado de áridos naturales, reciclado y mezclas de las Fases I y II para la fracción 14/20. ....	241
Fig. 129.	Curvas tensión-deformación del esqueleto confinado de áridos naturales, reciclado y mezclas de la Fase III para la fracción 10/14. ....	242
Fig. 130.	Curvas tensión-deformación del esqueleto confinado de áridos naturales, reciclado y mezclas de la Fase III para la fracción 14/20. ....	242
Fig. 131.	Condiciones climáticas en Santander en el año 2006. ....	246
Fig. 132.	Condiciones climáticas en Santander en el año 2007. ....	246
Fig. 133.	Condiciones climáticas en Santander en el año 2008. ....	247
Fig. 134.	Condiciones climáticas en Santander en el año 2009. ....	247
Fig. 135.	Profundidad de carbonatación del H-0,65 50%. ....	265
Fig. 136.	Profundidad de carbonatación del H-0,50 50%. ....	265
Fig. 137.	Profundidad de carbonatación del H-0,65 100%. ....	265
Fig. 138.	Profundidad de carbonatación del H-0,50 100%. ....	265
Fig. 139.	Ensayo STAIRCASE sobre una probeta que presenta vida infinita (supera los $2 \cdot 10^6$ ciclos). ....	279
Fig. 140.	Registro de deformación de un ensayo en el que la probeta colapsa antes del alcanzar dos millones de ciclos. ....	280
Fig. 141.	Evolución de la rigidez frente al número de ciclos para el hormigón H-0,65AS-0%. ....	290
Fig. 142.	Evolución de la rigidez frente al número de ciclos para el hormigón H-0,65AS-20%. ....	291
Fig. 143.	Evolución de la rigidez frente al número de ciclos para el hormigón H-0,65AS-50%. ....	291
Fig. 144.	Evolución de la rigidez frente al número de ciclos para el hormigón H-0,65AS-100%. ....	292

---

Fig. 145.	Evolución de la rigidez frente al número de ciclos para el hormigón H-0,50AS-0%. ..	292
Fig. 146.	Evolución de la rigidez frente al número de ciclos para el hormigón H-0,50AS-20%. ..	293
Fig. 147.	Evolución de la rigidez frente al número de ciclos para el hormigón H-0,50AS-50%. ..	293
Fig. 148.	Evolución de la rigidez frente al número de ciclos para el hormigón H-0,50AS-100%. ..	294
Fig. 149.	Evolución de la rigidez frente al número de ciclos para el hormigón H-0,55ARS-0%. ..	294
Fig. 150.	Evolución de la rigidez frente al número de ciclos para el hormigón H-0,55ARS-20%. ..	295
Fig. 151.	Evolución de la rigidez frente al número de ciclos para el hormigón H-0,55ARS-50%. ..	295
Fig. 152.	Evolución de la rigidez frente al número de ciclos para el hormigón H-0,55ARS-100%. ..	296
Fig. 153.	Evolución de la rigidez frente al número de ciclos para el hormigón H-0,45ARS-0%. ..	296
Fig. 154.	Evolución de la rigidez frente al número de ciclos para el hormigón H-0,45ARS-20%. ..	297
Fig. 155.	Evolución de la rigidez frente al número de ciclos para el hormigón H-0,45ARS-50%. ..	297
Fig. 156.	Evolución de la rigidez frente al número de ciclos para el hormigón H-0,45ARS-100%. ..	298
Fig. 157.	Resultados del registro de deformación frente al número de ciclos del ensayo LOCATI sobre el hormigón H-065-20%. ..	299
Fig. 158.	Micrografía del hormigón H-0,65-0% donde puede apreciarse el crecimiento de agujas de los productos de hidratación (ettringita) del cemento en el interior de un poro. ..	303
Fig. 159.	Detalle del entorno del mismo poro de la Fig. 159 del hormigón H-065-0%.....	304
Fig. 160.	Detalle de una fisura secundaria entre el árido y la pasta en el hormigón H-065-0%. ..	304
Fig. 161.	Detalle de la interfase árido-pasta, tras la despegue del árido, hormigón H-065-20%. ..	305
Fig. 162.	Fallo por fatiga de la unión adherente árido-pasta del hormigón H-065-20%. ..	305
Fig. 163.	Fisuras secundarias y crecimiento de agujas en el interior de un poro de un hormigón H-065-50%. ..	306
Fig. 164.	Generación de fisuras secundarias en el plano de fractura principal, a partir de un poro, H-065-50%. ..	306
Fig. 165.	Detalle de la pasta de cemento del H-0,65-100%. ..	307
Fig. 166.	Fisuras secundarias creciendo a partir de los poros, H-0,65-100%.....	307
Fig. 167.	Micrografía de la superficie de rotura de la fractura principal con rotura de pasta y árido, H-0,50-0%. ..	308
Fig. 168.	Propagación de una fisura secundaria continua a través del árido. ..	308

