



Utilización de los residuos de construcción y demolición como áridos granulares reciclados (AGRs) en obra civil: Del rechazo al producto

Autor: María Jose Silvestre Traver

Institución: Universidad Jaume I de Castellón

Otros autores: Francisco Pardo Fabregat (Universidad Jaume I de Castellón); Teófilo Sanfeliu Montolio (Universidad Jaume I de Castellón); Manuel Miguel Jordán Vidal (Universidad Miguel Hernández de Elche); Ana Belén Vicente (Universidad Jaume I de Castellón)

Resumen

El sector de la construcción genera unos residuos que se pueden cuantificar en 38 millones de toneladas al año. El reciclado de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD's) disminuye la demanda de vertederos para su depósito. El destino de los RCD's cambia, al convertirse en un recurso válido para la fabricación de áridos granulares reciclados (AGR's) aptos para su empleo. La utilización de los AGR's puede contribuir a la disminución de la explotación de recursos naturales y por tanto, en el impacto medioambiental que ello supone.

El reciclado de los RCD's y la utilización de los AGR's repercuten de forma positiva tanto en la sociedad como en la economía. Estas nuevas actividades generan nuevos puestos de trabajo y confieren al sector de la construcción ser una actividad más sostenible. Una parte importante de estos residuos, puede llegar a convertirse en materia prima para la fabricación de áridos granulares reciclados que pueden ser utilizados en obra civil. A partir de los RCD's se puede obtener diversos tipos de AGR's tales como áridos para la fabricación de hormigón o materiales para uso: asiento y recubrimiento de tuberías, terraplenes y zahorras de firmes de carreteras.

El estudio de la caracterización de distintos AGR's (fracción 0-40 mm, 0-100 mm y 0-25 mm) centra la investigación de la viabilidad de utilizar dichos áridos, en el campo de la obra civil. Se realizan los ensayos tecnológicos previstos en el Pliego de prescripciones técnicas Generales (PG-3) para los usos de relleno tipo terraplén y zahorra de firmes de carreteras. Los resultados de los ensayos se comparan con las prescripciones de cada uno de los usos especificados para comprobar la aptitud de los áridos. Los resultados obtenidos en la investigación muestran la viabilidad del uso de estos áridos en estas aplicaciones. Alguno de los resultados hallados muestran una mayor excelencia en las propiedades mecánicas de los AGR's respecto de la de los áridos naturales.

Palabras clave: Árido Granular reciclado, Residuo construcción y demolición, Obra civil, Zahorra, Terraplen

INTRODUCCIÓN

Uno de los objetivos cuantitativos del II Plan Nacional de residuos de la construcción y demolición contempla el reciclado del 25% para el año 2012 y del 40% para el año 2015 de los residuos de la construcción y demolición (RCD's) (Ministerio de Medio Ambiente., 2007). Este planteamiento estaría en consonancia con las Directivas Europeas de conseguir minimizar el impacto ambiental derivado de la actividad constructiva y transformarla en más sostenible.

Los residuos de la construcción y demolición (RCD's) proceden en su mayor parte de derribos de edificios o de rechazos de los materiales de construcción de las obras de nueva planta. Se conocen habitualmente como escombros. Estos escombros constituyen un residuo que contiene fracciones valorizables y recuperables (Blanco et al, 2012). Una forma de la valorización de los RCD's es la utilización de éstos como áridos granulares reciclados (AGR's) para la obra civil.

Tras una selección de los RCD's y la trituración y cribado del material pétreo, se puede elaborar un material comercial apto para ser empleado en la construcción tanto de capas de relleno tipo terraplén como de firmes de carreteras. De este reciclado se puede obtener de un 75% a un 95% de material pétreo.

El componente pétreo que conforma el RCD se encuentra exento de otros materiales (25%-5%) tras la selección. Esto permite su utilización en la fabricación de distintos áridos granulares reciclados (AGR's) cuya aplicación puede resultar muy diversa.

La utilización del árido natural procedente de explotación minera debe verse reducido conforme se generen productos que sin ser naturales ofrezcan las mismas o mejores propiedades.

Este trabajo de investigación se centra en la caracterización de áridos granulares reciclados (ARG's) para el uso rellenos tipo terraplén y zahorras de firmes de carreteras. Se estudian tres tipologías de AGR's diferenciados inicialmente por su composición y fracción granulométrica y posteriormente por su uso, teniendo en cuenta las prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes (PG-3).

