

# HAC2018 | V Congreso Iberoamericano de Hormigón Autocompactante y Hormigones Especiales

Valencia, 5 y 6 de Marzo de 2018

## El uso de hormigones reciclados en el sector agroganadero

Andrés Juan-Valdés <sup>(1)</sup>, Julia García-González <sup>(1)</sup>, Desirée Rodríguez-Robles <sup>(1)</sup>, Julia M<sup>a</sup> Morán-del Pozo <sup>(1)</sup>, M. Ignacio Guerra-Romero <sup>(1)</sup> y Nele De Belie <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Escuela Superior y Técnica de Ingeniería Agraria, Universidad de León, España.

<sup>(2)</sup> Magnel Laboratory for Concrete Research, Universidad de Gante, Bélgica.

DOI: <http://dx.doi.org/10.4995/HAC2018.2018.6557>

### RESUMEN

El impacto medioambiental ocasionado durante las últimas décadas por el sector de la construcción, ha fomentado su interés por el conocimiento y uso de los materiales reciclados. En el presente estudio se muestran las diferencias de comportamiento existentes entre un hormigón convencional y un hormigón reciclado (50% del árido grueso natural se ha sustituido por árido reciclado mixto) cuando estos son utilizados en el sector agroganadero. Este tipo de ambientes son muy exigentes con los materiales constructivos, ya que la presencia de ácidos orgánicos generados por los efluentes del material ensilado y las excreciones de los animales junto con la abrasión mecánica ejercida por la maquinaria y los propios animales, ocasionan un alto nivel de degradación.

Empleando un equipo de ensayo de degradación acelerada implementado en la Universidad de Gante (Bélgica), se han sometido las probetas de hormigón a ciclos de degradación ácida en una mezcla de base acuosa donde se incorporan ácido láctico y ácido acético, con una concentración de 30g/l. Los resultados muestran como el hormigón reciclado presenta una mayor resistencia a los ataques ácidos y mecánicos que pueden darse en un ambiente ganadero, debido al efecto que ejerce el material cerámico sobre la red porosa del hormigón.

**PALABRAS CLAVE:** Ataque ácido, árido reciclado, residuos de construcción y demolición.

### 1.- INTRODUCCIÓN

El impacto medioambiental ocasionado durante las últimas décadas por el sector de la construcción, teniendo en cuenta tanto la elevada utilización de recursos naturales como la generación de grandes volúmenes de residuos, ha fomentado el interés de dicho sector por el conocimiento y uso de los hormigones reciclados. Este tipo de material proporciona una alternativa capaz de solventar los dos costes ecológicos mencionados anteriormente, ya que el uso de residuos de construcción y demolición en la elaboración de nuevos hormigones

disminuye las necesidades de deposición en el medio de dicho flujo residual, así como también reduce la demanda de nuevas extracciones.

En países como España y Portugal, donde la práctica constructiva está fuertemente caracterizada por el uso de materiales cerámicos como son ladrillos y tejas [1], el 70% de los residuos de construcción y demolición generados poseen al menos un 30% de material cerámico [2]. Si a este hecho se le une la buena resistencia que presentan este tipo de materiales constructivos frente a los ataques ácidos, resulta interesante analizar el comportamiento desarrollado por hormigones que incorporen áridos reciclados con contenidos elevados de fracción cerámica en ambientes ácidos, como es el caso del sector agroganadero.

Los ambientes agroganaderos son muy exigentes con los materiales constructivos, ya que la presencia de ácidos orgánicos generados por los efluentes del material ensilado y las excreciones de los animales junto con la abrasión mecánica ejercida por los animales y la maquinaria, ocasionan un alto nivel de degradación [3]. El material ensilado que se almacena en silos horizontales de hormigón produce alrededor de 140 l/t de efluentes que contienen ácido acético y láctico, con un valor de pH cercano a 4 [4]. Si se trata de estiércol líquido, este contiene una mezcla de ácidos volátiles como son el acético, el propiónico, el butírico y el isobutírico, con un pH alrededor de 6-8 [5]. Estudios existentes de Bertron et al. [6] sugirieron que el uso de ácido acético es adecuado para recrear el ataque ácido del estiércol líquido sobre el hormigón, mientras que provoca efectos más suaves que los producidos por efluentes de ensilado. Por lo tanto, para simular el deterioro del hormigón en ambos ambientes agrícolas, se combinaron el ácido láctico y el acético ( $\text{CH}_3\text{-CHOH-COOH}$  y  $\text{CH}_3\text{-COOH}$ ). El proceso de cepillado que se llevó a cabo puede equipararse a la abrasión típica de desgaste ocasionada por animales y máquinas [7].

