

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE
INGENIEROS DE MINAS

PROYECTO FIN DE CARRERA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
GEOLÓGICA

**APLICABILIDAD DE ÁRIDOS RECICLADOS
PARA FABRICACIÓN DE HORMIGONES**

RENÉ JOSÉ ABREU LINARES NOVIEMBRE- 2002

AGRADECIMIENTOS

Primero que a nadie, quisiera expresar mi agradecimiento a mi familia, que siempre estuvieron conmigo a lo largo de mi vida como estudiante con todo su apoyo y cariño.

A mi tutor Profesor José Luis Parra y Alfaro, que con paciencia siempre supo como orientarme y responder a mis múltiples incógnitas.

A la Profesora Mónica Martiz, que me permitió participar en el Programa “Antonio Ulloa”, y a la cual tengo mucho aprecio por los años en que he sido su becario y alumno.

A todo el personal de áridos y cemento del LOEMCO, quienes me prestaron todo su apoyo para la realización de los ensayos.

No puedo finalizar sin agradecer la oportunidad brindada por las autoridades de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid, por permitirme entrar en sus aulas y cursar el último año de la titulación, lo cual me ha dejado una experiencia inolvidable.

A todos ellos muchas gracias.

INDICE

INDICE.....	I
INDICE DE TABLAS.....	II
INDICE DE FOTOS	III
INDICE DE FIGURAS.....	IV
RESUMEN.....	V
“ABSTRACT”.....	VI
SÍNTESIS DEL TRABAJO.....	VII

DOCUMENTO Nº 1 MEMORIA

1. OBJETIVOS Y ALCANCE.....	2
2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	3
3. ANTECEDENTES	5
3.1 ÁRIDOS PARA HORMIGONES	5
3.1.1 Generalidades	5
3.1.2 Naturaleza y procedencia de los Áridos	5
3.2 RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD).....	6
3.2.1 Composición de los Residuos de Construcción y Demolición	6
3.2.2 Producción de los Residuos de Construcción y Demolición.....	7

3.3 SITUACIÓN ACTUAL DEL RECICLADO DE ÁRIDOS.....	11
3.3.1 Situación fuera de España	11
3.3.2 Situación en España.....	16
3.4 NORMATIVA SOBRE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN	19
3.4.1 Normativa Europea.....	19
3.4.2 Normativa Española	24
3.5 APLICACIONES PARA LOS MATERIALES RECICLADOS	26
4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	28
4.1 DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS CARACTERIZACIÓN DE ÁRIDOS.....	30
4.1.1 Análisis granulométrico de áridos según norma UNE 7 139	30
4.1.2 Determinación del coeficiente de forma de áridos gruesos UNE 7 238.....	31
4.1.3 Determinación del coeficiente de forma (Shape Index) de áridos gruesos prEN 933-4	33
4.1.4 Determinación de finos de áridos utilizados para fabricación de hormigones según UNE 7 135	34
4.1.5 Determinación del coeficiente de desgaste “Los Ángeles” según UNE 83-116-90.....	35
4.1.6 Determinación del coeficiente de friabilidad Micro-Deval según la prEN 1097-1.....	37

4.1.7	Determinación de la densidad real de la muestra seca, coeficiente de absorción y densidad de la muestra saturada con superficie seca según UNE 83-134-90.....	39
4.1.8	Determinación cuantitativa de los compuestos de azufre, según UNE 83-120-88.....	41
4.1.9	Determinación cuantitativa de cloruros según UNE 83-124-90	42
4.1.10	Determinación aproximada de la materia orgánica en arenas para hormigones según UNE 7 082	43
4.1.11	Estudio Petrográfico	43
4.1.12	Estudio Difracción por Rayos X.....	43
4.2	DESCRIPCION DE LOS ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE HORMIGONES.....	44
4.2.1	Medida de la resistencia a compresión según norma UNE 83-304/84	44
4.3	ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO	49
4.3.1	Objetivo	49
4.3.2	Proceso	49
5.	RESULTADOS DE LA PRIMERA ETAPA.....	50
5.1	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO SEGÚN UNE 7 139	50
5.1.1	Tablas de resultados y representaciones gráficas.....	50
5.1.2	Análisis de resultados.....	53
5.2	DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE FORMA UNE 7 238	54

5.2.1	Tablas de resultados y representaciones gráficas.....	54
5.2.2	Análisis de resultados.....	55
5.3	DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE FORMA “SHAPE INDEX” SEGÚN prEN 933-4.....	55
5.3.1	Tabla de resultados y representaciones gráficas	55
5.3.2	Análisis de resultados.....	56
5.4	DETERMINACIÓN DE FINOS EN ÁRIDOS SEGÚN UNE 7 135.....	56
5.4.1	Tablas de resultados y representaciones gráficas.....	56
5.4.2	Análisis de resultados.....	57
5.5	DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE DESGASTE “LOS ANGELES” SEGÚN UNE 83-116-90	57
5.5.1	Tablas de resultados y representaciones gráficas.....	57
5.5.2	Análisis de resultados.....	58
5.6	DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE FRIABILIDAD DE LAS ARENAS “MICRO-DEVAL” SEGÚN prEN 1097-1	58
5.6.1	Tabla de resultados y representaciones gráficas	58
5.6.2	Análisis de resultados.....	58
5.7	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD REAL DE LA MUESTRA SECA, COEFICIENTE DE ABSORCIÓN Y DENSIDAD REAL DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA SEGÚN UNE 83-134-90.....	59
5.7.1	Tabla de resultados y representaciones gráficas	59

5.7.2	Análisis de resultados.....	60
5.8	DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DEL AZUFRE SEGÚN UNE 83-120-88 ..	60
5.8.1	Tabla de resultados y representaciones gráficas	60
5.8.2	Análisis de resultados.....	60
5.9	DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DEL CLORURO SEGÚN UNE 83-124-90.....	60
5.9.1	Tabla de resultados y representaciones gráficas	60
5.10	DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA	61
5.11	ESTUDIO PETROGRÁFICO	61
5.11.1	Resultados:	61
5.12	ESTUDIO DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X.....	64
5.12.1	Tabla de resultados y representaciones gráficas	64
5.12.2	Análisis de resultados.....	64
5.13	CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO, TIPO II-A-P, 42,5 R.....	65
5.13.1	Tabla de resultados y representaciones gráficas.	65
5.13.2	Análisis de resultados.....	66
6.	RESULTADOS DE LA SEGUNDA ETAPA ARÍDO RECICLADO	66
6.1	Tabla de resultados	66
6.2	ANÁLISIS DE RESULTADOS	70

7. RESULTADOS DE LA TERCERA ETAPA. PREPARACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS HORMIGONES.....	70
7.1 PREPARACIÓN DE LOS HORMIGONES.....	70
7.1.1 Dosificación Teórica	71
7.1.2 Dosificación Práctica	71
7.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS HORMIGONES	72
7.2.1 Resultados del ensayo de resistencia a la compresión, Según UNE 83-304-84.....	72
8. CONCLUSIONES	77
8.1 Primera Etapa.....	77
10.1 Segunda Etapa	78
10.2 Tercera Etapa	78
12. REFERENCIAS.....	80
13. BIBLIOGRAFÍA	81

DOCUMENTO Nº 2 ESTUDIO ECONOMICO

1. INTRODUCCIÓN	86
2. PRESUPUESTO	87
2.1 GASTOS DE PERSONAL	87
2.2. GASTOS DIRECTOS	87
2.2.1. Preparación de muestras	87

2.2.2. Realización de los ensayos	87
2.2.3. Dietas y desplazamientos.....	88
2.3. GASTOS DIRECTOS	89
2.4. IMPORTE TOTAL.....	89

DOCUMENTO N° 3 ANEXOS

ANEXO A: NORMATIVA DE PROCEDIMIENTOS

ANEXO B: ANÁLISIS DE DIFRACCIÓN RAYOS X

ANEXO C: ESPECIFICACIONES DEL CEMENTO

INDICE DE TABLAS

Tabla 3. 1:	Composición de los residuos de construcción y demolición en diversos países (% en peso)	7
Tabla 3. 2:	Producción de RCD en los países de la UE	9
Tabla 3. 3:	Tasas de recuperación de RCD en varios países	11
Tabla 3. 4:	Plantas de tratamiento de RCD en la U.E (1990).....	12
Tabla 3. 5:	Tratamiento de los escombros	15
Tabla 3. 6:	Categoría de Residuos.....	20
Tabla 3. 7:	Indice del Catálogo Europeo de Residuos (CER).	22
Tabla 3. 8:	Clasificación de los Residuos de Construcción y Demolición en CER...	23
Tabla 3. 9:	Clasificación de los residuos 17 01 00 en CER.....	24
Tabla 3. 10:	Aplicaciones de los RCD.....	27
Tabla 4. 1:	Métodos de ensayo geométricos para la caracterización de áridos	28
Tabla 4. 2:	Métodos de ensayo físico- mecánicos para la caracterización de áridos	29
Tabla 4. 3:	Métodos de ensayo químicos para la caracterización de áridos	29
Tabla 4. 4:	Métodos de ensayos para la caracterización de hormigón	30
Tabla 5. 1:	Análisis granulométrico del Árido Calizo UNE 7 139.....	50

Tabla 5. 2:	Análisis granulométrico del Árido Silíceo UNE 7 139	51
Tabla 5. 3:	Coeficiente de forma UNE 7 238.....	54
Tabla 5. 4:	Coeficiente de forma prEN 933-4.....	56
Tabla 5. 5:	Contenido en finos UNE 7 135.....	57
Tabla 5. 6:	Coeficiente Los Angeles UNE 83 116 90	57
Tabla 5. 7:	Coeficiente Micro-Deval prEN 1097-1	58
Tabla 5. 8:	Densidad real de la muestra UNE 83 134 90	59
Tabla 5. 9:	Coeficiente de absorción UNE 83 134 90	59
Tabla 5. 10:	Densidad real de la muestra saturada con superficie seca UNE 83 134 90	59
Tabla 5. 11:	Contenido en compuestos de azufre UNE 83-120-88.....	60
Tabla 5. 12:	Contenidos de Cloruros UNE 83-124-90.....	61
Tabla 5. 13:	Análisis por difracción	64
Tabla 5. 14:	Análisis Químicos.....	65
Tabla 5. 15:	Características Físicas	65
Tabla 5. 16:	Características Mecánicas	66
Tabla 5. 17:	Determinación de Componentes.....	66
Tabla 6. 1:	Especificaciones Técnicas	67
Tabla 6. 2:	Análisis por difracción	67

Tabla 7. 1:	Resultados del ensayo de compresión a 7 días.....	72
Tabla 7. 2:	Resultados del ensayo de compresión a 14 días.....	74
Tabla 7. 3:	Resultados del ensayo de compresión a 28 días.....	75

INDICE DE FIGURAS

Figura 4. 1: Hormigonera	46
Figura 4. 2: Almacenamiento de las probetas	47
Figura 4. 3: Refrentado de las probetas	48
Figura 4. 4: Compresión de la probeta	49
Figura 5. 1: Curva granulométrica del árido calizo.....	52
Figura 5. 2: Curva granulométrica del árido silíceo	53
Figura 5. 3: Coeficiente de forma (20mm, 12,5mm, 10mm, 6,3mm y M.P). UNE 7 238	55
Figura 7. 1: Resultados del ensayo a compresión (7 días)	73
Figura 7. 2: Resultados del ensayo a compresión (14 días)	74
Figura 7. 3: Resultados del ensayo a compresión (28 días)	75

RESUMEN

El presente proyecto tiene por objeto, determinar la viabilidad técnica, del empleo de áridos reciclados a partir de Residuos de Construcción y Demolición (ladrillo, hormigón), para la fabricación de hormigones.

Para ello, se han analizado las distintas propiedades de los áridos, tanto naturales tipo calizo y silíceo, como reciclados. Dichas propiedades han sido estudiadas de acuerdo a la normativa UNE.

Una vez analizadas las propiedades, se procede a la fabricación del hormigón, mezclando áridos naturales y reciclados, según las dosificaciones teóricas y prácticas ya calculadas, con el fin de obtener la mezcla óptima que proporcione las mejores características a las propiedades del hormigón; tratando de cumplir de esta manera con la normativa vigente.

“ABSTRACT”

The objective of this project, is to determine the technical feasibility of the employment of recycled arid to fabricate concretes from construction and demolitions scraps (bricks, concretes).

In that order, the various properties of arid have been analyzed from natural type, silicon and limestone to recycled types. These properties have been studied, according to the UNE norms.

Once the properties are analyzed, the fabrication of the concrete is carried over by mixturing natural and recycled arid, according to previously calculated theoretical and practical doses. The end is to achieve the optimum mixture, able to provide the best properties to the concrete, trying to meet the current normative.

SÍNTESIS DEL TRABAJO

El aumento de la población, lleva consigo un incremento en la generación de desechos y un mayor consumo de materias primas, que a largo plazo deterioran el ambiente. La conservación del medio ambiente se ha vuelto un objetivo común en el ámbito mundial, donde se han involucrado gran cantidad de países.

Esta preocupación ha iniciado una serie de investigaciones y toma de medidas cautelares, para lograr un desarrollo sustentable. Entre estas investigaciones, se encuentra la del estudio de nuevos métodos y técnicas que permitan la reutilización de materias primas; de este modo surge el tema del reciclaje de productos.

El área de la construcción genera enormes cantidades de desechos, conocidos como Residuos de Construcción y Demolición (RCD), bien sea provenientes de nuevas construcciones o por remodelaciones de edificaciones antiguas. En España esta actividad ha crecido de manera exponencial en los últimos años, agotando los yacimientos mineros y generando grandes volúmenes de desechos, que ocupan enormes áreas.

Una solución para evitar la constante generación de desechos y el agotamiento de los recursos minerales, podría ser utilizar los RCD, como árido grueso para la fabricación del hormigón.

Por el momento se recicla una cantidad muy limitada de RCD, la mayoría se deposita o se usa como relleno, sin dar los pasos necesarios para evitar la contaminación medioambiental. Desde que las cantidades de residuos de construcción se incrementan constantemente, existen muchas razones económicas, ambientales y técnicas para centrarse en el desarrollo de cuotas más altas de reciclaje.

Desde un punto de vista puramente económico, el reciclaje de los RCD resulta solamente atractivo cuando el producto reciclado es competitivo con las materias primas en relación al costo y calidad. Los materiales reciclados serán normalmente competitivos donde exista falta de materias primas y lugares de vertido adecuados, siempre y cuando su calidad cumpla con la normativa vigente.

Con el uso de los materiales reciclados, se pueden obtener grandes ahorros en el transporte de residuos de la construcción y materias primas. Esto se nota especialmente en el desarrollo urbano o en proyectos de reconstrucción donde se reúnen la demolición y la nueva construcción, y donde es posible reciclar una gran cantidad de residuos de la construcción en el mismo lugar de trabajo o en proximidades.

La gestión de los RCD, presenta en la actualidad un panorama muy diverso en función del ámbito geográfico que se trate. En general, son los países que poseen una mayor tradición en el planteamiento estratégico de los temas medioambientales y aquellos en los que algunas de las materias primas utilizadas en el sector de la construcción (áridos) son bienes escasos, los que han adoptado las principales iniciativas tendentes a regular dicha gestión, haciendo especial hincapié en las posibilidades de reutilización, reciclado y/o generación en materiales secundarios.

En un trabajo realizado anteriormente por el Profesor Jose Luis Parra, de la Universidad Politécnica de Madrid, se llegó a la conclusión que el árido reciclado podría llegar a ser usado no sólo para la fabricación del hormigón, sino en otros usos de obra civil, siempre y cuando cumpliera con la normativa vigente, y sus costos fueran menores a los del hormigón fabricado con áridos naturales.

Siguiendo con esos estudios realizados, se pretende conocer la viabilidad técnica del uso de otros RCD para la fabricación del hormigón, partiendo de diferentes

mezclas de componentes, con el fin de obtener la mezcla idónea que proporcione la mejor calidad al hormigón, según las normas vigentes.

El presente Proyecto Fin de Carrera, se divide en 3 etapas principales, las cuales son las siguientes:

En una primera etapa, se procede a la caracterización de los áridos naturales, tipo calizo y silíceo, con ensayos geométricos, químicos, físicos y mecánicos. Así como también ensayos de difracción de rayos X y ensayos petrográficos. Con la finalidad de conocer la naturaleza de los mismos y determinar elementos componentes que reaccionen negativamente ante el cemento.

La segunda etapa, consiste en caracterizar los áridos reciclados, provenientes de los RCD, a partir de los ensayos nombrados anteriormente.

Por último existe una tercera etapa, donde se realiza la preparación y caracterización de los hormigones. La fabricación del hormigón y posterior elaboración de las probetas, se realizó con una mezcla de áridos reciclados y naturales, de acuerdo con las dosificaciones teóricas y prácticas, determinadas en el citado trabajo de Parra y por la empresa Valenciana de Cementos.