METODOLOGÍA

El Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes (PG-3) (ORDEN FOM/1382/2002) permite la utilización de los AGR's para uso relleno en terraplén siempre y cuando cumplan con los requisitos que en el mismo se establecen. El mismo pliego en la ORDEN FOM 891 de 2004 permite la utilización de los AGR's para uso zahorras para firmes en los tipos de tráfico pesado T2 a T4.

Se ha seleccionado el AGR fracción 0-25 mm (Fig. 1) y de composición hormigón para analizar la aptitud de éste para la obra civil para uso zahorra y por otro lado, se han seleccionado otros dos tipos de AGR's de composición mixta, en función únicamente de su granulometría (AGR fracción 0-40 mm (Fig. 2) y AGR fracción 0-100 mm (Fig. 3)) para estudiar la viabilidad de éstos como uso relleno de terraplén para la obra civil. Para ello se ha tomado como referencia el PG-3 donde se indican los ensayos que se deben llevar a cabo.



Figura 1. Acopios de AGR fracción 0-25 mm para uso zahorra.



Figura 2. Acopio de AGR fracción 0-40 mm para uso en rellenos tipo terraplén.



Figura 3. Acopio de AGR fracción 0-100 mm para uso en rellenos tipo terraplén.

Uso zahorra: Determinación del contenido total de azufre expresado en SO_3 según UNE-EN 1744-1/99, Determinación del contenido de humus según UNE-EN 1744-1/99, Granulometría de los áridos según UNE-EN 933.1.2/98-96-99 1M, Límite líquido según UNE 103.103/94, Límite plástico según UNE 103.104/93, Determinación del equivalente de arena según UNE-EN 933.8/00, Desgaste de los Ángeles según UNE-EN 1097-2/99,

Coeficiente de limpieza según UNE 146.130/00, Índice de lajas según UNE-EN 933-3/97 y Determinación de las caras de fractura según UNE-EN 933-5/99.

Uso relleno tipo terraplén: Granulometría de los suelos según UNE 103.101/95, Límite líquido según UNE 103.103/94, Límite plástico según UNE 103.104/93, Determinación de la Materia Orgánica por el método del permanganato potásico según UNE 103.204/93, Determinación del contenido de sales solubles en los suelos según NLT 114/99, Determinación del contenido de yesos en suelos según NLT 115/99, Asiento de colapso en suelos según NLT 254/99, Hinchamiento libre de un suelo en edómetro según UNE 103.601/96 y Determinación del índice CBR según UNE 103.502/95.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se han realizado los ensayos establecidos para el uso zahorras para firmes de carreteras y rellenos en terraplén según el PG-3 obteniendo los valores que se presentan en las tablas 1, 2, 3 y 4.

A continuación se muestran los valores de los ensayos realizados en el AGR fracción 0-25 mm para el uso zahorras para firmes de carreteras (Tabla 1).

Tabla 1. - Comparativa de resultados de ensayos realizados en el AGR 0-25 mm para uso zahorra con las prescripciones técnicas marcadas por PG-3.

Ensayos Base	AGR 0-25 mm	PG-3 (Máxima/mínima especificación)
<i>UNE-EN 1744-1/99 (SO₃)</i>	<i>0,052%</i>	<i><0,5% / <1%</i>
<i>UNE-EN 1744-1/99 (Humus)</i>	<i>Exento</i>	<i>Exento</i>
<i>UNE-EN 933.1.2/98-96-99 1M</i>	<i>TABLA 2</i>	<i>TABLA 2</i>
<i>UNE 103.103/94</i>	<i>No plástico</i>	<i>No plástico</i>
<i>UNE-EN 933.8/00</i>	<i>49</i>	<i>>35</i>
<i>UNE-EN1097-2/99</i>	<i>25,9</i>	<i><30 / <35</i>
<i>UNE 146.130/00</i>	<i>0,40%</i>	<i><2%</i>
<i>UNE-EN 933-3/97</i>	<i>6%</i>	<i><35%</i>
<i>UNE-EN 933-5/99</i>	<i>31%</i>	<i>≥75% - ≥50%</i>

La determinación del contenido total de azufre expresado en SO₃ resulta igual a 0,052%. La especificación mínima para este parámetro es <0,5%. Comparando estos dos valores se puede determinar que el AGR fracción 0-25 mm cumple con esta especificación.

En el AGR fracción 0-25 mm la determinación del contenido de humus es exento, por tanto, cumple con la condición exigida.