---

Fig. 169.	Detalle de un hueco en la pasta del H-0,50-20%.....	309
Fig. 170.	Propagación de una fisura secundaria a través de un poro, H-0,50-20%.....	309
Fig. 171.	Detalle de un poro de aire atrapado del H-0,50-50%. .....	310
Fig. 172.	Detalle de un árido fracturado en la superficie de rotura principal del H-0,50-50%. .. .....	310
Fig. 173.	Porosidad debida a burbujas de aire ocluido y pasta compacta en un H-0,50-100%. .....	311
Fig. 174.	Generación de una fisura a partir de un poro de aire atrapado. ....	311
Fig. 175.	Representación conjunta de las curvas granulométricas de ambos áridos reciclados con el huso granulométrico (líneas punteadas) definido en la norma UNE 12620:3 para $D < 20$ mm. ....	320
Fig. 176.	Coefficiente de desgaste LA obtenido experimentalmente frente al propuesto en (38). ....	326
Fig. 177.	Comparativa de los valores experimentales y obtenidos según la ecuación (39) para el AEL. ....	329
Fig. 178.	Densidad relativa frente a la relación agua/cemento efectiva de los hormigones reciclados con 28 días de edad curados en cámara de humedad. ....	344
Fig. 179.	Densidad relativa frente a la relación agua/cemento efectiva de los hormigones reciclados con 180 días de edad curados en cámara de humedad. ....	344
Fig. 180.	Densidad relativa frente a la relación agua/cemento efectiva de los hormigones reciclados con 365 días de edad curados en cámara de humedad. ....	345
Fig. 181.	Coefficiente de absorción frente a la relación agua/cemento efectiva de los hormigones reciclados con 28 días de edad curados en cámara de humedad. ...	348
Fig. 182.	Coefficiente de absorción frente a la relación agua/cemento efectiva de los hormigones reciclados con 180 días de edad curados en cámara de humedad. .	348
Fig. 183.	Coefficiente de absorción frente a la relación agua/cemento efectiva de los hormigones reciclados con 365 días de edad curados en cámara de humedad. .	349
Fig. 184.	Coefficiente de absorción frente a la densidad relativa de los hormigones reciclados con 365 días curados en cámara de humedad. ....	350
Fig. 185.	Porosidad accesible frente a la relación agua/cemento efectiva de los hormigones reciclados con 28 días de edad curados en cámara de humedad. ....	351
Fig. 186.	Porosidad accesible frente a la relación agua/cemento efectiva de los hormigones reciclados con 180 días de edad curados en cámara de humedad. ....	352
Fig. 187.	Porosidad accesible frente a la relación agua/cemento efectiva de los hormigones reciclados con 365 días de edad curados en cámara de humedad. ....	352
Fig. 188.	Porosidad accesible frente a la densidad aparente de los hormigones reciclados con 365 días curados en cámara de humedad. ....	353
Fig. 189.	Macroporosidad en función de la densidad aparente del hormigón reciclado de la fase I. ....	357
Fig. 190.	Velocidad de propagación de impulsos ultrasónicos frente a la relación agua/cemento efectiva de los hormigones reciclados. ....	359
Fig. 191.	Velocidad de impulsos ultrasónicos frente a la densidad relativa de los hormigones reciclados con 365 días curados en cámara de humedad.....	360