Una vez fabricadas las probetas, se procede a la realización de los ensayos de caracterización, que en este caso, se refiere a los ensayos de resistencia a la compresión, según UNE 83-304-84, contemplados en la normativa vigente, con la finalidad de conocer su factibilidad técnica, en el uso de obras civiles.

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE
INGENIEROS DE MINAS

PROYECTO FIN DE CARRERA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
GEOLÓGICA

**APLICABILIDAD DE ÁRIDOS RECICLADOS
PARA FABRICACIÓN DE HORMIGONES**

DOCUMENTO N°1: MEMORIA

RENÉ JOSÉ ABREU LINARES

NOVIEMBRE-2002

1 OBJETIVOS Y ALCANCE

El objetivo general del presente proyecto es:

- Conocer la aplicabilidad de áridos reciclados para la fabricación de hormigón

Los objetivos específicos son:

- Estudiar las características de los componentes de hormigones preparados con áridos reciclados dosificados con áridos naturales de tipo calizo.
- Comprobar cómo afectan estas características a las propiedades de dichos hormigones.
- Verificar cómo afecta a las propiedades de dichos hormigones la dosificación con áridos naturales de tipo silíceo.

El alcance del proyecto llega hasta determinar la proporción de mezcla óptima de áridos reciclados dosificados o sin dosificar con áridos naturales tipo calizo ó silíceo, que cumpla con las especificaciones contempladas en la normativa para la fabricación de un hormigón.

2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El sector de la construcción, es uno de los más importantes para la economía de cualquier país. En el caso de España, este sector ha experimentado un desarrollo de grandes proporciones, debido a la gran cantidad de obras realizadas y a otras en proyección.

Sin embargo este sector que proporciona “desarrollo” a las ciudades, a su vez genera gran cantidad de desechos conocidos como Residuos de Construcción y Demolición (RCD).

En España, la construcción genera aproximadamente unos veinte (20) millones de metros cúbicos de residuos al año, donde más del 90% terminan en escombreras, muchas de ellas sin ningún tipo de control, y menos del uno (1) por ciento es reciclado.

Alarmado por esta situación, el Ministerio del Medio Ambiente, decretó la entrada en vigor del nuevo Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición (PNRCD), que establece unos ambiciosos objetivos para los próximos años en lo referente al porcentaje (%) de material reutilizado; se pretende llegar hasta un noventa (90) por ciento de RCD reciclados en los próximos seis (6) años, llegando a un cuarenta (40) por ciento de reciclaje en el año 2005 y a un sesenta (60) por ciento en el año 2006, para lo cual el PNRCD prevee fomentar la instalación de plantas de tratamiento y la realización de estudios técnicos, que permitan avanzar en las tecnología del reciclaje.

Por otro lado, el sector de los áridos representa actualmente una de las actividades mineras mas importante de España, puesto que existen gran número de canteras que extraen millones de toneladas de mineral con el fin de cumplir con las demandas del mercado. Sin embargo, la extracción de áridos, genera una serie de impactos ambientales, que impiden su instalación cerca de zonas habitadas, así pues, junto a la gran demanda existente en el mercado también existe una serie de limitaciones en lo referente a la apertura de nuevas canteras;

de manera tal que los áridos han pasado a considerarse materia prima con carácter agotable.

Todos estos problemas, junto con la necesidad de lograr un desarrollo sustentable, han permitido la aparición de nuevas alternativas, como por ejemplo la relativa al reciclaje de áridos. La reutilización de productos permite obtener beneficios ambientales, económicos y sociales, que contribuyen a mejorar el nivel de vida de las ciudades.

Por todo lo anteriormente expuesto, este Proyecto Fin de Carrera busca determinar la viabilidad técnica y económica de utilizar áridos reciclados, para la fabricación de hormigones, y tratar de este modo lograr aumentar el porcentaje (%) de reutilización de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD).

3 ANTECEDENTES

3.1 ÁRIDOS PARA HORMIGONES

3.1.1 Generalidades

Los áridos son conjuntos de granos rocosos de muy diversos tamaños, que se utilizan para la fabricación de productos artificiales resistentes, bien sin aglomerar o bien mediante su mezcla íntima con materiales aglomerantes de activación hidráulica (cal, cemento) o ligantes bituminosos.

Estos materiales son la parte más importante en la fabricación del hormigón, esto debido a que aproximadamente constituyen el ochenta por ciento (80 %) en volumen de la masa del hormigón; por lo que en muchos casos inciden en sus características contribuyendo entre otras cosas, a reducir su retracción y fluencia a límites que hacen posible su empleo.

En el caso de los áridos utilizados para la fabricación del hormigón, suele ser habitual la existencia de una norma que contenga no solo las especificaciones exigibles a dichos áridos, si no también los diferentes métodos de ensayo que han de seguirse para su caracterización. En España existe la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE), artículo N°28, que regula cuales deben ser las especificaciones que deben cumplir los áridos destinados para este uso así como los ensayos respectivos.

3.1.2 Naturaleza y procedencia de los Áridos

Según sea su procedencia y proceso de obtención los áridos se pueden clasificar de la siguiente forma:

ÁRIDOS NATURALES

- Áridos granulares: son obtenidos básicamente de graveras que explotan esos depósitos granulares y que se usan tras haber sufrido un lavado y clasificación.

- Áridos de machaqueo: son aquellos que se producen en canteras tras arrancar los materiales de los macizos rocosos y someterlos posteriormente a una trituración, molienda y clasificación.

ÁRIDOS ARTIFICIALES

Están constituidos por subproductos o residuos de procesos industriales, como son las escorias siderúrgicas, cenizas volantes de la combustión del carbón, etc.

ÁRIDOS RECICLADOS

Son aquellos áridos procedentes del derribo o remodelación de edificaciones, también conocidos como Residuos de Construcción y Demolición (RCD).

3.2 RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD)

3.2.1 Composición de los Residuos de Construcción y Demolición

Los Residuos de Construcción y Demolición (RCD), concretamente hormigón y ladrillos, van a constituir la “materia prima” a partir de la cual se va a desarrollar este proyecto, por lo que a continuación se hace un análisis de diversos de sus aspectos con el objetivo de obtener un mayor conocimiento de las características de estos materiales y de los problemas que su presencia puede acarrear en nuestros días.

En lo que se refiere a la composición de los RCD, en la tabla 3.1 se presentan algunos datos relativos a los países de los que se dispone de información más fiable al respecto. Se puede observar en la tabla 3.1, que el mayor porcentaje de RCD, lo constituyen el hormigón y las fábricas diversas (ladrillo, bloque), seguidas por la materia granular.

Por el contrario, la madera puede ser significativa en obras de demolición de edificios industriales y ciertas estructuras ligadas a obras civiles, los productos bituminosos se limitan prácticamente a obras de reparación o ampliación de carreteras y los plásticos aparecen particularmente en obras de demolición de

viviendas más recientes o de construcción de nuevas.

Tabla 3. 1: Composición de los residuos de construcción y demolición en diversos países (% en peso)

FRACCIÓN	ALEMANIA (1)	DINAMARCA (2)	HOLANDA	REINO UNIDO (3)
Hormigón	34	40	44	50
Fábricas	32	52	27	40
Materia Granular	-	-	20	-
Fracciones Mezcladas	-	-	3,4	-
Tejas	-	-	0,6	-
Madera	13	8	2,3	1
Metales	-	-	1,4	0,3
Productos Bituminosos	-	-	0,2	-
Plásticos	12	-	0,3	-
Fracción Residual	9	-	0,8	8,7

(1): Composición correspondiente a Residuos de Construcción y Demolición de obras de edificación.

(2): Composición correspondiente a residuos de demolición de edificios.

(3): Composición correspondiente a residuos de demolición.

Fuente : Revista Residuos. Marzo-Abril, nº 23.1990

3.2.2 Producción de los Residuos de Construcción y Demolición

La cuantificación del volumen de producción de los RCD, al igual que pasa con la composición, todavía se enfrenta al problema de la falta de datos o estadísticas fiables en muchos países, lo que ha obligado hasta el momento (salvo en casos

contados) a manejar estimaciones efectuadas a través de cálculos indirectos o basados en muestras de limitada representatividad.

Por otra parte, existen diversos factores que influyen claramente en el volumen y composición de los RCD generados en un determinado momento y ámbito geográfico. Entre ellos cabe destacar los siguientes:

- Tipo de actividad que origina los residuos: construcción, demolición o reparación/rehabilitación.
- Tipo de construcción que genera los residuos: edificios residenciales, industriales, de servicios, carreteras, obras hidráulicas, etc.
- Edad del edificio o infraestructura que determina los tipos y calidad de los materiales obtenidos en los casos de demolición o reparación.
- Volumen de actividad en el sector de la construcción en un determinado período, que afecta indudablemente a la cantidad de RCD generados.
- Políticas vigentes en materias de vivienda, que condicionan la distribución relativa de las actividades de promoción de nuevas construcciones y rehabilitación de existentes o consolidación de cascos antiguos.

3.2.2.1 Datos europeos

A continuación se resumen algunos de los datos disponibles en lo referente a la producción de RCD en varios países de la Unión Europea (UE). La disponibilidad de datos desglosados por orígenes de los residuos es muy reducida por lo que, mientras no se indique lo contrario, las cifras corresponden al conjunto de los RCD producidos.

Como puede deducirse de la tabla 3.2 la fiabilidad de las cifras expresadas varía ampliamente de un país a otro, lo cual refleja en una buena medida los diferentes niveles de atención que los gobiernos y empresas privadas del sector prestan a este tema en los distintos ámbitos considerados. A este respecto, los valores

estimados para Alemania, Dinamarca, Holanda y Reino Unido son los que cuentan con un mayor respaldo, siendo por otra parte estos países los que han profundizado más en la materia.

Tabla 3. 2: Producción de RCD en los países de la UE

PAÍS	PRODUCCIÓN (miles T.)	PRODUCCIÓN PER CÁPITA (Kg./hab./año)	OBSERVACIONES
Alemania	53.000	880	Sólo antigua RFA
Bélgica	7.000	700	(1)
Dinamarca	6.500	1.275	
España	11.000	285	(2)
Francia	30.400	580	Datos de 1978
Grecia	N.D	N.D	
Holanda	14.000	940	
Irlanda	400	110	(1)
Italia	2.750	50	Datos de 1977 (3)
Luxemburgo	48	185	Datos de 1976 (3)
Portugal	400	45	(1)
Reino Unido	50.000	900	(1)

N.D Dato no disponible

(1): No incluye tierras de excavación ni residuos de Construcción y demolición de obras públicas

(2): Sólo incluye residuos de demolición de edificios.

(3): Incluye residuos de demolición y de construcción de nuevos edificios.

Fuente: Residuos. Marzo – Abril, 1995.

Entrando en la consideración de la procedencia de los RCD, se pueden estimar, las siguientes distribuciones orientativas, correspondientes a 1990:

- Alemania: 62 % de obras de construcción, demolición y ampliación o reforma de edificios; 32 % de obras de demolición, rehabilitación o ampliación de infraestructuras.
- Dinamarca: 10 % de obras de construcción, 27 % de obras de reparación y conservación y 63 % de trabajos de demolición. Estas cifras corresponden básicamente a RCD procedentes de edificaciones, no incluyéndose los de obra pública.
- Holanda: 23 % de edificios de viviendas, 44 % de otros edificios y 33 % de obras de infraestructura.

No hay datos fiables sobre los remanentes en los países de la CEE, pero las cifras del cuadro pueden usarse para elaborar un cálculo aproximado de los RCD producidos en CEE que se estiman en 175 millones de toneladas anuales. Esto es función de una población de unos 350 millones y una media de producción de RCD de 500 kilos por habitante y año.

3.2.2.2 Datos españoles

El grupo de trabajo de la Unión Europea sobre RCD, en su informe final de abril de 1995, refleja la situación española en base a cifras orientativas de municipios que recogen y tratan los RCD. De acuerdo con las estimaciones del antiguo Ministerio de Obras Públicas y Transportes, se estima en 22 millones de toneladas anuales de producción de estos residuos. Otras fuentes dan otras cifras obtenidas teniendo en cuenta el vertido de 800 toneladas por día de escombros en el área de Madrid, 500 toneladas por día en Barcelona y 100 toneladas por día para ciudades de tamaño medio como Valencia.

Basándose en estudios de cantidades recogidas en Madrid, Barcelona y Valencia, el Grupo de trabajo citado estima que el total de estos residuos alcanza los 7,2

millones de toneladas, con 5,4 millones de toneladas correspondientes a demolición y 1,8 millones de toneladas correspondientes a la construcción.

3.3 SITUACIÓN ACTUAL DEL RECICLADO DE ÁRIDOS

3.3.1 Situación fuera de España

La gestión de los RCD presenta en la actualidad un panorama muy diverso en función del ámbito geográfico que se trate. En general, son los países que poseen una mayor tradición en el planteamiento estratégico de los temas medioambientales y aquellos en los que algunas de las materias primas utilizadas en el sector de la construcción son bienes escasos, los que han adoptado las principales iniciativas tendentes a regular dicha gestión, haciendo especial hincapié en las posibilidades de reutilización, reciclado y/o generación en materiales secundarios.

Dichos países como son Alemania, Dinamarca y Holanda, han adoptado unas políticas de reciclaje que les han permitido obtener unas tasas de reciclaje elevadas en comparación con otros países, como se puede observar en la tabla 3.3.

Tabla 3. 3: Tasas de recuperación de RCD en varios países

PAIS	AÑO	PORCENTAJE (%)
Alemania	1990	28
Dinamarca	1993	35
Holanda	1990	37

Fuente: Elaboración Propia

Las plantas de tratamiento de los RCD, junto con unas políticas de reciclaje adecuadas son pilares fundamentales para lograr una tasa de recuperación elevada, en la tabla 3.4 se puede apreciar el número de plantas de tratamiento de que disponen algunos de los países de la Unión Europea.

Tabla 3. 4: Plantas de tratamiento de RCD en la UE (1990).

PAÍS	NÚMERO DE PLANTAS	OBSERVACIONES
Alemania	>300	Incluye la antigua RDA.
Bélgica	40	El 75 % de plantas son fijas.
Dinamarca	17	7 fijas, 7 móviles y 3 semimóviles.
España	2	En Barcelona y Madrid
Francia	10	En torno a París.
Grecia	N.D	
Holanda	60	45 fijas y 15 móviles.
Irlanda	0	
Italia	5	La mayor parte son móviles.
Luxemburgo	N.D	
Portugal	0	
Reino Unido	9	3 fijas, y al menos 6 móviles.

N.D: Dato no disponible

Fuente: Residuos. Marzo – Abril, 1995.

En los Estados Unidos existían, en 1981 catorce plantas para el reciclaje de los pavimentos de hormigón hidráulico, en cambio, en América Latina, ciudades que han sufrido desastres sísmicos, no han reciclado aún sus escombros.

El reciclado de los derribos de construcción se está llevando a cabo principalmente en las regiones del Norte de la Unión Europea como Alemania, Dinamarca y Holanda, donde se está aplicando para caracterizar y definir su aptitud. Esto ha llevado a la necesidad de normalizar los métodos de ensayo y establecer los valores límites de las propiedades de los áridos reciclados que

vayan a ser utilizados.

Para la caracterización de los áridos reciclados las propiedades que hay que estudiar varían según los autores consultados.

- Alí R. Khaloo propone determinar ensayos y densidades, índice de poros y resistencia física a la abrasión.
- RILEM propone la realización de ensayos de densidades y absorción de agua, desgaste a la fragmentación de “Los Ángeles”, durabilidad, resistencia a las heladas, reacción árido-alcalí y resistencia de sulfatos.
- Mostafa Tavakoli et al, realizan ensayos de absorción de agua y “Los Ángeles”.
- Arnold van Acker analiza granulometrías, coeficiente de forma y porosidad.
- K. Yanagi realiza los ensayos de absorciones de agua y densidades, porcentajes de finos y resistencia a la fragmentación.
- Kasai trabaja con ensayos de tipo físico y también con contenido volumétrico en impurezas como plásticos, asfaltos, pinturas sintéticas, barro, etc.

De todo aquello se deduce que el número de ensayos utilizados hoy en día para la caracterización de los áridos reciclados es demasiado extenso, ya que están basados en los correspondientes para áridos naturales, además de la aplicación de los ensayos adicionales. En consecuencia, es imprescindible determinar cuáles son los ensayos que realmente van a influir en las propiedades finales de árido reciclado, en función de sus aplicaciones finales.

Es importante para lograr unas políticas de reciclaje exitosas tomar en cuenta una serie de factores, como son una correcta clasificación de los RCD y conocer la limitaciones a las actividades de aprovechamiento.

La clasificación de los RCD, se pueden realizar de la siguiente manera:

- Materiales reutilizables: constituidos fundamentalmente por piezas de acero

estructural, elementos de madera de calidad y/o recuperados en buen estado, piezas de fábricas (ladrillo, bloques), tejas y tierras de excavación.