La tabla 2 presenta las especificaciones concretas para los husos granulométricos ZA25 y ZN25. Comparando los resultados obtenidos en la curva granulométrica del AGR 0-25 mm con dichos husos se puede mostrar la aptitud del AGR 0-25 mm para uso de zahorra artificial y natural.

El ensayo granulométrico realizado muestra los distintos valores para cada uno de los tamices especificados en el PG-3 para huso ZA25 y ZN25. En las figuras 4 y 5 se representan gráficamente dichos valores a la vez que se comparan con los husos granulométricos correspondientes a ZA25 y ZN25. Los valores cumplen para ambas especificaciones.

Tabla 2. - Comparativa de resultados del ensayo de análisis granulométrico realizado en el AGR 0-25 mm con las prescripciones técnicas marcadas por el PG-3 para dos tipos concretos de zahorra.

Tamices UNE-EN 933.2	AGR (0-25 mm) cernido en %	PG-3 (ZA25) cernido en %	PG-3 (ZN25) cernido en %
40 mm	100	100	100
25 mm	90	75-100	75-95
20 mm	81	65-90	65-90
8 mm	54	40-63	40-68
4 mm	38	26-45	27-51
2 mm	27	15-32	20-40
0,500 mm	14	7-21	7-26
0,250 mm	10	4-16	4-20
0,063 mm	5	0-9	0-11

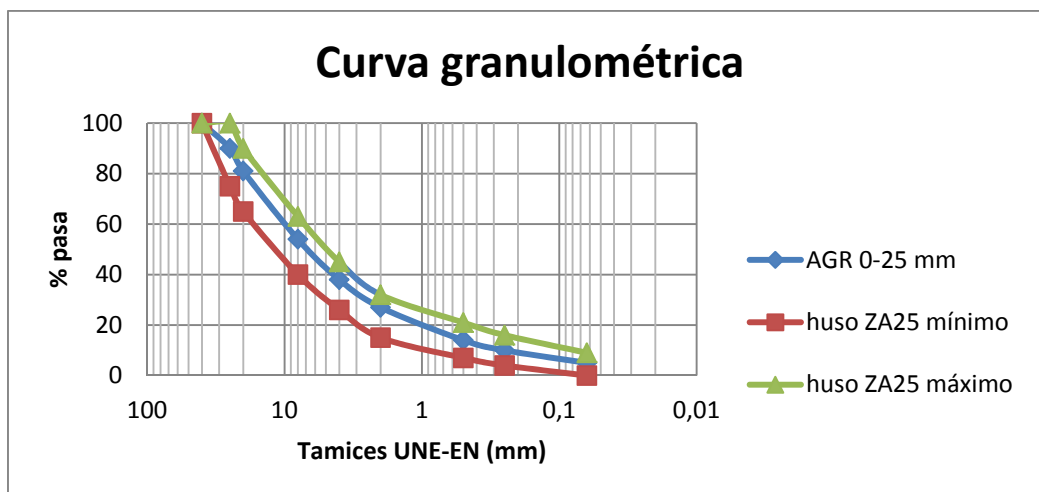


Figura 4. Curva granulométrica del AGR fracción 0-25 mm y huso granulométrico ZA25 según PG-3.

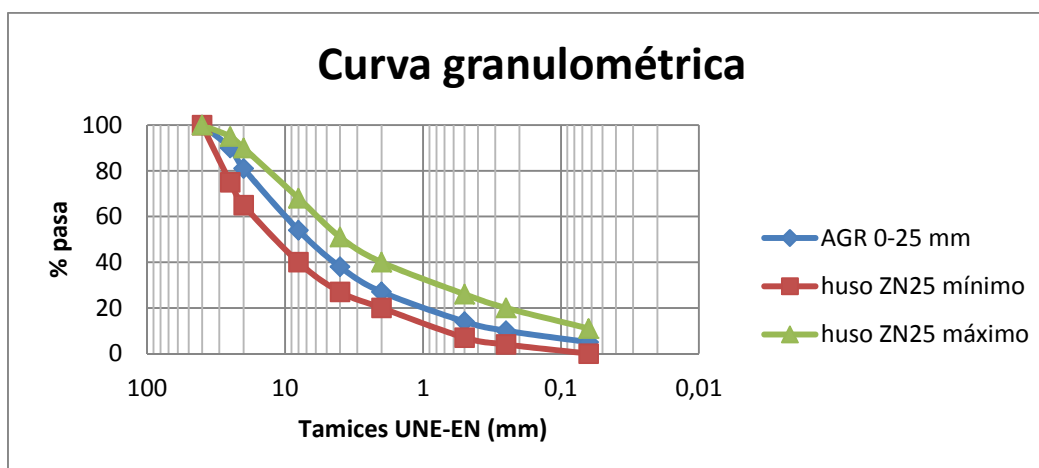


Figura 5. Curva granulométrica del AGR fracción 0-25 mm y huso granulométrico ZN25 según PG-3.