---

Fig. 192.	Penetración de agua bajo presión frente a la relación agua/cemento efectiva de los hormigones reciclados con 28 días de edad curados en cámara de humedad. ...	366
Fig. 193.	Penetración de agua bajo presión frente a la relación agua/cemento efectiva de los hormigones reciclados con 180 días de edad curados en cámara de humedad. .	366
Fig. 194.	Penetración de agua bajo presión frente a la relación agua/cemento efectiva de los hormigones reciclados con 365 días de edad curados en cámara de humedad. .	367
Fig. 195.	Penetración de agua bajo presión frente a la porosidad accesible de todos los hormigones curados en cámara de humedad.....	368
Fig. 196.	Coeficiente de permeabilidad al oxígeno frente a la relación agua/cemento efectiva de los hormigones reciclados con 28 días de edad curados en cámara de humedad. ....	370
Fig. 197.	Coeficiente de permeabilidad al oxígeno frente a la relación agua/cemento efectiva de los hormigones reciclados con 180 días de edad curados en cámara de humedad. ....	370
Fig. 198.	Coeficiente de permeabilidad al oxígeno frente a la relación agua/cemento efectiva de los hormigones reciclados con 365 días de edad curados en cámara de humedad. ....	371
Fig. 199.	Permeabilidad al oxígeno frente a porosidad accesible correspondiente a los hormigones reciclados curados en cámara de humedad. ....	372
Fig. 200.	Permeabilidad al oxígeno frente a la penetración máxima de agua bajo presión correspondiente a los hormigones reciclados curados en cámara de humedad. .	373
Fig. 201.	Resistencia a compresión frente a la relación agua/cemento de los hormigones reciclados con 28 días de edad curados en cámara de humedad. ....	377
Fig. 202.	Resistencia a compresión frente a la relación agua/cemento de los hormigones reciclados con 180 días de edad curados en cámara de humedad. ....	377
Fig. 203.	Resistencia a compresión frente a la relación agua/cemento de los hormigones reciclados con 365 días de edad curados en cámara de humedad. ....	378
Fig. 204.	Resistencia a compresión frente a la absorción de los hormigones reciclados curados en cámara de humedad. ....	379
Fig. 205.	Resistencia a compresión a la porosidad accesible frente de los hormigones reciclados curados en cámara de humedad. ....	379
Fig. 206.	Penetración de agua bajo presión frente a la resistencia a compresión de todos los hormigones curados en cámara de humedad.....	380
Fig. 207.	Resistencia a compresión frente a la permeabilidad al oxígeno correspondiente de los hormigones reciclados curados en cámara de humedad.....	381
Fig. 208.	Resistencia a compresión de los hormigones reciclados frente a la resistencia del hormigón de control correspondiente.....	382
Fig. 209.	Modelo de resistencia a compresión del hormigón reciclado Fig. 24. comparado con los resultados obtenidos por Li et al. [152], Tang [153], Jin et al. [154] , Kou et al. [155], Rahal [156], Xiao [157], Corinaldesi [158]; Padmini et al. [159], Lovato et al. [160], Nassar y Roz-Ud-Di [161]. ....	383
Fig. 210.	Resistencia a tracción indirecta frente a la relación agua/cemento de los hormigones reciclados con 28 días de edad curados en cámara de humedad. ...	385
Fig. 211.	Resistencia a tracción indirecta frente a la relación agua/cemento de los hormigones reciclados con 180 días de edad curados en cámara de humedad. .	386