- Materiales reciclables: constituidos fundamentalmente por metales (férreos y no férreos), plásticos y vidrio. Estas fracciones, en la medida que pueden recuperarse libres de impurezas, son susceptibles de incorporarse al mercado del reciclado para dar lugar a los mismos o similares productos que originaron el residuo.
- Materiales destinados a la fabricación de productos secundarios: aparte de los metales., plásticos y vidrio que, además de reciclarse se pueden destinar a este fin, son fundamentalmente los materiales pétreos, cerámicos, hormigón y pavimentos bituminosos los que pueden dedicarse a la fabricación de productos secundarios.

Si bien es difícil evaluar la proporción de los materiales contenidos en los RCD que realmente se aprovecha, cabe estimar que la práctica totalidad de los metales no férreos (especialmente cobre, plomo, zinc y aluminio) son recuperados para su reciclado. En cuanto a los metales férreos (acero), sólo piezas fácilmente accesibles se recuperan, siendo todavía poco significativa la tasa de recuperación de acero del hormigón armado.

Además de saber clasificar los RCD, también es necesario conocer las limitaciones y obstáculos con los que habitualmente se encuentran las actividades de recuperación, reutilización y reciclado. Entre ellos cabe destacar los siguientes:

- Condiciones de carácter técnico.
- Condicionantes de tipo normativo o legislativo.
- Condicionantes impuestos por el mercado de productos recuperados.
- Condicionantes ligados a los costos de transportes.

Por último para finalizar con la situación actual del reciclaje de áridos fuera de

España, vale la pena nombrar uno de los casos más significativos de gestión inteligente de reciclaje; como es el caso de la capital danesa, Copenhague. Este municipio decidió reducir el impacto físico ocasionado por la acumulación de escombros, y tomó las siguientes medidas:

- Multiplicar el canon de vertido no clasificado en un 400%, pasando de 40 coronas/ton (1990) a 195 coronas/ton (1992).
- Reducir el canon para residuo combustible depositado en incineradoras con recuperación energética.
- Suprimir áreas de recepción extensivas, reestructurando y diversificando el sistema de recogida.
- Bonificación a empresas que reutilicen material de demolición en nueva obra, reduciendo el impuesto municipal sobre construcciones.

Estas medidas ejercieron un efecto inmediato en las estadísticas de tratamiento de escombros, según los servicios municipales que gestionan esta área, como se puede apreciar en la tabla 3.5. Que en términos económicos supone, además un valor del material reciclado, un ahorro de 700.000 litros de gasoil (en concepto de no transportar 22 millones de ton/Km.) y la producción de 90.000 Mwh (en concepto de energía originada en plantas incineradoras, equivalentes al consumo anual de 20.000 viviendas).

Tabla 3. 5: Tratamiento de los escombros

AÑO	RECICLADO (%)	INCINERADO (%)	VERTIDO (%)	INCONTROLADO (%)
1998	11	0	59	30
1992	60	9	1	30

Fuente: elaboración propia

3.3.2 Situación en España

El proyecto denominado “reciclado de escombros de demolición para la fabricación de cemento y hormigón” cuyo líder es la empresa española Lemona Industrial, S.A., del grupo Cementos Lemona, fue presentado al programa de la Unión Europea Brite/Euram incluido en el IV Programa Marco y estuvo entre los 140 proyectos que obtuvieron la máxima calificación A1 entre los más de 1.200 presentados, y ha sido considerado prioritario por la Dirección General XII, Ciencia, Investigación y Desarrollo. En dicho proyecto también han participado LBEIN junto con Philipp Holzmann, Prüftechnik IFEP GmbH, Bundesanstalt für Materialforschung und-Prüfung, Building Research Establishment y Taywood Engineering Limited, prestigiosas empresas y centros de investigación de la Unión Europea.

Se trata, de un proyecto de investigación con un importante carácter medio ambiental, con el que se dará paso hacia delante en la reducción de vertidos de residuos inertes, y tiene por objetivo desarrollar dos líneas de investigación diferentes: el empleo de escombros de demolición para fabricación de hormigones de calidad y el empleo de fracciones finas y escombros de demolición para producción de clinker.

Con ello se pretende investigar y desarrollar la tecnología de valoración y reciclado de un 100% del residuo. Teniendo en cuenta que en Europa está ya presente el principio de priorizar la recuperación, valorización y reciclado de los residuos, siempre que esto sea posible, se conseguiría un gran avance para desarrollar otras tecnologías de fabricación que eliminen residuos.

El proyecto Europeo “Desarrollo de reciclado de material de demolición” de 1993 indica que el sector de la demolición en España produce 13,5 millones de toneladas de materiales reciclados se destina principalmente para presas y rellenos.

En España existe un Comité de Normalización de áridos creado en el año 1993

denominado Comité de Normalización de todo tipo de áridos, incluido los de origen reciclados. Dentro del mismo se encuentran trabajando seis subcomités, cinco de ellos dedicados a las especificaciones para distintas aplicaciones y uno centrado en el desarrollo de la metodología de los ensayos; este último se coordina desde el LOEMCO.

La consecución de un marco normativo para el empleo de los áridos reciclados, dentro de las pautas previstas en la Directiva de Productos de la Construcción, ya traspuesta a la legislación española, hará mas extensible y segura su utilización.

En el año 1996 se ha creado el grupo de trabajo “ad hoc” específico sobre áridos reciclados en el cual el Laboratorio Oficial para Ensayo de Materiales de Construcción (LOEMCO) ha participado desde su creación, correspondiéndole la coordinación, en colaboración con LABEIN, del Subgrupo de propiedades geométricas, mecánicas y físicas.

Actualmente se está recopilando información acerca de las definiciones de áridos reciclados según diversas normativas existentes, así como la clasificación, especificaciones y condiciones a cumplir por dichos áridos según RILEM, y las diversas normativas. Se está elaborando en estos momentos, un documento normativo de áridos reciclados que incluya toda la información disponible hasta el momento.

En Sabadell (Barcelona), existe el Gremio de Entidades del Reciclado de Derribos (GRED), que es una asociación de empresas con inversiones y dedicación exclusiva o preferente a la gestión del reciclaje y comercialización de las fracciones y componentes valorizables de los residuos de la construcción.

Por esto, en Cataluña se han creado distintos puntos de recogida de residuos procedentes de la construcción, básicamente en el entorno de la zona metropolitana de Barcelona, donde el productor de residuos puede depositarlos de forma controlada, para su posterior tratamiento mediante plantas móviles de triturado y cribado, con las que se obtienen materiales adecuados para subbases

de carreteras, explanadas mejoradas, prefabricados de hormigón y arenas aptas para labores de jardinería. A estos puntos de recogida se les llama Centros de Transferencia.

En la actualidad disponen de estructura legal, técnica y económica adecuada para triturar y comercializar entre el 12 % y el 15 % del escombros producido, que alcanzará un volumen entre 200.000 y 250.000 toneladas al año.

Hay que destacar en esta dirección, los trabajos realizados por el ITEC y la Junta de Residuos de la Generalitat de Catalunya sobre una "Propuesta de norma para la utilización de áridos provenientes de machaqueo de restos de construcciones".

En la Universidad Politécnica de Cataluña, se viene realizando amplias investigaciones sobre la caracterización y aplicaciones de los áridos reciclados. El programa de investigaciones se efectúa empleando mezclas con distintos porcentajes de árido grueso reciclado y árido natural. Se ha estudiado también la presencia de contaminantes y la obtención de mezclas de productos reciclados de diversos materiales, como cauchos y productos bituminosos.

Hasta el momento, se ha podido experimentar en varios tramos de carreteras cuyas subbases se han realizado con áridos reciclados. Así mismo, se pondrá muy pronto a experimentar un tramo de una carretera de la red nacional para estudiar cómo afecta el tráfico intenso a los firmes construidos con estos materiales.

En la villa Olímpica de Barcelona se utilizaron en los años 1991-1992 áridos reciclados procedentes de demoliciones próximas en las bases y subbases. Este árido se producía en la planta de reciclaje instalada en el propio puerto.

Paralelamente a estas experiencias, existen empresas que están comenzando a comercializar árido reciclado para diversos usos. Así, en el grupo "ad-hoc" del comité CTN 146 se integra TEC-REC, un grupo empresarial madrileño dedicado a la recuperación en su propia planta de materiales de desecho de la construcción como pueden ser áridos, hormigón, ladrillos, etc.

3.4 NORMATIVA SOBRE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN

3.4.1 Normativa Europea

La Directiva 75/442/CEE constituye el marco legislativo de la política comunitaria en materia de gestión de residuos. Esta directiva, en vigor desde 1977, fue modificada en 1991 en la Directiva del Consejo 91/156/CEE, para adaptarla a las nuevas circunstancias y para incorporar los principios rectores de la estrategia comunitaria de gestión de residuos de 1989, a saber: la prevención, la valorización y la eliminación final.

La directiva contiene los elementos más importantes sobre los que se basa la política comunitaria de gestión de residuos, en particular:

- Una definición de residuos.
- Una clasificación de los residuos en la lista que establece la decisión 94/3/CEE de la Comisión.
- El establecimiento de una terminología común acerca de los actores y acciones que actúan sobre los residuos.
- La indicación de un orden de prioridades que debe seguir toda la política de gestión de residuos.
- La consagración de los principios de proximidad y de autosuficiencia, que se aplican a los residuos destinados a eliminación final, así como la previsión de una red integrada y adecuada de instalaciones de eliminación.
- La obligación por parte de los Estados miembros de establecer planes de gestión de residuos, herramientas esenciales para la realización de esta política.
- El establecimiento de un procedimiento de autorización obligatoria para toda

empresa que lleve a cabo operaciones de eliminación o de valorización, así como de un sistema de registro y de control periódico de estas operaciones.

Con arreglo a la Directiva 91/156/CEE, se entiende por residuo “cualquier sustancia u objeto perteneciente a una de las categorías que se recogen en su Anexo I (categorías de residuos) y del cual su poseedor se desprenda o del que tenga la intención o la obligación de desprenderse”.

En la tabla 3.6 se indican las categorías de residuos del Anexo I de la Directiva 91/156/CEE.

En aplicación del párrafo 2º de la letra a) del artículo I, la comisión adoptó la Decisión 94/3/CE, denominada Catálogo Europeo de Residuos (CER). El CER (tabla 3.7), es una lista armonizada y no exhaustiva de residuos, es decir, una lista que será revisada periódicamente y, cuando sea necesario, modificada.

Tabla 3. 6: Categoría de Residuos

CODIGO	CATEGORÍAS DE RESIDUOS
Q1	Residuos de producción o de consumo no especificados a continuación.
Q2	Productos que no responden a las normas.
Q3	Productos caducados.
Q4	Materias que se han vertido por accidente, que se han perdido o que han sufrido cualquier otro incidente con inclusión del material, del equipo, etc., contaminado.
Q5	Materias contaminadas o ensuciadas a causa de actividades voluntarias.
Q6	Elementos inutilizables (por ejemplo, baterías fuera de uso, catalizadores gastados,etc).
Q7	Sustancias que han pasado a ser inutilizables.
Q8	Residuos de procesos industriales.

CODIGO	CATEGORÍAS DE RESIDUOS
Q9	Residuos de procesos anticontaminación.
Q10	Residuos de mecanización.
Q11	Residuos de extracción y preparación de materias primas
Q12	Materia contaminada.
Q13	Toda materia, sustancia o producto cuya utilización esté prohibida por la ley.
Q14	Productos que no son de utilidad o que ya no tienen utilidad para el poseedor.
Q15	Materias, sustancias o productos contaminados procedentes de operaciones de regeneración de terrenos.
Q16	Toda sustancia, materia o producto que no esté incluido en las categorías anteriores

Fuente: Anexo I de la Directiva 91/156/CEE.

Tabla 3. 7: Índice del Catálogo Europeo de Residuos (CER).

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN DE LOS RESIDUOS
01 00 01	Residuos de la prospección, extracción, preparación y otros tratamientos de minerales y canteras.
02 00 00	Residuos de la producción primaria agrícola, horticultura, caza, pesca y acuicultura, de la preparación y elaboración de alimentos.
03 00 00	Residuos de la transformación de la madera y de la producción de papel, cartón, pastas de papel, tableros y muebles.
04 00 00	Residuos de la industria textil y de la piel.
05 00 00	Residuos del refinado de petróleo, purificación del gas natural y tratamiento pirolítico del carbón.
06 00 00	Residuos de procesos químicos inorgánicos.
07 00 00	Residuos químicos orgánicos
08 00 00	Residuos de la formación, fabricación, distribución y utilización de revestimientos y tintas de impresión.
09 00 00	Residuos de la industria fotográfica.
10 00 00	Residuos inorgánicos de procesos térmicos.
11 00 00	Residuos inorgánicos que contienen metales procedentes del tratamiento.
12 00 00	Residuos del moldeo y tratamiento de superficie de metales plásticos
13 00 00	Aceites usados (excepto aceites comestibles y las categorías 05 00 00 y 12 00 00)
14 00 00	Residuos de sustancias orgánicas utilizadas como disolventes (Excepto las categorías 07 00 00 y 08 00 00)
15 00 00	Embalaje, absorbentes, trapos de limpieza, materiales de filtración y ropas de protección (no especificados en otra categoría).
16 00 00	Residuos no especificados en otra categoría del catálogo.
17 00 00	Residuos de construcción y demolición (incluyendo construcción de

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN DE LOS RESIDUOS
	carreteras).
18 00 00	Residuos de servicios médicos o veterinarios y/o de investigación asociada.
19 00 00	Residuos de instalaciones para el tratamiento de residuos, planta de tratamiento de aguas residuales e industria del agua.
20 00 00	Residuos municipales y residuos asimilables procedentes del comercio, industria e instituciones incluyendo fracciones recogidas selectivamente

Fuente: Decisión de la Comisión 94/3/CEE

Como se ve en la tabla anterior, los RCD están clasificados según la normativa europea con el código 17 00 00, siendo su subdivisión la que recoge la tabla 3.8.

Tabla 3. 8: Clasificación de los Residuos de Construcción y Demolición en CER

17 01 00	Hormigón, ladrillos, tejas, materiales cerámicos y materiales derivados del yeso.
17 02 00	Madera, vidrio, plástico.
17 03 00	Asfalto, alquitrán y otros productos alquitranados.
17 04 00	Metales incluyendo sus aleaciones.
17 05 00	Suelo y lodos de drenaje.
17 06 00	Materiales de aislamiento.
17 07 00	Residuos de construcción y demolición mezclados.

Fuente : Decisión de la comisión 94/3/CEE

Dentro de todos los RCD, aquellos que son objeto de este proyecto se encuentra dentro del código CER 17 01 00, cuya subdivisión es la que recoge la tabla 3.9, ya que a él pertenecen tanto el hormigón, con código 17 01 01, como los ladrillos, de código 17 01 02.

Tabla 3. 9: Clasificación de los residuos 17 01 00 en CER

17 01 01	Hormigón
17 01 02	Ladrillos
17 01 03	Tejas y materiales cerámicos.
17 01 04	Materiales de construcción derivados del yeso.
17 01 05	Materiales de construcción derivados del amianto

Fuente: Decisión de la Comisión 94/3/CEE

3.4.2 Normativa Española

3.4.2.1 Resolución de 14 de Junio del 2002, por la que se aprueba el Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición (PNRCD) 2001-2006

Esta resolución, la última disposición oficial relativa a este tema en España, constituye probablemente la referencia más válida en la actualidad, por ser la que recoge el espíritu de toda la legislación anteriormente expuesta y la desarrolla, teniendo en cuenta las particularidades de este tipo de residuos.

Al tratarse de un plan de actuación quinquenal, no se limita al enunciado de medidas orientativas o reflexiones generales, sino que establece disposiciones concretas sobre el modo de operar en este campo, plantea unos objetivos definidos sobre su objeto de actuación y delimita el papel de los distintos agentes involucrados en su desarrollo.

Dichos objetivos, han sido calificados de forma generalizada en las últimas jornadas técnicas de ambiciosos. Entre ellos, por ser los más relacionados con el objeto del presente Proyecto, se pueden destacar los siguientes:

- Recogida controlada y correcta gestión ambiental de un mínimo del 90% de los RCDs en el año 2006.

- Reciclaje o reutilización de un mínimo de un 40% de los RCDs en el año 2005.
- Reciclaje o reutilización de un mínimo de un 60% de los RCDs en el año 2006.
- Valoración del 50 % , como mínimo, de los residuos de envases de materiales de construcción antes del 31 de Diciembre del 2001, de los cuales se reciclará al menos, el 25 %.
- Recogida selectiva y correcta gestión ambiental de, al menos 95 % de los residuos peligrosos contenidos en los residuos de construcción y demolición en el año 2002.
- Adaptación de los actuales vertederos de escombros a las nuevas exigencias de la Directiva Europea de Vertedero, antes del 2005.
- Identificación de las áreas degradadas (canteras, minas) susceptibles de ser restauradas mediante los residuos de construcción y demolición y determinación de las condiciones técnicas y ecológicas aceptables para ello.
- Clausura y restauración ambiental de los vertederos no adaptables a la Directiva antes del 2006.