El requisito en el parámetro del índice de plasticidad para uso zahorra artificial es de no plástico. La realización del límite líquido en el AGR fracción 0-25 mm ha permitido la comprobación de que su índice de plasticidad es no plástico.

El ensayo de equivalente de arena tiene un valor de 49 y por tanto, resulta apto ya que dicho valor es superior a 35 prescrito por el PG-3.

El resultado de 25,9 obtenido en el ensayo de desgaste de los Ángeles indica la aptitud del AGR fracción 0-25 mm para uso zahorra.

El valor del coeficiente de limpieza que es de 0,40 indica la aptitud para el uso zahorra.

En el ensayo de índice de lajas determina un contenido en las mismas de 6%, dando un valor inferior al prescrito para ser apto según el PG-3 para uso zahorra.

El ensayo de caras de fractura determina un contenido del 31%, un valor no admisible en el uso zahorra artificial pero sí en el uso zahorra natural por tanto, este valor implica el paso del AGR fracción 0-25 mm de categoría zahorra artificial a zahorra natural.

La mejora del porcentaje de caras de fractura obtenido se puede llevar a cabo mediante diferentes procedimientos: la intensificación en la trituración del material, una selección de un material con mayor resistencia estructural y la mezcla con áridos naturales en distintas cantidades. Estos tres procedimientos amplían notablemente el porcentaje de caras de fractura.

En las tablas 3 y 4 se presentan los resultados de los ensayos realizados en los AGR's fracciones 0-40 mm y 0-100 mm respectivamente, para el uso relleno tipo terraplén

Tabla 3. – Comparativa de resultados de ensayos realizados en el AGR 0-40 mm para uso relleno con las prescripciones técnicas marcadas por el PG-3.

Ensayos Relleno	AGR fracción 0-40 mm	PG-3 (Máxima/mínima especificación)
UNE 103.101/95	$D_{m\acute{a}x} = 25 \text{ mm}$ y pasa 0,40 mm = 15%	$D_{m\acute{a}x} \leq 100 \text{ mm}$ y Pasa 0,40 \leq 15% /Cualquier granulometría
UNE 103.103/94	--	LL <30 / LL <65
ÍNDICE PLASTICIDAD (según UNE 103.103 y 103.104)	No Plástico	IP <10 /Si LL >40 \rightarrow IP >0,73(LL-20)
UNE 103.204/93	0,64%	<0,2% / <5%
NLT 114/99	0,508%	<0,2% / <1%
NLT 115/99	0,432%	<5%
NLT 254/99	0,39%	<1%
UNE 103.601/96	-0,140%	<3%
UNE 103.502/95	112,4	≥ 5 / ≥ 3

En la tabla 3 se puede observar del ensayo granulométrico que el tamaño máximo hallado es de 25 mm y que el cernido por el tamiz 0,40 mm es igual a 15%. Estos dos valores indican que el AGR fracción 0-40 mm cumple como suelo seleccionado, tanto en la condición de tamaño máximo (≤ 100 mm) como en la condición correspondiente al porcentaje que pasa por el tamiz 0,40 mm (≤ 15 %)

Del ensayo de límite líquido se comprueba la no plasticidad del AGR 0-40 mm, por tanto, su índice de plasticidad resulta no plástico. La prescripción del PG-3 de esta característica física del material para suelo seleccionado es que su índice de plasticidad sea menor de 10, por tanto, también aquí cumple el AGR 0-40 mm como suelo seleccionado.

Del resultado obtenido en la determinación de materia orgánica oxidable se ha hallado un valor de 0,64%. La condición para que sea considerado como suelo seleccionado es que dicho valor no sea superior a 0,2%. En este caso, se puede decir que no cumple con la especificación requerida para suelo seleccionado pero sí para suelo adecuado cuya condición para el contenido en materia orgánica es que debe ser menor a 1%.