---

Fig. 212.	Resistencia a tracción indirecta frente a la relación agua/cemento de los hormigones reciclados con 365 días de edad curados en cámara de humedad. .	386
Fig. 213.	Módulo de elasticidad frente a la relación agua/cemento de los hormigones reciclados. ....	388
Fig. 214.	Comparación de los distintos modelos encontrados en la bibliografía: Zilch and Roos [162]; Evangelista and de Brito [163]; Dillmann [164]; Corinaldesi [158]; Mellmann [165]; Xiao Li y Zhang [157]. ....	389
Fig. 215.	Módulo de elasticidad frente a la resistencia a compresión de los hormigones reciclados. ....	390
Fig. 216.	Representación esquemática de la respuesta en la deformación, frente al número de ciclos, de un ensayo a incremento de tensión constante. ....	391
Fig. 217.	Representación esquemática de la rigidez frente al número de ciclos, de un ensayo STAIRCASE. ....	393
Fig. 218.	Representación del valor $N_f$ calculado según (51), donde se han representado con "O" a los ensayos en los que no hubo rotura y "X" aquellos que no superaron los $2 \cdot 10^6$ ciclos. ....	401
Fig. 219.	Representación de la velocidad de pérdida de rigidez en los $1 \cdot 10^5$ primeros ciclos, de todos los ensayos STAIRCASE, donde se han representado con "O" a los ensayos en los que no hubo rotura y "X" aquellos que no superaron los $2 \cdot 10^6$ ciclos. ....	402
Fig. 220.	Límite a fatiga frente a la relación agua/cemento efectiva de los hormigones reciclados. ....	403
Fig. 221.	Representación de la respuesta en deformación frente al número de ciclos de un ensayo LOCATI. ....	404
Fig. 222.	Deformaciones máxima y mínima de todos los escalones del un ensayo LOCATI. ....	405
Fig. 223.	Deformación máxima (superior) y mínima (inferior) del primer escalón del ensayo LOCATI. ....	406
Fig. 224.	Deformación máxima y mínima respecto del número de ciclos del escalón de rotura, región B. ....	407
Fig. 225.	Tramos de deformación máxima frente al número de ciclos y su ajuste lineal. ....	408
Fig. 226.	Tramos de deformación mínima frente al número de ciclos y su ajuste lineal. ....	408
Fig. 227.	Velocidad de deformación respecto de la tensión del escalón y número de ciclos. ....	409
Fig. 228.	Velocidad de deformación frente a la tensión del escalón, en referencia al límite a fatiga, de los hormigones de control. ....	410
Fig. 229.	Velocidad de deformación frente a la tensión del escalón, en referencia al límite a fatiga, de los hormigones con 20% de incorporación. ....	411
Fig. 230.	Velocidad de deformación frente a la tensión del escalón, en referencia al límite a fatiga, de los hormigones con 50% de incorporación. ....	411
Fig. 231.	Velocidad de deformación frente a la tensión del escalón, en referencia al límite a fatiga, de los hormigones con 100% de incorporación. ....	412
Fig. 232.	Tensión del escalón de rotura LOCATI frente al límite a fatiga obtenido mediante la técnica STAIRCASE para todos los hormigones estudiados. ....	415

Fig. 233.	Observación macroscópica de algunos detalles de interés en la fractura por fatiga de una probeta de hormigón reciclado.....	417
Fig. 234.	Hormigón con incorporación de poliamida reforzada con fibra de vidrio. ....	429
Fig. 235.	Hormigón con incorporación de escorias negras de fundición.....	429
Fig. 236.	Hormigón con incorporación de polietileno expandido.....	430
Fig. 237.	Hormigón con incorporación de arlita. ....	430
Fig. 238.	Hormigón con incorporación de cerámicos procedentes de sanitarios.....	431
Fig. 239.	Hormigón con incorporación de cerámicos procedentes de ladrillos.....	431
Fig. 240.	Hormigón con incorporación de caucho procedente de neumáticos.....	432
Fig. 241.	Hormigón con incorporación de áridos reciclado mixtos: hormigón y cerámicos.	432