Asimismo, establece una serie de instrumentos que permiten hacer realidad estas intenciones, entre los que se incluyen de forma destacada el avance en el campo normativo, así como las ayudas a la elaboración de programas de I+ D en esta línea o a la construcción de plantas de tratamiento. Se llega incluso a proponer un presupuesto y un programa de financiación de estas inversiones. Es de destacar el papel preponderante que se da como posibles receptores de estas ayudas a las PYMES, por considerar que pueden ser los principales motores que puedan poner en práctica objetivos tan elevados, dada la situación actual, que el propio PNCRD refleja en el sentido de que la práctica totalidad de los RCDs en España son vertidos, no siempre de forma controlada.

Utilizando los datos anteriormente expuestos en cuanto a producción de RCD en

España, y considerando que la capacidad de una planta de tratamiento de tipo medio, que son las consideradas más adecuadas para zonas densamente pobladas, es de unas 200.000 toneladas/año, se precisaría la construcción de entre 50 y 90 plantas de este tipo de aquí a cinco años para poder cumplir con los objetivos de PNRC.

La perspectiva de futuro para optimizar la gestión de estos residuos, y en general de cualquier residuo sólido urbano, debe basarse en:

- Utilización de tecnologías limpias.
- Cambio en los códigos de conducta a través de programas de información sobre la preclasificación de los mismos, la recogida y el transporte.
- Prevención en la producción a través de un estudio de los productos y sus repercusiones sobre el medio ambiente.
- Recogida selectiva y recuperación de productos valorizables.

3.5 APLICACIONES PARA LOS MATERIALES RECICLADOS

Las aplicaciones más comunes, para el empleo de los RCD, son las siguientes:

- Materiales reciclados para carreteras

La aplicación más común de los materiales de desecho, demolidos del hormigón, es para carreteras. Generalmente el material demolido del hormigón es aplastado, removido y opcionalmente limpiado, finalmente es clasificado para producir árido reciclado 0 mm – 40 mm.

Las numerosas carreteras realizadas con estos materiales son suficientemente resistentes a los impactos, incluso las que tienen un tráfico pesado. Los costes para tales carreteras son generalmente más bajos comparados con la alternativa de usar materias primas crudas, o varios tipos de rellenos de escoria o de relleno asfáltico de construcción.

- Prefabricación

Se han producido vigas prefabricadas con áridos procedentes de demolición de hormigón. La experiencia parece registrar resultados contradictorios y está pendiente de investigación. En todo caso parece que el uso de áridos reciclados no introduce grandes diferencias en el comportamiento, siempre que se ajusten las relaciones árido/cemento adecuadamente.

Sin embargo, la resistencia de las vigas en el ensayo de fatiga parece decrecer en función de la finura del árido reciclado.

En la tabla 3.10, se puede apreciar un ejemplo de las posibilidades de reutilización de los RCD.

Tabla 3. 10: Aplicaciones de los RCD

APLICACIÓN	PROYECTO EJEMPLO	MATERIAL RESIDUAL
Agregados en hormigón nuevo	<ul style="list-style-type: none"> • Carreteras de hormigón. • Aeropuertos, puertos y autopistas. • Cañerías de hormigón. • Alcantarillado de hormigón. • Puentes. • Construcciones portuarias • Edificios, casas: para los cimientos, suelos, paredes. 	<p>Hormigón triturado</p> <p>“</p> <p>“</p> <p>“</p> <p>“</p> <p>“</p> <p>Hormigón /ladrillo triturado</p>
	Agregado en asfalto nuevo	<ul style="list-style-type: none"> • Materiales de base suelta en pavimentos y parques. • Pasos de bicicletas. • Pavimentos.

APLICACIÓN	PROYECTO EJEMPLO	MATERIAL RESIDUAL
	<ul style="list-style-type: none"> • Carreteras forestales. • Carreteras nacionales. • Autopistas, aeropuertos y puertos. • Garajes 	<p style="text-align: center;">“</p> <p style="text-align: center;">Asfaltos/hormigón/ladrillo triturado</p> <p style="text-align: center;">“</p>
Material de relleno	Zanjas de cables	Ladrillo/hormigón triturado.

Fuente: elaboración propia

4 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Para el estudio de caracterización de los áridos, tanto de origen natural como reciclados, para la fabricación de hormigón, se procede a realizar los siguientes ensayos, contenidos en la legislación española.

- **ENSAYOS GEOMÉTRICOS**

Tabla 4. 1: Métodos de ensayo geométricos para la caracterización de áridos

TIPO DE ENSAYO	NORMA
Análisis granulométrico	UNE 7 139
Determinación del coeficiente de forma de áridos gruesos	UNE 7 238
Determinación del coeficiente de forma (Shape Index) de áridos gruesos	prEN 933-4
Determinación de finos en áridos utilizados para la fabricación de hormigones	UNE 7 135

Fuente: Elaboración propia

- **ENSAYOS FÍSICOS Y MECÁNICOS**

Tabla 4. 2: Métodos de ensayo físico- mecánicos para la caracterización de áridos

TIPO DE ENSAYO	NORMA
Determinación del coeficiente de desgaste a la fragmentación de "Los Ángeles	UNE 83-116/90
Determinación del coeficiente de desgaste a la abrasión "Micro-Deval"	prEN 1097-1
Determinación de la densidad real de la muestra seca, coeficiente de absorción y densidad real de la muestra saturada con superficie seca	UNE 83-134/90

Fuente: Elaboración propia

- **ENSAYOS QUÍMICOS**

Tabla 4. 3: Métodos de ensayo químicos para la caracterización de áridos

TIPO DE ENSAYO	NORMA
Determinación cuantitativa de los compuestos de azufre	UNE 83-120/88
Determinación cuantitativa de cloruros	UNE 83-124/90
Determinación de materia orgánica	UNE 7082

Fuente: Elaboración propia

- **ENSAYOS DE DIFRACCIÓN DE RAYOS "X "**

- **ENSAYOS PETROGRÁFICOS**

En cuanto a la caracterización de hormigones, se utilizó el ensayo y norma de referencia que se indica a continuación en la tabla 4.4, tratando de establecer la evolución de su resistencia mecánica a distintas edades.

Tabla 4. 4: Métodos de ensayos para la caracterización de hormigón

TIPO DE ENSAYO	NORMA
Medida de resistencia a compresión	UNE 83-304/84

Fuente: Elaboración propia

4.1 DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS CARACTERIZACIÓN DE ÁRIDOS

4.1.1 Análisis granulométrico de áridos según norma UNE 7 139

4.1.1.1 Objetivo

El análisis granulométrico de un árido consiste en determinar la distribución por tamaños de las partículas que componen la muestra separándolas, de acuerdo con su dimensión media, mediante tamices adecuados y dispuestos correlativamente de mayor abertura a menor abertura de malla.

4.1.1.2 Proceso

Para la realización de los ensayos correspondientes a este proyecto se trabaja con árido grueso, es decir, aquellas fracciones que en un cribado inicial del material machacado por el tamiz número 5 UNE 7 050 (26) han quedado retenidas. Las muestras de árido grueso deben tener después de secar un peso de determinados tamaños de árido no inferior a lo especificado en la norma española UNE 7 139.

La operación de tamizado, que se realiza con los tamices normalizados indicada en la norma UNE 933-2, se efectúa por medio de movimientos laterales y verticales, de tal modo que el material se mantenga en continuo movimiento sobre la superficie del tamiz.

4.1.1.3 Expresión de resultados

Los resultados de la granulometría son representados en una gráfica semilogarítmica, en donde se representan:

- Porcentajes totales del material retenido por cada tamiz o cedazo, en escala normal.
- Tamaño de aberturas de los tamices (milímetros), en escala logarítmica.

4.1.2 Determinación del coeficiente de forma de áridos gruesos UNE 7 238

4.1.2.1 Objetivo

Con este ensayo se pretende hallar la relación entre los volúmenes de cada grano de una determinada fracción granulométrica del árido y los volúmenes que ocuparía el mismo si todos los granos fueran esferas con diámetro la dimensión mayor de cada grano.

4.1.2.2 Proceso

Para este ensayo se trabaja con muestras de las distintas fracciones de árido grueso que se vayan utilizar, en nuestro caso con treinta granos de cada una de las siguientes fracciones: 20 mm, 12,5 mm, 10 mm, 6.3mm.

El método operatorio se basa en la medida de las dimensiones mayores de una serie de granos de la misma fracción, mediante calibre o galgas apropiadas, que dan directamente los volúmenes circunscritos.

4.1.2.3 Expresión de resultados

Expresando en términos unitarios, el coeficiente de forma indica la relación existente entre el volumen real de un grano y el volumen de la esfera circunscrita al mismo y responde a la siguiente expresión matemática:

$$A = \frac{V_1 + V_2 + \dots + V_n}{\Pi / 6(d_1^3 + d_2^3 + \dots + d_n^3)} \times 100$$

en la que:

a : *coeficiente de forma*

V_i : *volumen de cada grano*

d_i : *mayor dimensión de cada grano, es decir, la distancia entre los dos planos paralelos y tangentes a ese grano que estén más alejados entre sí, de entre todos los que sea posible.*

A medida que la forma de los granos se aleje más de la esfericidad, el coeficiente de forma bajará, estando siempre sus valores comprendidos entre 1 y 0.

4.1.2.4 Especificación

El empleo de áridos gruesos con formas inadecuadas dificulta extraordinariamente la obtención de buenas resistencias y, en todo caso, exige una dosis excesiva de cemento. Por esta razón, es decir, para evitar la presencia de áridos laminares y aciculares en una proporción excesiva, se limita inferiormente el coeficiente de forma de la grava.

Esto es debido a que los áridos de estas formas dan lugar a hormigones de peor calidad puesto que estas formas no sólo influyen en las resistencias sino que, además, como ocurre en los áridos laminares, tienden a orientarse en un plano acumulado debajo de ellos el agua y aire que repercute desfavorablemente en la durabilidad de los hormigones.

El valor límite establecido por la Instrucción Técnica EHE de áridos para hormigones no es muy exigente, por lo que solo aquellos áridos que tienen una gran cantidad de granos de forma inadecuada tendrán un coeficiente inferior a 0,15 y obligarán, por tanto, a recurrir a los ensayos previos que para este caso se prescriban.

4.1.3 Determinación del coeficiente de forma (Shape Index) de áridos gruesos prEN 933-4

4.1.3.1 Objetivo

Este ensayo tiene por objetivo la determinación de partículas no cúbicas con respecto a la masa original de la muestra objeto de ensayo.

Las partículas no cúbicas son aquellas que verifican la siguiente expresión matemática:

$$\frac{L}{E} > 3$$

en la que:

L: *longitud de la partícula (la dimensión mayor).*

E: *espesor de la partícula (la dimensión menor).*

4.1.3.2 Proceso

Se prepara la muestra a ensayar de acuerdo en las cantidades especificadas por la norma prEN 933-4; en este proyecto se trabajará con las fracciones de 16 mm y 8 mm.

A continuación, con ayuda de un calibre se mide la longitud y, a continuación el espesor y las partículas que pasen a través de la ranura del espesor se considerarán no cúbicas desechándose el resto.

4.1.3.3 Expresión de resultados

El resultado se expresa según la siguiente expresión matemática:

$$SI = \frac{M_2}{M_1} \times 100$$

en la que:

Sl: coeficiente de forma "europeo" expresado en tanto por ciento.

M₂: masa de las partículas no cúbicas (g).

M₁: masa de la muestra ensayada (g).

4.1.3.4 Especificación

Según Calvo et al (1995) existe, una correspondencia de la especificación española de coeficiente de forma en áridos gruesos para hormigones definida en la Instrucción Técnica EH-91, vigente en aquel momento (valor superior a 0,15), con el proyecto de norma europeo, en el sentido de aceptar los áridos gruesos, de granulometría superior a 8 cm, con un porcentaje máximo de partículas no cúbicas no inferior al 40 % - 42 %.

4.1.4 Determinación de finos de áridos utilizados para fabricación de hormigones según UNE 7 135

4.1.4.1 Objetivo

Este ensayo tiene por objeto describir un método para determinar la cantidad total de finos, entendiendo por tales aquellos que pasan a través de un tamiz 0,08 de la serie UNE-EN 933-2, existentes en los áridos utilizados en la fabricación de hormigón.

4.1.4.2 Proceso

Una vez que ha sido conseguida la suspensión de las partículas finas de las muestras por una agitación vigorosa, se consigue mediante lavados y tamizados sucesivos la determinación del material que ha sido retenido por el mencionado tamiz una vez que ha sido desecado el árido hasta masa constante.

4.1.4.3 Expresión de los resultados

Los resultados obtenidos se expresan como porcentaje de material fino que contiene el árido con arreglo a la siguiente expresión:

$$\% \text{ FINOS} = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100$$

en la que:

% FINOS : contenido en finos expresado en tanto por ciento.

m₁: masa de la muestra original (seca) (g).

m₂: masa del material lavado (g)

4.1.4.4 Especificación

Cuando se trabaja con áridos gruesos para hormigón, la cantidad de finos que pasa por el tamiz 0,080 de la serie UNE 7 050 ha de ser, según la especificación de áridos para hormigones, inferior o a lo sumo igual a un 1 %, pudiendo admitirse hasta un 2 % si se trata de áridos procedente del machaqueo de rocas calizas.

4.1.5 Determinación del coeficiente de desgaste “Los Ángeles” según UNE 83-116-90

4.1.5.1 Objetivo

Cuando los áridos van a utilizarse en obras en las que el hormigón va a estar sometido a desgaste o a impacto, es importante conocer la tenacidad de los mismos y su resistencia al impacto.

Uno de los métodos mas empleados es el ensayo “Los Ángeles”. Con él se determina la resistencia a la fragmentación por choque de los áridos gruesos empleados en la confección de hormigón y es de aplicación a áridos tanto naturales como artificiales.

El ensayo “Los Ángeles” es muy útil debido a que da una buena correlación, no sólo con el desgaste por fragmentación del árido en el hormigón sino también con la resistencia a compresión del mismo.

4.1.5.2 Proceso

La muestra es un árido limpio representativo del material a ensayar desecado en estufa a una temperatura comprendida entre 105°C y 110°C hasta masa constante.

Para provocar el desgaste, junto con la muestra habrá unas esferas de acero que actuarán como carga abrasiva.

La máquina para el ensayo de desgaste “Los Ángeles” es un cilindro con un entrepaño que consigue el giro de manera uniforme de la muestra y de la carga abrasiva.

La dosificación granulométrica de la muestra, la masa y número de las esferas de acero, la velocidad y tiempo de giro del cilindro tienen unos valores especificados en la normativa UNE 83-116-90 y que son función del tipo de granulometría del árido.

4.1.5.3 Expresión de resultados

El resultado del ensayo recibe el nombre de coeficiente de desgaste “Los Ángeles” y es la diferencia entre la masa original de la muestra y la masa de esta misma muestra al final del ensayo, expresada como tanto por ciento de la masa original por lo que responde a la siguiente expresión matemática:

$$\% \text{ L.A} = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100$$

en la que:

% L.A: coeficiente de desgaste “Los Ángeles” expresado en tanto por ciento.

m_1 : masa *inicial* (g).

m_2 : masa *ensayada* (g).

4.1.5.4 Especificación

Las especificaciones EHE de áridos para hormigones establece un máximo valor del coeficiente de “Los Ángeles” del 40 % para asegurar una adecuada resistencia a la fragmentación.

4.1.6 Determinación del coeficiente de friabilidad Micro-Deval según la prEN 1097-1

4.1.6.1 Objetivo

Este ensayo define un método para medir la resistencia al desgaste por abrasión de los áridos de origen natural o artificial, utilizados en la fabricación de hormigones para la edificación y las obras públicas. Consiste en medir la evolución granulométrica de los mismos, producida en un cilindro en rotación y en condiciones bien definidas por abrasión, con ayuda de una carga de bolas y en presencia de agua.

4.1.6.2 Proceso

La muestra es el árido que ha sido tamizado y retenido entre los tamices 10 mm y 14 mm una vez que se ha secado en estufa a 105°C hasta masa constante.

Para provocar el desgaste en el aparato Micro – Deval se introducirá junto con la muestra una carga de bolas de acero y agua que actuará como carga abrasiva.

El aparato Micro-Deval se compone de cuatro cilindros de chapa de acero inoxidable sin ninguna rugosidad en su interior y una junta colocada en la tapadera asegura la estanqueidad. Los cilindros se ponen en rotación mediante dos árboles horizontales sobre los cuales se fijan mediante manguitos de cauchos.