En el ensayo para la determinación del contenido de sales solubles se ha obtenido un resultado de 0,508% y la prescripción para este parámetro es que debe ser menor de 0,2%, tanto para suelo seleccionado como para suelo adecuado. Con este resultado el AGR 0-40 mm quedaría pues, fuera de la clasificación tanto de suelo seleccionado como de suelo adecuado pero sí dentro de la clasificación de suelo tolerable, que permite un contenido de sales solubles inferior al 1%.

Otra determinación a tener en cuenta para la clasificación de un suelo según el PG-3 es el contenido en yesos. El valor obtenido en esta determinación es 0,432%. El requisito para suelo tolerable en esta determinación es que el valor hallado sea inferior al 5%, por lo que el AGR 0-40 mm cumple como suelo tolerable.

El valor de 0,39% obtenido en el ensayo de colapso nos indica que cumple la condición establecida para la clasificación como suelo tolerable ya que para esta clasificación, el umbral establecido es de inferior al 1%.

En el ensayo de hinchamiento libre en edómetro se ha determinado un resultado igual a -0,140%. La especificación para un suelo tolerable es que dicho valor sea inferior al 3%, por tanto, el AGR 0-40 mm se mantiene en dicha clasificación.

Por último, en el ensayo de determinación del índice C.B.R. se obtiene, para un grado de compactación equivalente al 100% de su densidad próctor modificado, un índice C.B.R. igual a 112,4. La especificación para suelos tolerables, adecuados o seleccionados para este parámetro es que su índice C.B.R. sea mayor o igual a 3, si se van utilizar en la construcción del núcleo y cimiento del terraplén y, mayor o igual a 5 para suelos adecuados o seleccionados si se van a utilizar en la construcción de la coronación del terraplén. El resultado muestra que se cumple y con excelencia dicho requisito.

De los resultados obtenidos en los ensayos realizados se puede concluir que el árido granular reciclado 0-40 mm es apto para su utilización como relleno tipo terraplén y que además, presenta un capacidad de soporte extraordinaria como así lo reflejan los valores de índice C.B.R. obtenidos.

La fabricación del AGR 0-100 mm consiste en la mezcla del AGR 0-40 mm con otro AGR de la misma naturaleza pétreo pero de fracción 40-100 mm, por lo que los ensayos que se han realizado en la fracción fina (<2 mm) se han obviado en el AGR 0-100 mm al ser la misma fracción fina que la del AGR 0-40 mm. Por ello, la discusión realizada en la fracción 0-40 mm es aplicable a la fracción 0-100 mm excepto en el análisis granulométrico e índice C.B.R., que se analizan de forma concreta.

Tabla 4. – Comparativa de resultados de ensayos realizados en el AGR 0-100 mm para uso relleno con las prescripciones técnicas marcadas por PG-3.

Ensayos Relleno	AGR fracción 0-100 mm	PG-3 (Máxima/mínima especificación)
UNE 103.101/95	$D_{m\acute{a}x} = 80 \text{ mm}$ y pasa $0,40 \text{ mm} = 14\%$	$D_{m\acute{a}x} \leq 100 \text{ mm}$ y Pasa $0,40 \leq 15\%$ / Cualquier granulometría
UNE 103.103/94	--	LL <30 / LL <65
ÍNDICE PLASTICIDAD (según UNE 103.103 Y 103.104)	No Plástico	IP <10 /Si LL >40 → IP >0,73(LL-20)
UNE 103.204/93	0,64%	<0,2% / <5%
NLT 114/99	0,508%	<0,2% / <1%
NLT 115/99	0,432%	<5%
NLT 254/99	0,39%	< 1%
UNE 103.601/96	-0,140%	<3%
UNE 103.502/95	145,7	≥ 5 / ≥ 3

En la tabla 4 se presenta el resultado correspondiente al cernido por el tamiz 0,40 siendo igual a 14% y un tamaño máximo de 80 mm. Los valores de estos resultados cumplen con las condiciones que se exigen para la categoría de suelo seleccionado, por tanto, el AGR fracción 0-100 mm cumple como suelo seleccionado.

De igual modo que para el AGR 0-40 mm, se obtienen valores de índice C.B.R. en el AGR 0-100 mm que superan y con mucha holgura los valores establecidos por el PG-3. De nuevo se constata el alto rendimiento que se puede obtener de este tipo de materiales reciclados en cuanto a su índice de compacidad.