Una vez que ha pasado el tiempo necesario se descarga la totalidad del contenido del recipiente, se lava al chorro de agua y se pesa una vez seco el conjunto de los rechazos sobre el tamiz de 1,6 mm, llamando a esta masa m_2 .

La masa inicial de la muestra, m_1 , la masa y número de las esferas de acero, la cantidad de agua y la velocidad de giro del aparato tienen unos valores que vienen especificados en la normativa prEN 1097-1.

4.1.6.3 Expresión de resultados

El coeficiente de friabilidad (F.A) expresa el porcentaje, en masa, de finos inferiores a 1,6 mm producidos durante el ensayo, con respecto a la masa total y responde a la siguiente expresión matemática:

$$\% \text{ F.A} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100$$

en la que:

% F.A: coeficiente de friabilidad Micro – Deval expresado en tanto por ciento.

m_1 : masa inicial ensayo (g).

m_2 : masa ensayada (g).

4.1.6.4 Especificación

La especificación EHE de áridos para hormigones establece un máximo valor del coeficiente de friabilidad de las arenas Micro – Deval del 40 % para asegurar una adecuada resistencia a la abrasión, aunque no es directamente aplicable a esta determinación, debido a la diferencia de granulometría en las fracciones de ensayo a que se refieren..

4.1.7 Determinación de la densidad real de la muestra seca, coeficiente de absorción y densidad de la muestra saturada con superficie seca según UNE 83-134- 90

4.1.7.1 Objetivo

Generalmente, los áridos tienen poros que pueden ser accesibles o abiertos y con comunicación con el exterior e, inaccesibles, cerrados y aislados del exterior. Esto hace que, no se pueda hablar de una sola densidad del árido sino de varias que dependerán de que, en el volumen que estemos considerando, incluyamos o no a estos dos tipos de poros.

Con este proyecto se pretende la determinación de los dos tipos de densidad del árido grueso que se pasan a definir a continuación:

- La *densidad real* se define como el cociente entre la masa seca de la muestra del árido grueso y el volumen ocupado por la materia sólida, comprendiendo los huecos accesibles e inaccesibles contenidos en los granos.
- La *densidad real saturada pero con superficie seca* se define como el cociente entre la masa de la muestra de los áridos parcialmente embebida y con superficie seca y volumen real que ocupa.

La absorción de los áridos tiene gran influencia en su adherencia con la pasta de cemento y por tanto, en las resistencias mecánicas del hormigón. Igualmente, influye en el comportamiento de los áridos frente a los ciclos hielo-deshielo y en definitiva en su durabilidad. Por esta razón, se estudia esta propiedad que viene cuantificada por el coeficiente de absorción que se define a continuación:

- El *coeficiente de absorción de agua* es la relación entre el aumento de la masa de la muestra debida a una imbibición parcial de agua y teniendo la superficie seca y la masa seca de la muestra de áridos. La imbibición parcial se obtiene sumergiendo la muestra de árido en agua durante 24 h a 20°C y a presión atmosférica.

4.1.7.2 Proceso

Para la determinación en el aire de la masa seca de la muestra, la muestra sometida a ensayo, de características las especificadas por la norma, se lava sobre el tamiz de 4 mm y se deja secar en estufa a $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, se deja enfriar y se pesa la masa M_s con lo que se consigue la determinación.

Para la determinación en el aire de la muestra embebida, se sumerge la muestra en el agua durante 24 h a 20°C a la presión atmosférica y una vez que ha sido secada superficialmente con un paño húmedo se pesa la masa M_a resultante.

Para la determinación en el agua de la masa de la muestra embebida, después de la pesada precedente se coloca la muestra embebida en el cesto de tela metálica suspendido del fleje de la balanza, se sumerge en el agua a 20°C con la ayuda del recipiente previsto a este efecto y se agita el cesto a fin de eliminar toda presencia de burbujas de aire antes de la pesada. A continuación se pesa la masa M'_a .

4.1.7.3 Expresión de los resultados

La densidad real, el coeficiente de absorción y la densidad real saturada responden pero con la superficie seca responden respectivamente a las siguientes expresiones matemáticas:

$$\rho_R = \frac{M_s}{M_{A-M_{A^*}}} x \rho_w$$

$$\% \text{ AB} = \frac{M_{A-M_s}}{M_s} x 100$$

$$\% \rho_{\text{RSSS}} = \frac{M_A}{M_A - M_{A^*}} x \rho_W$$

En las que:

ρ_R : *densidad real (g/cm³).*

AB: *coeficiente de absorción.*

ρ_{RSSS} : *densidad real saturada pero con superficie seca (g/cm³).*

M_S : *masa seca después de lavado (g).*

M_A : *masa de la muestra embebida y secada superficialmente (g).*

M_{A^*} : *masa de la muestra embebida y pesada en agua (g).*

D_W : *densidad del agua (g/cm³)*

4.1.7.4 Especificación

La especificación EHE de áridos para hormigones establece un valor máximo para el coeficiente de absorción del 5 %.

4.1.8 Determinación cuantitativa de los compuestos de azufre, según UNE 83-120-88

4.1.8.1 Objetivo

Con la realización de este ensayo se pretende la determinación cuantitativa, en los áridos para hormigones, de los compuestos de azufre que se encuentran en las formas tanto de sulfatos como de sulfuros, atacables y no atacables por ácido clorhídrico, ya que según su cuantía, su presencia puede ser nociva para la durabilidad del hormigón por lo que resulta interesante tanto su identificación como su diferenciación.

4.1.8.2 Proceso

Para tener estos conocimientos en primer lugar se procederá a la determinación de sulfatos y sulfuros totales (atacables y no atacables por ácido clorhídrico) extraíbles por disgregación alcalina no oxidante y por último determinar la cantidad de sulfuros totales.

4.1.8.3 Especificación

Para su empleo como áridos para hormigones la cantidad máxima de compuestos de azufre expresados en SO_3^- y referidos al árido seco en % del peso total de la muestra la cantidad es según la especificación de 0,4.

4.1.9 Determinación cuantitativa de cloruros según UNE 83-124-90

4.1.9.1 Objetivo

Con la realización de este ensayo se pretende la determinación cuantitativa, en los áridos para hormigones de cloruros ya que su presencia puede provocar la corrosión en las armaduras.

4.1.9.2 Proceso

El contenido de cloruros en los áridos se determina en la disolución que resulta del ataque de la muestra con ácido nítrico diluido, por medio de una volumetría por retroceso para lo que es necesario tratar la muestra con ácido nítrico diluido.

4.1.9.3 Especificación

Para su empleo como áridos para hormigones la cantidad máxima de cloruros expresados en Cl^- y referidos al árido seco en 9% del peso total de la muestra la cantidad es según la especificación de 0,1.

4.1.10 Determinación aproximada de la materia orgánica en arenas para hormigones según UNE 7 082

4.1.10.1 Objetivo

Con la realización de este ensayo se pretende la determinación de la presencia de materia orgánica cuya existencia puede retrasar el fraguado del cemento o incluso repercutir desfavorablemente de hidratación del mismo.

4.1.10.2 Proceso

Se trata de un proceso colorímetro de fácil apreciación, pues se compara una disolución coloreada tipo hidróxido sódico y ácido tánico en alcohol con la resultante de verter en ella una cantidad dada de muestra. Después de reposar 24 horas, la disolución ensayada debe presentar un color más débil que la disolución tipo.

4.1.11 Estudio Petrográfico

4.1.11.1 Objetivo

Con este ensayo se pretende determinar las características texturales, minerales, grado de alteración y clasificación, con el fin de conocer a que grupo pertenece el árido.

4.1.12 Estudio Difracción por Rayos X

4.1.12.1 Objetivo

Con la realización de este ensayo se pretende la identificación de fases cristalinas (minerales, fases inorgánicas y orgánicas), estudios de cristalinidad, identificación de materiales arcillosos, necesarios para conocer la composición microscópica de los materiales.

4.1.12.2 Proceso

La difracción de rayos X, se basa en la reflexión de rayos X por las caras cristalinas de distintas fases presentes en un polvo de material (muestra). Cada fase cristalina tiene un juego de reflexiones características que permite su identificación a través de bancos de datos de estándares.

En el anexo A, se encuentran algunas normas de procedimiento empleado por el LOEMCO, para la caracterización de áridos.

4.2 DESCRIPCION DE LOS ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE HORMIGONES

4.2.1 Medida de la resistencia a compresión según norma UNE 83-304/84

4.2.1.1 Objetivo

Con la realización del ensayo de resistencia a compresión se consigue determinar la calidad del hormigón.

4.2.1.2 Proceso

Para que la medida de la compresión sea un resultado fiable, se evitará la variación de las condiciones de curado, toma de muestra, método de llenado y acabado de las probetas. De no ser así, los resultados obtenidos carecerán de valor, ya que no se puede determinar si una resistencia baja es debida a una mala calidad del hormigón o a faltas en la elaboración de las probetas.

Para que los resultados obtenidos sean dignos de confianza se deberán realizar los siguientes pasos operativos:

- I) Usar solamente moldes no absorbentes ni deformables, estancos de 15 cm de diámetro por 30 cm de altura.

Antes de llenarlos se colocarán sobre una superficie lisa, dura y horizontal.

En el caso del presente proyecto el ensayo se realizará a 7, 14 y 28 días.

- II) Para la toma de muestra, antes de llenar los moldes éstas deberán ser completamente remezcladas en una pastera grande, carretilla u otra superficie limpia no absorbente.

Si parte del árido que contiene el hormigón es superior a 50 mm, se realizará un cribado del hormigón fresco por cedazo de 50,0 mm para separar el árido que no cumpla la condición.

- III) Una vez terminado el amasado del hormigón en la hormigonera (ver Figura 4.1), los moldes se llenarán uniformemente en tres tongadas o capas, se compactarán mediante picado (25 golpes realizados mediante una varilla metálica de 16 mm de diámetro con un extremo de forma semiesférica). Los golpes deberán producirse de tal forma que cosan ligeramente cada una de las capas subyacentes. La finalidad de picar el hormigón en los moldes es la de compactar el hormigón y liberarlo de huecos de aire que reducen la resistencia. Después se golpeará el molde con un mazo de goma para evitar posibles huellas dejadas por la barra eliminando así las posibilidades coqueras creadas.

Después de la compactación se retirará el hormigón sobrante de la tercera y última capa que contendrá un exceso de hormigón. Se dejará la superficie lisa intentando que la manipulación sea mínima, para que cumpla con las condiciones de tolerancia de acabado.

Figura 4. 1: Hormigonera



- IV) Las probetas no se tocarán hasta que al menos hayan pasado 24 horas, para dar tiempo a que endurezca el hormigón y así este sea resistente al manejo.

La parte superior se tapaná con arpillera húmeda o un material análogo para evitar la pérdida de humedad.

La temperatura no deberá ser inferior a 16° C ni superior a 27°C.

- V) A las 24 horas de la confección de las probetas, se desmoldarán y se colocarán en ambiente de saturación (95% de humedad relativa) o en agua, a una temperatura de $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$. Ver Figura 4.2

Figura 4. 2: Almacenamiento de las probetas



- VI) Las probetas que se vayan a romper, se sacarán de la cámara húmeda o en su caso del agua y se tendrán unas dos horas oreándose, para luego ser llevadas a refrentar.
- VII) El refrentado se hace con azufre fluido, el cual se echará sobre un molde cuya base es perfectamente horizontal, consiguiéndose así que la superficie de la probeta que se había enrasado en el molde quede perfectamente lisa, y paralela a la base original de la probeta. La importancia del paralelismo de las caras de las probetas cilíndricas es fundamental para obtener un resultado representativo, ya que concavidades en las caras pueden producir un descenso de hasta un 30%.

Antes de echar el azufre sobre el molde, se impregnará éste con un desencofrante que permitirá extraer con facilidad ésta del molde sin ningún tipo de problema.

Realizado esto, sólo queda esperar a que seque el azufre (alrededor de una o dos horas) para pasar a la rotura por compresión. Ver Figura 4.3.

Figura 4. 3: Refrentado de las probetas



VIII) Para la rotura se utiliza una máquina de ensayos de compresión que cumpla con las exigencias requeridas por la norma española UNE 83-304-84. Se someterá a la probeta dos veces a la compresión para verificar que el primer valor obtenido es el mayor y así comprobar que la rotura a compresión se ha realizado correctamente.

La probeta se coloca entre dos platos, que han de estar en todo momento en contacto con las caras planas de la probeta. Ver Figura 4.4.

Figura 4. 4: Compresión de la probeta



La carga se aplica de forma continua y sin saltos bruscos. Esto se consigue gracias al sistema de regulación de cargas del que está provista la prensa.

4.3 ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO

4.3.1 Objetivo

Con la realización de los ensayos físicos-mecánicos, químicos y determinación de componentes, se pretende caracterizar el cemento.

4.3.2 Proceso

El proceso para caracterizar al cemento se basa en lo establecido en las normas UNE correspondientes. Las normas empleadas según el tipo de ensayo son las siguientes:

- Ensayos físicos y Mecánicos:
 - Características Físicas: Norma EN 196-3.
 - Resistencias Mecánicas : Norma EN 196-1
- Ensayos Químicos:
 - Características Químicas: UNE 80220, EN 196-2, EN 196-21.
 - Determinación cuantitativa de los componentes: UNE 80216

5 RESULTADOS DE LA PRIMERA ETAPA

Es importante destacar que resultados presentado en este capítulo, corresponden a los ensayos realizados a el Árido natural Calizo (A.C), y al Silíceo (A.S).

5.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO SEGÚN UNE 7 139

5.1.1 Tablas de resultados y representaciones gráficas

Los resultados del análisis granulométrico, se presentan en la tabla 5.1 y tabla 5.2 y la representación gráfica de la curva granulométrica en la figura 5.1 y figura 5.2, correspondientes con los áridos, calizos y silíceos respectivamente.

Tabla 5. 1: Análisis granulométrico del Árido Calizo UNE 7 139

Masa inicial = 188.559 g

Abertura de tamices (mm)	Retenido (g)	Retenido (%)	Retenido acumulado (%)	Paso acumulado (%)
25	0	0	0	100
20	16.675	8,84	8,84	91,16
16	38.548	20,44	29,29	70,71

Abertura de tamices (mm)	Retenido (g)	Retenido (%)	Retenido acumulado (%)	Paso acumulado (%)
14	23.116	12,26	41,55	58,45
12,5	30.920	16,4	57,94	42,06
10	38.348	20,34	78,28	21,72
8	21.407	11,35	89,63	10,37
6,3	10.981	5,82	95,46	4,54
5	3.984	2,11	97,57	2,43
Resto	4.580			

Fuente. Elaboración propia

Tabla 5. 2: Análisis granulométrico del Árido Silíceo UNE 7 139

Masa inicial = 188.559 g

Abertura de tamices (mm)	Retenido (g)	Retenido (%)	Retenido acumulado (%)	Paso acumulado (%)
25	0	0	0	100
20	1.940	2,52	2,52	97,48
16	1.137	1,48	4	96
14	6.351	8,25	12,24	87,76
12,5	10.908	14,17	26,41	73,59
10	15.345	19,93	46,34	56,66
8	15.750	20,46	66,8	33,2
6,3	13.009	16,9	83,69	16,31
5	5.656	7,35	91,04	8,96
Resto	6.902			

Fuente. Elaboración propia

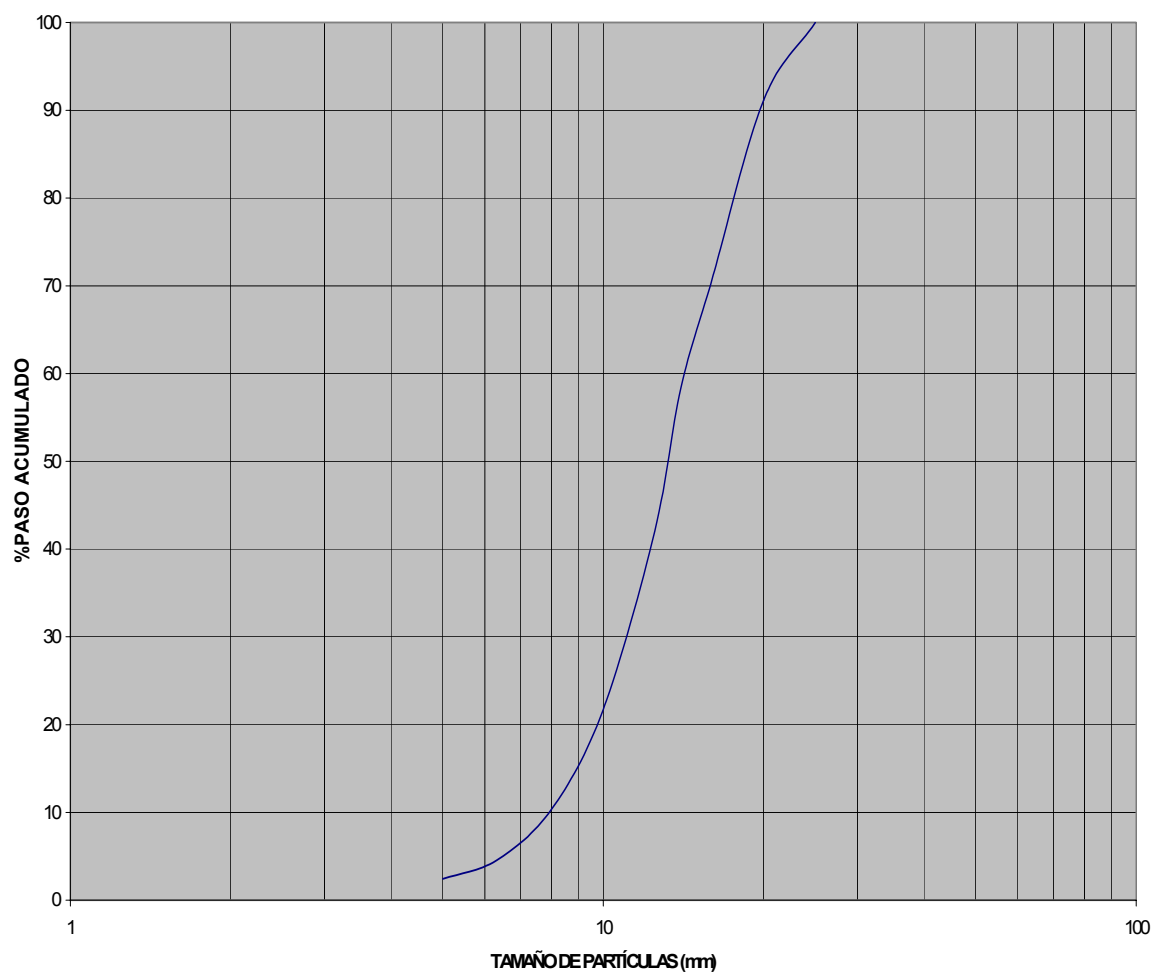
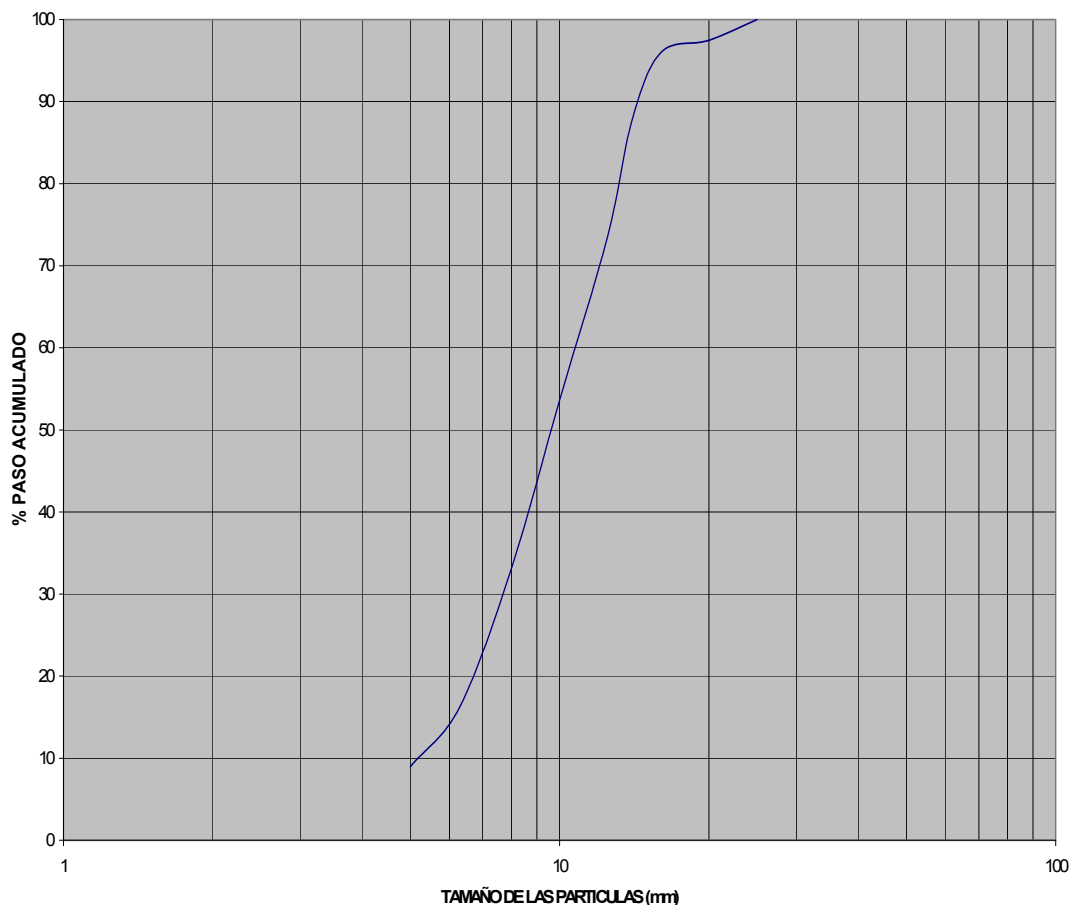
Figura 5. 1: Curva granulométrica del árido calizo

Figura 5. 2: Curva granulométrica del árido silíceo



5.1.2 Análisis de resultados.

La distribución granulométrica de los áridos naturales calizo y silíceo, no presentan discontinuidades, siendo esta una característica favorable a la hora de plantear su futuro empleo como árido para hormigón.

El árido calizo ensayado se caracteriza por presentar en las dos fracciones de 16 mm y 10 mm, sus valores más altos; mientras que el árido silíceo los presenta entre las fracciones 10 mm y 8 mm.

Tal y como nos muestran las curvas granulométricas respectivas, para ambos tipos de áridos, se puede apreciar que son paralelas, si bien cabe destacar la

mayor presencia de las fracciones superiores para el árido natural de tipo calizo, predominando en el de tipo silíceo los tamaños inferiores a 12,5 mm.

5.2 DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE FORMA UNE 7 238

5.2.1 Tablas de resultados y representaciones gráficas

Los resultados de la determinación del coeficiente de forma UNE 7 238 para las muestras de esta primera etapa son los que recoge la tabla 5.3. En ella, la última columna expresa el valor del coeficiente de forma expresado como media ponderada (M.P.) en peso de los valores obtenidos para las distintas fracciones granulométricas, marcándose en rojo aquellos resultados que son válidos según especificación EH-91 de áridos para hormigones, que marca un mínimo en 0,15.

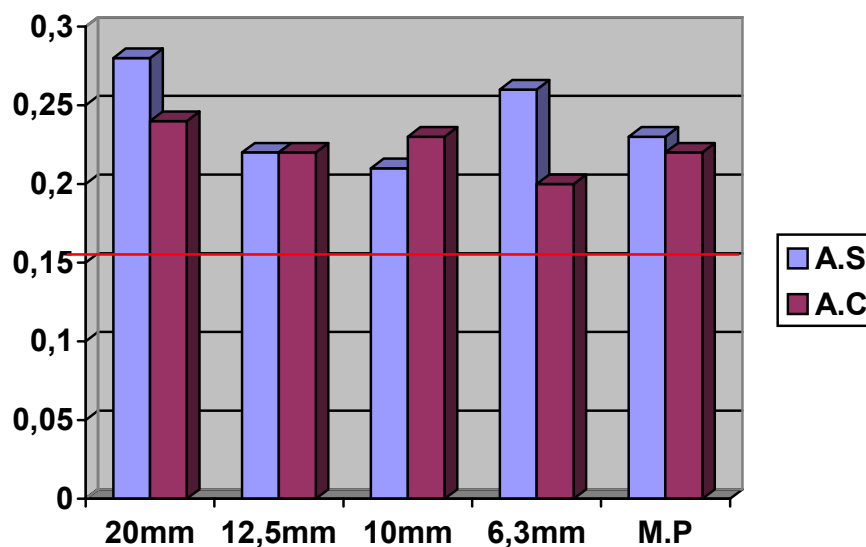
Tabla 5. 3: Coeficiente de forma UNE 7 238

MATERIAL	TIPO DE MATERIAL	20 mm	12,5 mm	10 mm	6,3 mm	M.P
Arido Silíceo	100%	0,28	0,22	0,21	0,26	0,23
Arido Calizo	100%	0,24	0,22	0,23	0,20	0,22

Fuente: Elaboración propia

Esta tabla 5.3, tiene su representación gráfica para 20 mm, 12,5 mm, 10 mm, 6,3 mm y media ponderada en la figura 5.3, en las que la recta roja presente indica la limitación anterior mencionada.

Figura 5. 3: Coeficiente de forma (20mm, 12,5mm, 10mm, 6,3mm y M.P). UNE 7 238



Fuente: Elaboración propia.

5.2.2 Análisis de resultados

De los resultados obtenidos para el coeficiente de forma según la normativa española, se ve una mayor presencia de partículas laminares en el árido calizo, lo que se traduce en un menor valor para el coeficiente de forma según la norma UNE 7 238, si lo comparamos con porcentajes iguales de árido natural de tipo silíceo.

5.3 DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE FORMA “SHAPE INDEX” SEGÚN PREN 933-4

5.3.1 Tabla de resultados y representaciones gráficas

Los resultados de la determinación del coeficiente de forma según prEN 933-4 para las muestras de esta primera etapa son los que recoge la tabla 5.4. En ella, la última columna expresa el valor del coeficiente de forma expresado como media

ponderada (M.P.) en peso de los valores obtenidos para las dos fracciones granulométricas,

Tabla 5. 4: Coeficiente de forma prEN 933-4.

CÓDIGO	TIPO DE MATERIAL	16mm	8mm	M.P
A.S	100%	9	10	10
A.C	100%	21	24	23

Fuente: Elaboración propia

5.3.2 Análisis de resultados

De los resultados obtenidos para el coeficiente de forma según la normativa española prEN 933-4, se puede observar que el árido calizo presenta valores superiores en comparación con el silíceo, esto es debido a que el árido calizo contiene una mayor presencia de partículas cúbicas.

5.4 DETERMINACIÓN DE FINOS EN ÁRIDOS SEGÚN UNE 7 135

5.4.1 Tablas de resultados y representaciones gráficas

Los resultados de la determinación de finos de áridos para fabricación de hormigón según UNE 7 135 para los áridos naturales tipo calizo y silíceo, se encuentran en la tabla 5.5, marcándose en rojo aquellos valores que son válidos según la especificación EH.-91 de áridos para hormigones que marca un máximo del 1% que puede aumentar hasta un 2% si se trata de un árido procedente del machaqueo de rocas calizas.

Tabla 5. 5: Contenido en finos UNE 7 135

CÓDIGO	TIPO DE MUESTRA	% FINOS
Árido Silíceo	100%	0,6
Árido Calizo	100%	1,5

Fuente: Elaboración propia

5.4.2 Análisis de resultados

De los resultados obtenidos, se puede observar que ambos áridos naturales tanto calizo como silíceo, cumplen con la especificación EH-91, puesto que sus valores se hallan por debajo del valor límite máximo del 2%.

5.5 DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE DESGASTE “LOS ÁNGELES” SEGÚN UNE 83-116-90

5.5.1 Tablas de resultados y representaciones gráficas.

Los resultados de la determinación del coeficiente de desgaste de “Los Ángeles” según la normativa UNE 83-116-90 para las muestras de esta etapa son las que recoge la tabla 5.6. La especificación EH-91 de áridos para hormigones marca un límite máximo en 40%.

Tabla 5. 6: Coeficiente Los Ángeles UNE 83 116 90

CÓDIGO	TIPO DE MATERIAL	VALOR %
A.S	100%	27
A.C	100%	29

Fuente: Elaboración propia

5.5.2 Análisis de resultados

De los resultados obtenidos para el coeficiente de desgaste “Los Ángeles” según la normativa española UNE 83 116 90, se puede observar que el árido calizo presenta un mayor valor en comparación con el silíceo, sin embargo ambos áridos cumplen con la especificación EH-91, para su uso en hormigones.

5.6 DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE FRIABILIDAD DE LAS ARENAS “MICRO-DEVAL” SEGÚN PREN 1097-1

5.6.1 Tabla de resultados y representaciones gráficas

Los resultados obtenidos de la determinación del coeficiente de friabilidad “Micro Deval” efectuado según la normativa española prEN 1097-1, se recogen en la tabla 5.7, donde se marcan en rojo aquellos valores que son válidos según la especificación EH-91, para su uso en hormigón, que establece un máximo para 40% en la aplicación para áridos finos.

Tabla 5. 7: Coeficiente Micro-Deval prEN 1097-1

CÓDIGO	TIPO DE MATERIAL	VALOR %
Árido Silíceo	100%	6
Árido Calizo	100%	20

Fuente: Elaboración propia

5.6.2 Análisis de resultados

Los resultados obtenidos del ensayo de friabilidad de las arenas “Micro-Deval” indican que el árido silíceo presenta un mayor desgaste a la abrasión, en comparación con el calizo. Sin embargo ambos áridos cumplen con la especificación EH-91, que indica un máximo de un 40% admisible.

5.7 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD REAL DE LA MUESTRA SECA, COEFICIENTE DE ABSORCIÓN Y DENSIDAD REAL DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA SEGÚN UNE 83-134-90

5.7.1 Tabla de resultados y representaciones gráficas

Los resultados de la determinación de la densidad real de la muestra seca, coeficiente de absorción y densidad real de la muestra saturada con superficie seca según UNE 83-134-90, para áridos silíceos, se encuentran en las tablas 5.8, 5.9 y 5.10 respectivamente. La especificación EH-91 de áridos para hormigones que establece un máximo del 5% para el coeficiente de absorción.

Tabla 5. 8: Densidad real de la muestra UNE 83 134 90

CÓDIGO	TIPO DE MATERIAL	VALOR %
A.S	100%	2,62

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. 9: Coeficiente de absorción UNE 83 134 90

CÓDIGO	TIPO DE MATERIAL	VALOR %
A.S	100%	0,62

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. 10: Densidad real de la muestra saturada con superficie seca UNE 83 134 90

CÓDIGO	TIPO DE MATERIAL	VALOR (ρ_{RSS})
A.S	100%	2,63

Fuente: Elaboración propia

5.7.2 Análisis de resultados

La especificación EH-91 de áridos para hormigones marca un valor máximo del 5 %, para el coeficiente de absorción que es cumplido por el árido silíceo.

5.8 DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DEL AZUFRE SEGÚN UNE 83-120-88

5.8.1 Tabla de resultados y representaciones gráficas

Los resultados de la determinación cuantitativa de los compuestos de azufre según UNE 83-120-88 de los áridos naturales tipo calizo y silíceo, se recogen en la tabla 5.11, donde los valores en rojo son aquellos que se encuentran dentro de lo permitido por la especificación EH-91 de áridos para hormigones establece un máximo del 0,4% para el contenido de compuestos de azufre.

Tabla 5. 11: Contenido en compuestos de azufre UNE 83-120-88

CÓDIGO	TIPO DE MATERIAL	AZUFRE TOTAL
Árido Silicio	100 %	0.01
Árido Calizo	100 %	0,24

Fuente: Elaboración propia

5.8.2 Análisis de resultados

La especificación EH-91 de áridos para hormigones marca un valor máximo para el contenido de azufre, que es cumplido por ambos áridos naturales.

5.9 DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DEL CLORURO SEGÚN UNE 83-124-90

5.9.1 Tabla de resultados y representaciones gráficas

Los resultados de la determinación cuantitativa de cloruros según el método Volhard según la norma española UNE 83-124-90 de las muestras ensayadas, se

encuentran en la tabla 5.12, en las que los valores marcados en rojo son aquellos que se encuentran dentro de lo permitido por la especificación EH-91 de áridos para hormigones, que establece un máximo del 0,4% para el contenido de cloruros.

Tabla 5. 12: Contenidos de Cloruros UNE 83-124-90

CÓDIGO	TIPO DE MATERIAL	CONTENIDO CLORUROS (%)
A.S	100%	0.01
A.C	100%	0,0008

Fuente: Elaboración propia.

5.10 DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA

Para todos los ensayos de determinación de la materia orgánica se han obtenido resultados favorables para su utilización como áridos para hormigones, por lo tanto no es perjudicial para el fraguado y endurecimiento del mismo.

5.11 ESTUDIO PETROGRÁFICO

5.11.1 Resultados:

Los resultados del análisis tanto para el árido natural calizo como para el silíceo, son presentados a continuación:

- ÁRIDO CALIZO

Reconocimiento de visu: Roca carbonatada de color blanquecino (beige claro), compacta y de fractura irregular, presentando agregados milimétricos recristalizados, más o menos subparalelos. Al ser atacada en frío con HCl diluido al 10 % presenta una intensa efervescencia.