Se puede extraer de los datos presentados en las Tablas 3 y 4 que a partir de los valores obtenidos en los AGR's se podrían clasificar como suelos seleccionados según el PG-3

con la salvedad del contenido en materia orgánica y sales solubles. Estos dos parámetros pueden ser controlados y mitigadas sus cantidades en la preselección y tratamientos previos. Por tanto, se puede obtener suelos con la máxima categorización contemplada en el PG-3.

Cabe destacar que las propiedades mecánicas que ofrecen estos AGR's en comparación con las de los suelos naturales resultan excepcionales, ya que los valores obtenidos para el índice C.B.R. (UNE 103.502/95) son más propios de zahorras que de suelos naturales.

CONCLUSIONES

El árido granular reciclado fracción 0-25 mm para uso zahorra presenta todas las propiedades propias de una zahorra artificial salvo el resultado obtenido en el ensayo de caras de fractura, que puede verse mejorado con la intensificación en la trituración del material o en una selección más severa del material de origen, primando los de mayor resistencia estructural, o la mezcla con áridos naturales en distintas cantidades.

Los ensayos realizados en el AGR fracción 0-25 mm demostraron la aptitud de dicho AGR para uso como zahorra en la construcción de firmes de carreteras y por tanto, la posibilidad de la utilización de los RCD's como un recurso en la fabricación de AGR's.

Los valores obtenidos en los AGR's (fracción 0-40 mm y 0-100 mm) para uso relleno tipo terraplén podrían ser suelos seleccionados, según el PG-3, controlando las cantidades de Materia orgánica y Sales solubles mediante la preselección y tratamientos previos de los materiales pétreos.

La investigación realizada muestra la aptitud de los AGR's objeto del estudio y por tanto, la viabilidad del reciclaje de los RCD's como AGR's.

REFERENCIAS

AENOR., 1993, Norma Española UNE 103.104. Determinación del límite plástico de un suelo, Norma Española UNE 103.204. Determinación del contenido en materia orgánica oxidable en suelos, método del permanganato potásico.

AENOR., 1994, Norma Española UNE 103.103. Determinación del límite líquido de un suelo por el método de Casagrande.

AENOR., 1995, Norma Española UNE 103.101. Análisis granulométrico de suelos por tamizado, Norma Española UNE 103.502 Método de ensayo para determinar en laboratorio el índice C.B.R. de un suelo.

AENOR., 1996, Norma Española UNE 103.601. Ensayo del hinchamiento libre de un suelo en edómetro.

AENOR., 2000, Norma Española UNE 146.130. Determinación del coeficiente de limpieza.

Blanco, D., Pardo, F., Sanfeliu, T., Gallardo A., Vicente, A. B., Soriano, M. D. 2012. Diseño de una metodología para la cuantificación de los residuos de construcción y demolición: aplicación a la Plana de Castellón. 16th Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos. Valencia: 11-07-2012. Internacional. 2012 AEIPRO. ISBN: 978-84-616-0668-9.

CEDEX., 1999, Norma Laboratorio de Transporte NLT 114. Determinación del contenido de sales solubles en los suelos, NLT 115. Determinación del contenido de yesos en suelos, NLT 254. Asiento de colapso en suelos.

CEN-AENOR., 1997, Norma Española-Norma Europea UNE-EN 933-3. Determinación de la forma de las partículas. Índice de lajas.

CEN-AENOR., 1999, Norma Española-Norma Europea UNE-EN 1744-1. Determinación del contenido total de azufre expresado en SO_3 y determinación del contenido de humus, Norma Española-Norma Europea UNE-EN 933.1. Granulometría de los áridos, Norma Española-Norma Europea UNE-EN 1097-2. Desgaste de los Ángeles y Norma Española-Norma Europea UNE-EN 933.5. Determinación de las caras de fractura.

CEN-AENOR., 2000, Norma Española-Norma Europea UNE-EN 933-8. Determinación del equivalente de arena.

Ministerio de Fomento., 2002. Pliego de Prescripciones técnicas Generales para obras de carreteras y puentes. (ORDEN FOM/1382/2002, de 16 de mayo. BOE 11-6-02)

Ministerio de Fomento., 2004. Pliego de Prescripciones técnicas Generales para obras de carreteras y puentes. (ORDEN FOM/891/2004, de 1 de marzo. BOE 6-4-04)

Ministerio de Medio Ambiente., 2007. II Plan Nacional Integrado de Residuos (PNIR) 2008-2015. Versión preliminar. Anexo 6.