Estudio microscópico:Composición mineral:

Componentes principales: Calcita.

Componentes accesorios: Cuarzo, óxidos de hierro, opacos.

Textura:

Esparítica porosa.

Observaciones:

Roca sedimentaria carbonatada, constituida por abundantes intraclastos (cerca del 70 % del total de la roca), en su gran mayoría restos algáceos y fósiles carbonatados, no siempre bien preservados, pudiendo estar reducidos a simples fantasmas.

La matriz igualmente de calcita es de tipo esparítico, observándose además probables microporos en su mayoría rellenos por calcita recristalizada.

Apenas se aprecian detríticos, reduciéndose a esporádicos cuarzos, de escaso tamaño (0,02 mm).

Presencia de opacos granulares dispersos a formando micro acumulados en bordes de los poros.

Clasificación:

Bioesparita.

- ÁRIDO SILÍCEO

Reconocimiento de visu: Roca de color beige, algo grisácea, con marcada recristalización, compacta y de fractura ligeramente concoidea. Al ser atacada en frío con HCl diluido al 10 % no muestra efervescencia alguna.

Estudio microscópico:Composición mineral:

Componentes principales: Cuarzo, sericita, minerales arcillosos.

Componentes accesorios: Circón, moscovita, opacos.

Textura:

Granoblástica.

Observaciones:

Roca metamórfica constituida por un mosaico granoblástico de cuarzo relativamente equigranular, con tamaño de grano comprendido entre 0,15 mm y 0,25 mm, percibiéndose, en los ejemplares de mayor tamaño, fenómenos de subgranulación.

Intersticialmente al cuarzo aparecen microlitos de sericita-minerales arcillosos, con orientaciones subparalelas, formando excepcionalmente algún agregado lenticular centimétrico, igualmente orientado, junto a moscovita tabular mucho más escasa.

Tanto la orientación de las micas, como una cierta elongación incipiente de los granos de cuarzo, definen una estratificación de la roca debida a fenómenos de deformación mecánica.

Escasísima fracción pesada formada por opacos granulares dispersos y esporádicos circones subredondeados, rara vez mayores de 0,05 mm.

Clasificación:

Cuarcita.

5.11.2 Análisis de resultados

Los áridos analizados, presentan una naturaleza que los hace aptos para la fabricación de hormigón, puesto que no presentan elementos perjudiciales para la fabricación del mismo.

5.12 ESTUDIO DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X

5.12.1 Tabla de resultados y representaciones gráficas

Tabla 5. 13: Análisis por difracción

ÁRIDO	PICOS INTENSOS	PÍCOS DÉBILES
SILICEO	1° Cuarzo 2° Feldespato	1° Calcita (trazas) 2° Muscovita (Illita) (indicios)
CALIZO	1° Calcita	1° Cuarzo (traza)

Fuente: elaboración propia.

5.12.2 Análisis de resultados.

Los resultados se corresponden con los de un árido natural adecuado a su denominación.

En el anexo B, se encuentra el informe de difracción realizado por el Laboratorio Central.

5.13 CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO, TIPO II-A-P, 42,5 R

5.13.1 Tabla de resultados y representaciones gráficas.

Los resultados de la caracterización del cemento, realizada por el LOEMCO, según haya sido el ensayo empleado, se encuentran en las tablas 5.14, 5.15, 5.16 y 5.17 respectivamente.

Tabla 5. 14: Análisis Químicos

NORMA	ENSAYO	%
UNE 80220	Humedad	0,4
EN 196-2	Trióxido de azufre II	3,4%
EN 196-21	Ion cloruro	0,010%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. 15: Características Físicas

NORMA	ENSAYO	RESULTADOS
EN 196-3	Agua de consistencia	33 %
	Tiempo de fraguado	100 min (inicial) 150 min (final)
	Expansión Le Chatelier	0,0 mm

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. 16: Características Mecánicas

NORMA	FLEXIÓN (N/mm²)	COMPRESIÓN (N/mm²)	DIAS
EN 196-1	5,6	32,7	2
	8,8	58,1	28

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. 17: Determinación de Componentes

COMPONENTES	%
Clinker (K)	86,3
Escoria (S)	-
Puz-cen volante (P/V)	13,5
Caliza (L)	-

Fuente: Elaboración propia

Dichos resultados se encuentran en el Anexo C.

5.13.2 Análisis de resultados

Los resultados del análisis del cemento cumplen las especificaciones aplicables a los cementos comunes para construcción.

6 RESULTADOS DE LA SEGUNDA ETAPA. ARÍDO RECICLADO

6.1 TABLA DE RESULTADOS

La empresa suministradora del árido reciclado, realizó un estudio de las propiedades del material, los resultados de ese estudio se recogen en la tabla 6.1,

y en la tabla 6.2 se puede apreciar los resultados del análisis por difracción de rayos X. Además el Laboratorio Central de la E.T.S.I. de Minas, realizó el estudio petrográfico respectivo, cuyos resultados se presentan a continuación:

Tabla 6. 1: Especificaciones Técnicas

Propiedad	Norma	Unidad	Resultado
Coeficiente de desgaste "Los Ángeles"	UNE EN-1097-2	%	33
Contenido de materia orgánica	UNE EN-1744-1	%	Cumple
Contenido total de Azufre	UNE EN 1744-1	%	Cumple
Densidad Real de la muestra	UNE 83-133-134	G/cm	1,4
Coeficiente de absorción de agua	UNE 83-133-134	%	6,1
Densidad Saturada con Superficie Seca	UNE 83-133-134	g/cm	2,1
Contenido de cloruros	UNE EN 1744-1	%	0,01

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. 2: Análisis por difracción

ÁRIDO	PICOS INTENSOS	PÍCOS DÉBILES
RECICLADO	1° Cuarzo 2° Calcita 3° Feldespato	1° Muscovita (Traza)

Fuente: elaboración propia

ESTUDIO PETROGRÁFICO

A continuación se presentan los resultados del análisis petrográfico correspondiente a dos muestras de árido reciclado:

Árido reciclado # 1

Reconocimiento de visu: Fragmento de ladrillo de granulometría fina y homogénea, de color anaranjado claro, presentando una ligera orientación y fractura irregular.

Estudio microscópico:

Composición mineral:

Componentes principales: Minerales arcillosos, cuarzo.

Componentes accesorios: Opacos.

Textura:

De tipo pizarroso.

Observaciones:

Fragmento de ladrillo constituido por matriz rojiza de tipo sericítico-arcillosa, formada por microlitos parcialmente orientados, rara vez mayores de 0,01 mm y granos de cuarzo, entre anguloso y subredondeado, con una marcada elongación paralela a la pizarrosidad general, de entre 0,05 mm y 0,2 mm para la mayor parte de los ejemplares si bien los mayores alcanzan, excepcionalmente los 0,4 mm.

No es raro observar agregados redondeados con composición similar a la anterior, pero claramente delimitados e interrumpiendo la orientación de la matriz, que parecen corresponder a agregados de arcilla individuales mal amasados.

Presencia de opacos granulares, formando micro acumulados alargados y paralelos a la S1.

Clasificación:

Ladrillo

Árido reciclado # 2

Reconocimiento de visu: Fragmento centimétrico de cuarcita redondeada (canto de río) en un mortero de cal englobando además fragmentos de naturaleza diversa y tamaños milimétricos.

Estudio microscópico:

Composición mineral:

Componentes principales: Cuarzo, sericita, minerales arcillosos, opacos, óxidos de hierro.

Componentes accesorios: Circón, turmalina, moscovita, feldespato potásico, calcita, biotita.

Textura:

Fragmental con árido granoblástico con intensa subgranulación.

Observaciones:

La muestra corresponde a un gran fragmento pluricentimétrico redondeado de cuarcita (canto de río), constituida por cuarzo rara vez mayor de 0,3 mm, con avanzado proceso de subgranulación, escasa sericita acicular formando una matriz arcillosa relictas, abundantes opacos-óxidos de hierro intersticiales y cristales aislados de circón y turmalina formando la fracción pesada.

Dicha cuarcita aparece incluida en un cemento blanco carbonatado (probable mortero cal) que también engloba cristales entre subredondeados y subangulosos

de cuarzo, bastante heterométricos, feldespato potásico (microclino) de hasta 1 mm, con características maclas en reja, escasas biotitas tabulares de hasta 0,3 mm y diversos fragmentos de rocas (esquistos, micritas).

Clasificación:

Mortero de cal con áridos de diversa naturaleza.

6.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados petrográficos permiten conocer la naturaleza del árido, y en este caso se observa que no contienen ningún componente activo contra el cemento. Sin embargo si el óxido de hierro presente, llegara a hidratarse, podría ocurrir un aumento del volumen, afectando al hormigón.

7 RESULTADOS DE LA TERCERA ETAPA. PREPARACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS HORMIGONES.

7.1 PREPARACIÓN DE LOS HORMIGONES

Se realizaron dos amasadas de hormigón, con diferentes proporciones de materiales componentes. Una de ella se realizó con la dosificación práctica, realizada por la Empresa Valenciana de Cementos y otra con la teórica, tomada de la Tesis doctoral del Profesor José Luis Parra y Alfaro.

Se fabricaron doce (12) probetas de hormigón, seis con cada dosificación, en la que no se usaron aditivos. Cada probeta tiene unas dimensiones de 0,1 metros x 0,3 metros de altura.

El proceso de fabricación se realizó con una hormigonera, luego de la mezcla se procedió a realizar el encofrado de las mismas, para luego de transcurrido un tiempo, se procede a desencofrar y colocar las probetas en una cámara húmeda, hasta el momento de su rotura por compresión.

7.1.1 Dosificación Teórica

Según José Luis Parra, la dosificación teórica, una vez calculadas las proporciones, debe llevar las siguientes cantidades de material:

- 30 kg de árido grueso, con las composiciones de árido natural y/o reciclado que se indique en cada caso (48 % reciclado y 52 % natural).
- 28,2 kg de árido fino natural de naturaleza silícea.
- 8,55 kg de cemento Portland tipo II-AP 42,5 R.
- Relación agua/cemento : 0,6

7.1.2 Dosificación Práctica

Según los datos obtenidos del personal de operaciones de la planta de Hormigón de Manoteras, del grupo Valenciana de Cementos, la dosificación estándar que se utiliza en la fabricación de hormigón de tipo H-25 es la que se detalla a continuación:

- 820 Kg/m³ de Arena seca
- 1000 Kg/m³ de Árido grueso (48% árido reciclado y 56% árido natural silíceo)
- 320 Kg / m³ de Cemento Portland tipo II-AP, 42,5 R.

En nuestro caso seis probetas tienen un volumen de 0,00318087 m³.

7.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS HORMIGONES

7.2.1 Resultados del ensayo de resistencia a la compresión, Según UNE 83-304-84

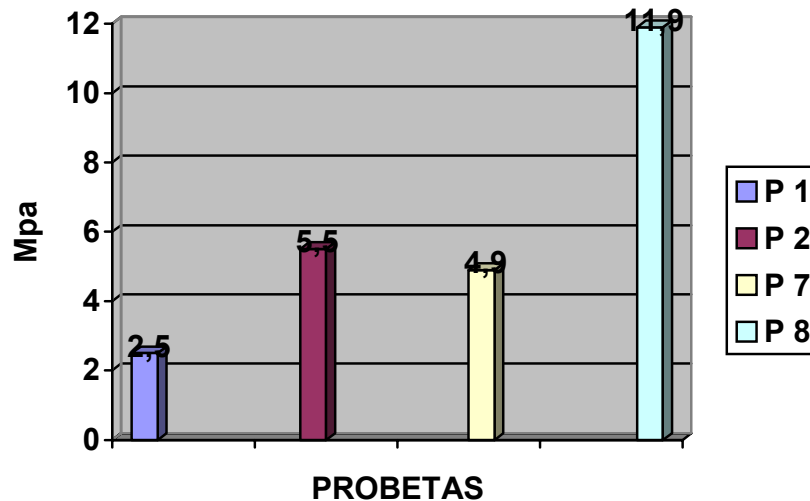
7.2.1.1 Tabla de resultados y representaciones gráficas a 7 días

Los resultados del ensayo de compresión a 7 días del hormigón fabricado con áridos reciclados, se presentan en la tabla 7.1, y su representación gráfica en la figura 7.1.

Tabla 7. 1: Resultados del ensayo de compresión a 7 días

NÚMERO DE LA PROBETA	VALOR EN MPA
P 1	2,5
P 2	5,5
P 7	4,9
P 8	11,9

Fuente: elaboración propia

Figura 7. 1: Resultados del ensayo a compresión (7 días)

Fuente: elaboración propia

7.2.1.2 Análisis de resultados

En la tabla 7.1 “Resultados del ensayo a compresión a 7 días” se puede apreciar como el máximo valor para la resistencia a la compresión en este caso es alcanzado por la probeta N° 8 con un valor de 11,9 Mpa, seguida del de la probeta N° 2 con un resultado de 5,5 Mpa, mientras que el valor más bajo lo obtiene la probeta N° 1, con un valor de 2,5 Mpa.

7.2.1.3 Tabla de resultados y representaciones gráficas a 14 días

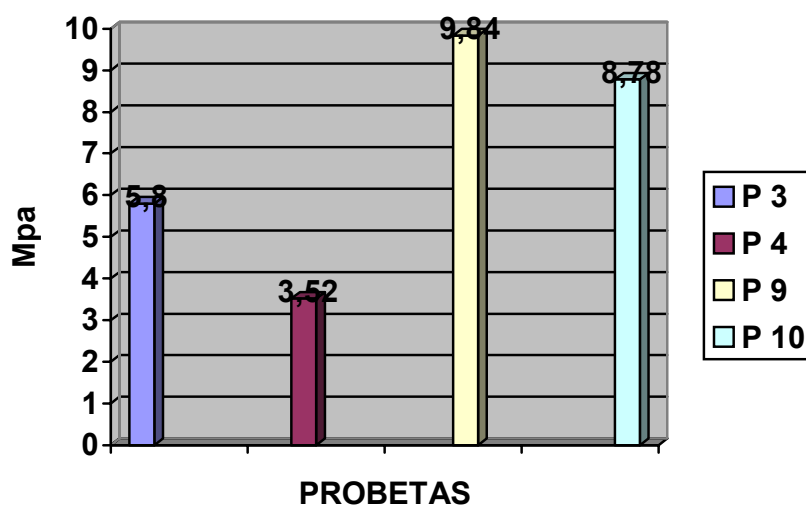
Los resultados del ensayo de compresión a 14 días del hormigón fabricado con áridos reciclados, se presentan en la tabla 7.2, y su representación gráfica en la figura 7.2.

Tabla 7. 2: Resultados del ensayo de compresión a 14 días

NUMERO DE LA PROBETA	VALOR EN MPA
P 3	5,80
P 4	3,52
P 9	9,84
P 10	8,78

Fuente: Elaboración propia

Figura 7. 2: Resultados del ensayo a compresión (14 días)



Fuente: elaboración propia

7.2.1.4 Análisis de resultados

En la tabla 7.2 “Resultados del ensayo a compresión a 14 días” se puede apreciar como el máximo valor para la resistencia a la compresión en este caso es alcanzado por la probeta N° 9 con un valor de 9,84 Mpa, seguida del de la probeta

N° 10 con un resultado de 8,78 Mpa, mientras que el valor más bajo lo obtiene la probeta N° 4, con un valor de 3,52 Mpa.

7.2.1.5 Tabla de resultados y representaciones gráficas a 28 días

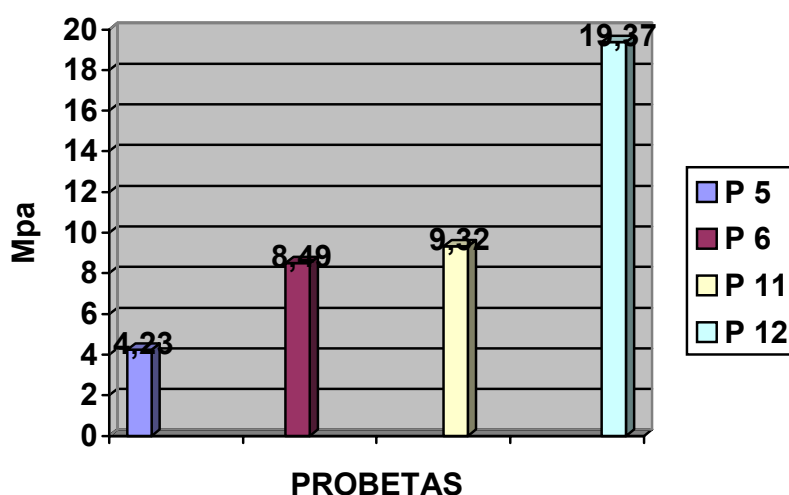
Los resultados del ensayo de compresión a 28 días del hormigón fabricado con áridos reciclados, se presentan en la tabla 7.3, y su representación gráfica en la figura 7.3.

Tabla 7. 3: Resultados del ensayo de compresión a 28 días

NUMERO DE LA PROBETA	VALOR EN MPA
P 5	4.23
P 6	8.49
P 11	9.32
P 12	19.37

Fuente: Elaboración propia

Figura 7. 3: Resultados del ensayo a compresión (28 días)



Fuente: elaboración propia

7.2.1.6 Análisis de resultados

En la tabla 7.3 “Resultados del ensayo a compresión a 28 días” se puede apreciar como el máximo valor para la resistencia a la compresión en este caso es alcanzado por la probeta N° 12 con un valor de 19,37 Mpa, seguida del de la probeta N° 11 con un resultado de 9,32 Mpa, mientras que el valor más bajo lo obtiene la probeta N° 5, con un valor de 4,23 Mpa.

8 CONCLUSIONES

8.1 PRIMERA ETAPA

La caracterización del árido natural, se lleva a cabo en la primera etapa del Proyecto. En esta fase del Proyecto se concluye lo siguiente:

- Todos los ensayos realizados según las normas UNE relacionadas con la caracterización de los áridos calizo y silíceos, arrojan resultados favorables para su uso como árido natural para fabricar hormigón, tomando en cuenta los rangos establecidos por la Instrucción para el Proyecto y Ejecución de Obras de Hormigón en masa o armado (EH-91).
- Cuando se desconozca los antecedentes sobre la naturaleza del árido natural, es necesario realizar ensayos petrográficos y mineralógicos, para conocer si existe reactividad frente al cemento o agentes externos. Es por ello que no se deben utilizar áridos que contengan compuestos ferrosos, sulfuros oxidables, o que presenten reacción árido-álcali. En nuestro caso, los áridos presentan una composición mineralógica acorde con lo exigido para la fabricación de hormigón; sin embargo existen unas trazas de minerales arcillosos y óxidos de hierro que serían conveniente estudiar más a detalle.
- Por último, se debe realizar siempre un estudio detallado de la naturaleza de los áridos, ya que éstos conforman el 80 % en volumen de la masa del hormigón; y de ellos dependen principalmente, las características del hormigón y su durabilidad.

8.2 SEGUNDA ETAPA

Esta segunda etapa comprende el estudio de los áridos reciclados, tomando en cuenta su caracterización físico-mecánica, petrográfica y difracción de rayos X. De esta etapa se concluye lo siguiente:

- El estudio de las propiedades del material, reflejan un árido reciclado que cumple con las especificaciones exigidas por la Instrucción (EH-91). Sin embargo se hace necesario realizar más ensayos de caracterización, puesto que no se realizaron todos los ensayos exigidos por la normativa.
- El análisis petrográfico revela un árido compuesto por ladrillo y mortero de cal, sin elementos que influyan negativamente en la fabricación de hormigón. Por lo tanto se recomienda su utilización.

8.3 TERCERA ETAPA

Esta etapa corresponde a la preparación y caracterización de hormigones. Se concluye lo siguiente:

- La preparación del hormigón, no fue homogénea del todo, se incurrieron en varios errores de amasado, que no se pudieron rectificar por falta de material y tiempo. Además se hace necesario utilizar aditivos que mejoren la mezcla de los materiales y permitan una pasta más homogénea.
- Las primeras seis probetas (P1-P6), se elaboraron con la dosificación práctica, sin embargo por los errores mencionados anteriormente, se obtuvo una mezcla deficiente, ocasionando una mala adherencia entre los áridos y el cemento, presentando rugosidades y huecos. Por estos motivos se observan los valores más bajos de resistencias a la compresión.
- Las últimas seis probetas (P6-P12), se elaboraron con la dosificación teórica. Esta vez se mejoró la amasada, presentando una mezcla más homogénea; sin

embargo los resultados de resistencia a la compresión continúan siendo bajos en comparación con otros ensayos realizados en distintos trabajos.

- Estas diferencias de mezcla, se deben principalmente al amasado y a la falta de aditivos. Es necesario colocar los materiales constituyentes del hormigón dentro de la hormigonera, en el momento en que ésta se encuentre girando, para así obtener mejores resultados y evitar dejar material sin mezclar en el fondo del aparato.
- La resistencia a la compresión de las probetas de hormigón, se puede observar que aumentan con respecto transcurre el tiempo, lo que indica que van mejorando sus propiedades. Sin embargo los valores promedio continúan siendo bajos con respecto a lo que exige la norma.
- Con todo esto se concluye, tomando en cuenta que la caracterización de los áridos cumple con la normativa, que, los valores bajos que presentan los ensayos de compresión, en este caso, no tienen que ver con la naturaleza de los áridos, sino más bien con problemas en la amasada del hormigón. Se hace necesario realizar de nuevo la amasada, incluyendo los aditivos. Probablemente con esto se mejore los valores de resistencia a compresión.

Por último, como conclusión general, se puede decir que con los resultados del presente Proyecto no resulta viable la utilización de áridos reciclados para fabricar hormigón. Sin embargo como se menciona anteriormente, el problema en este caso, radica en la amasada del hormigón. Se aconseja realizar de nuevo las amasadas, así como también nuevos ensayos de caracterización de hormigones, incluyendo otros como Porosidad y Cono de Abrahams; para concluir su viabilidad técnica.

REFERENCIAS

AENOR AEN/CTN 146 "ÁRIDOS" Grupo Ad-Hoc "Áridos reciclados". Documento normativo.

AENOR (1954). UNE 7 082. Determinación aproximada de la materia orgánica en arenas para hormigones o morteros.

AENOR (1958). UNE 7 139. Análisis granulométrico de áridos.

AENOR (1971). UNE 7 238. Determinación del coeficiente de forma del árido grueso empleado en la fabricación de hormigones.

AENOR (1988). UNE 83-120-88. Áridos para hormigones. Determinación cuantitativa de los compuestos de azufre.

AENOR (1990). UNE 83-116-90. Áridos para hormigones. Determinación del coeficiente "Los Ángeles".

AENOR (1990). UNE 83-134-90. Áridos para hormigones. Determinación de las densidades, porosidad, coeficiente de absorción y contenido en agua del árido grueso.

AENOR (1990). UNE 83-124-90. Áridos para hormigones. Determinación cuantitativa de cloruros. Método volumétrico (Volhard).

AENOR (1997). UNE-EN 1097-1:1997. Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte I: Determinación de la resistencia al desgaste (Micro-Deval).

AENOR (1990). UNE-EN 933-4:1999. Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 3: Determinación de la forma de las partículas. Índice de forma.

9 BIBLIOGRAFÍA

Aguilar, A y Monge, G. (1995). “Reciclado de residuos de construcción y demolición”. Revista Residuos n° 23.

ANEFHOP (1987). “Manual de consejos prácticos sobre hormigones”.

Barra, M. y Vázquez, E. (1998). “Properties of concretes with recycled aggregates: Influence of properties of the aggregates and their interpretation” en Use of recycled concrete aggregate, Londres. Pp 19-30.

Calvo Pérez, B.; García del Amo, D.; Giraldo Salgado, E.I. y Parra y Alfaro, J.L. (1995). “Coeficiente de forma en áridos gruesos para hormigones : situación actual española y perspectivas de la norma europea”. Revista Cemento – Hormigón. N° 751, pp. 1403-1415.

Cairns; Di Niro y Dolara (1997). “The use of Rac in prefabrication” en Use of recycled concrete aggregate. Londres, pp. 371-379.

Chini, A.R.; Romero Monteiro F,M,B. (1999). Use of Recycled Concrete Aggregate as Base Course. ASC Proceedings of the 35 th Annual Conference. California Polytechnic State University – San Luis Obispo, California.

Collins, R.J. (1998). “Recycled aggregate – Application and control issues” en Use of recycled concrete aggregate, Londres. Pp 169 – 176.

D’Amico, C y Gargano. (1998). Recycling of demolition waste to produce durable concrete” en Use of recycled concrete aggregate, Londres. Pp 205 – 212.

Demolición & Reciclaje (1999), N° 4. II Jornadas “Construcción y Medio Ambiente; Gestión de Residuos de Construcción”.

Demolición & Reciclaje (1999), N° 4. II Conferencia internacional sobre el reciclaje de residuos de la construcción.

Fernández Aller, R. (1994). "La normalización de los áridos. Comités AEN/TC 146 y CEN/TC 154". Curso sobre calidad y normalización de áridos, Madrid.

GEHO-CEB. (1997). "Los materiales secundarios de la demolición".

Gómez, J.M.; Aguiló, L.; Vázquez, E. (2001). Cualidades físicas y mecánicas de los agregados de concreto, en <http://www.imcyc.com>.

Guilló Correal, J.M. (1999). Viabilidad técnico-económica del reciclaje de material de derribo (Tesina), en <http://www-cdecma.upc.es>.

Hansen, T.C. (1992). "Recycling of demolished concrete and masonry". RILEM. Report 6.

Hendriks, C.F. y Pietersen, H.S. (1998). "Concrete: Durable, but also sustainable?". en Use of recycled concrete aggregate, Londres. Pp. 1-18.

ITEC. Pliego de Prescripciones Técnicas que incluyen los materiales granulares procedentes de derribos.

Kasai, Y. (1994). "Guidelines and the present state of the reuse of demolished concrete in Japan". RILEM, Report 9, pp. 93-104.

Khaloo, A.R. (1995). "Crushed till coarse aggregate concrete". Cement, concrete and aggregate. Vol 17, nº2 Dec, pp. 119-125.

Kohler, G. Y Kurkowski, H. (1998). "Optimising the use of RCA" en Use of recycled concrete aggregate, Londres, pp. 69-82.

Lauritzen, E. (1993). Demolition and reuse of Concrete and Masonry. Rilem proceedings 23. E & FN Spon, London.

Lauritzen, E. (1997). Productos de residuos de construcción y reciclaje en <http://habitat.aq.upm.es>

Lopez, C. (1998). "Manual de áridos". Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid.

Lund, H. F. (1996). "Manual Mc Graw-Hill de reciclaje".

Ministerio de Fomento. (1998). EHE. Instrucción de Hormigón Estructural.

Ministerio de Medio Ambiente. (2001). Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición 2001-2006.

Ministerio de Obras Públicas y Transportes (1991). EH-91. Instrucción para el Proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado.

Residuos. (1992). Año III, N° 6. "Los residuos inertes: un problema ambiental creciente".

Residuos. (1992). Año III, N° 8. "Producción de residuos de construcción y reciclaje".

RILEM TC 121. (1994): DGR, Specifications for concrete with recycled aggregates. Mat & Struct. (RILEM), N° 27, 557-559.

Sanz Contreras, J. L. (2001). "Estado actual de los trabajos normativos de los materials reciclados". Jornada sobre la gestión de los residuos de construcción y demolición. Realidad y viabilidad. Club Español del Medio Ambiente.

Suarez, L. (1994). "Áridos naturales y de machaqueo para la construcción". Colegio Oficial de Geólogos de España.

Tavakoli, M. y Soroushian, P. (1996). "Strength of recycled aggregate concrete made using field demolished concrete as aggregate". ACI Materials Journal. Vol 93, N° 2, pp 182-193.

Tenza, H, F. J. "La problemática de los residuos en el sector de la construcción, en <http://www.icce.es>

Urcelay, C. (1997). "Reciclado de escombros de demolición para la fabricación de hormigón". Revista Cemento-Hormigón.

Van Acker, A. (1996). "Recycling of Concrete at a precast concrete plant". Betonwerk Fertigteil-Technik. Heft 6, pp 91-101.

Yanaggi, K., Hisaka, M. y Kasai, Y. (1994): "Physical properties of recycled concrete using recycled coarse aggregate made of concrete with finishing materials". RILEM. Report 34, pp 379-390

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR

DE

INGENIEROS DE MINAS

PROYECTO FIN DE CARRERA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA

GEOLÓGICA

APLICABILIDAD DE ÁRIDOS RECICLADOS

PARA FABRICACIÓN DE HORMIGONES

DOCUMENTO N°2: ESTUDIO ECONÓMICO

RENÉ JOSÉ ABREU LINARES NOVIEMBRE-2002

1. INTRODUCCIÓN

El presente estudio económico se realiza considerando precios de mercado, tanto en lo referente a gastos de personal como aquellos directamente requeridos por la propia realización del proyecto, como son los originados por la preparación de muestras, realización de los ensayos, desplazamientos, etc.

En lo referente a personal, se considera que ha intervenido un Director de proyecto, titulado superior con mas de diez años de experiencia, con una dedicación de un 10% y un titulado superior con un año de experiencia, con una dedicación del 50% además de actuaciones concretas de un Asesor Técnico, titulado superior con más de diez años de experiencias. La duración del proyecto se estima en siete meses.

En los gastos directamente derivados de la ejecución del proyecto, se incluye la preparación de las muestras, la realización de los ensayos en un laboratorio externo, las dietas y desplazamientos, le mecanografía y la edición del informe final.

Entre los gastos indirectos, se repercuten las obligaciones fiscales, de radicación y otras, las cuales ascienden a un 33% sobre beneficio, estimado en un 15% de la facturación neta.

Así mismo, se incluyen los gastos financieros, originados por un crédito solicitado con el fin de adelantar los gastos imprescindibles, cuyo montante asciende a un 50% de la facturación neta, a un interés del 8%.

Evidentemente, la suma de todas las partidas se verá incrementada en un 16% correspondiente al I.V.A.

Es importante señalar que el estudio económico del presente Proyecto, se limita solo a un presupuesto de los costos que implicaría la fabricación del hormigón con áridos reciclados. Es necesario elaborar un estudio más detallado tomando en cuenta otros factores, para determinar la viabilidad económica del mismo

2. PRESUPUESTO

2.1 GASTOS DE PERSONAL

Un director de Proyecto, Titulado Superior con más de diez años de experiencia, con un 10% de dedicación durante siete meses, a 83 EUR/h.....	10.181 EUR
Un Titulado Superior con un año de experiencia, con una dedicación del 50% durante siete meses, a 49 EUR/h	30.543 EUR
Un Asesor Técnico, Titulado Superior con más de diez años de experiencias, veinte horas, a 132 EUR/h	2.644 EUR
(a) TOTAL.....	43.368 EUR

2.2. GASTOS DIRECTOS

2.2.1. Preparación de muestras

Trituración, reducción y análisis granulométrico de las muestras	2.313 EUR
(b) TOTAL.....	2.313 EUR

2.2.2. Realización de los ensayos

Diez (10) Ensayos de coeficiente de forma UNE 7 238 a 33 EUR	330 EUR
--	---------

Diez (10) Ensayos de coeficiente de forma "Shape Index"

prEN 933-4, a 79 EUR 790 EUR

Diez (10) Ensayos de desgaste a la fragmentación

"Los Ángeles" UNE 83-116-90, a 106 EUR..... 1.060 EUR

Diez (10) Ensayos de desgaste a la abrasión

"Micro-Deval" prEN 1097-1, a 192 EUR 1.920 EUR

Diez (10) Ensayos de absorción, a 5 800 ESP..... 380 EUR

(c) TOTAL..... 4.480 EUR

2.2.3. Dietas y desplazamientos

Dos (2) salidas para toma de muestra, 2 personas,

a 198 EUR/persona día 792 EUR

150 km a 0,19 EUR/km..... 28 EUR

(d)TOTAL..... 820 EUR

2.2.4. Varios

Mecanografía (P.A)..... 991 EUR

Encuadernación y edición (P.A)..... 529 EUR

(e) TOTAL..... 1.520 EUR

TOTAL GASTOS DIRECTOS (b) + (c) + (d) + (e)..... 9.133 EUR

FACTURACIÓN NETA (a) + (b) + (c) + (d) + (e)..... 52.501 EUR

2.3. GASTOS DIRECTOS

Obligaciones fiscales de radicación y otras.....	2.600 EUR
Gastos Financieros.....	2.100 EUR
(f) TOTAL.....	4.700 EUR

2.4. IMPORTE TOTAL

TOTAL GASTOS (a) + (b) + (c) + (d) + (e) + (f).....	57.201 EUR
I.V.A (16%).....	9.152 EUR
FACTURACIÓN BRUTA.....	66. 353 EUR

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE
INGENIEROS DE MINAS

PROYECTO FIN DE CARRERA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
GEOLÓGICA

**APLICABILIDAD DE ÁRIDOS RECICLADOS
PARA FABRICACIÓN DE HORMIGONES**

DOCUMENTO N°3: ANEXOS

RENÉ JOSÉ ABREU LINARES NOVIEMBRE-2002

**ANEXO A: PROCEDIMIENTOS PARA LA REALIZACIÓN DE
LOS ENSAYOS**

ANEXO B: ANÁLISIS DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X

ANEXO C: ESPECIFICACIÓN DE LOS CEMENTOS