## 2.- MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1.- Materiales

Para todas las muestras de hormigón, se ha empleado cemento tipo CEM III/B 42.5 N SR LH LA, agua de grifo y áridos naturales silíceos. Como árido reciclado se emplean 4 tipos distintos de material (AR-1, AR-2, AR-3, AR-4), diferenciados entre sí por su contenido de fracción cerámica principalmente, de manera que el árido identificado con el número 1 se corresponde con el menor contenido de material cerámico y al mayor contenido de cerámica se le asigna el número 4. En la Tabla 1 se pueden observar los distintos componentes que integran las distintas muestras determinados según la norma EN 933-11/AC (2009) [8]. Tres de las muestras utilizadas son áridos comerciales facilitados por plantas de gestión de residuos de construcción y demolición españolas y belgas: TEC-REC, Madrid, España (AR-1); ARD, Amberes, Bélgica (AR-2); y Bierzo Recicla, Castilla y León, España (AR-4). Sin embargo, la muestra AR-3 ha sido obtenida en laboratorio, con el fin de alcanzar un contenido de fracción cerámica prefijado. La caracterización de los áridos (Tabla 1) se ha llevado a cabo de acuerdo a las normas UNE-EN 933-1: 2012 [9], UNE-EN 933-3: 2012 [10], UNE-EN 1097-6:2001/A1:2006 [11] y UNE-EN 1097-2: 2010 [12].

**Tabla 1.** Composición y caracterización física y mecánica de los áridos reciclados.

	<i>AR-1</i>	<i>AR-2</i>	<i>AR-3</i>	<i>AR-4</i>
<b>Composición</b>				
Ru (piedra natural) (%)	17.51	22.46	15.07	0.00
Rc (hormigón) (%)	44.11	37.05	17.31	0.00
Rb (ladrillos y tejas) (%)	33.56	38.44	66.38	100.00
Ra (mat. bituminoso) (%)	0.44	1.74	0.43	0.00
Rg (vidrio) (%)	0.75	0.00	0.19	0.00
X (yeso e impurezas) (%)	3.64	0.30	0.63	0.00
<b>Caracterización física y mecánica</b>				
Contenido de finos (%)	0.06	0.03	0.05	0.08
Índice de lajas (%)	14.75	19.10	24.67	32.13
Densidad de partículas secadas en estufa (Mg/m <sup>3</sup> )	2.08	2.06	1.94	1.80
Absorción de agua (%)	8.53	8.64	10.44	10.77
Coefficiente de Los Ángeles (%)	40.99	39.00	33.23	40.00

Los valores obtenidos durante la caracterización se han contrastado con los requisitos establecidos en la instrucción EHE-08 (2008) [13] y la norma UNE-EN 12620:2003+A1:2009 [14], comprobándose que todos los límites se cumplen (ya sea en el estado original de las muestras en su recepción o tras haber sido sometidas a un proceso de tamizado), a excepción de su elevada absorción de agua, tratándose de un problema intrínseco al uso de áridos reciclados, debido principalmente a las cantidades de mortero adherido que presentan.

Tanto las dosificaciones de los hormigones reciclados (HR-1, HR-2, HR-3, HR-4, designadas con un dígito numérico que permite relacionarlas con el tipo de árido reciclado que incorporan) como la del hormigón convencional utilizado como control (HC) (Tabla 2) se han calculado en base al método De la Peña [15] y la parábola de Fuller [16], para una relación agua/cemento de 0.55 y un contenido de cemento de 390.91 kg/m<sup>3</sup>. En las muestras de hormigón reciclado, se sustituye un 50% del árido grueso natural por árido reciclado mixto procedente de las distintas muestras.

**Tabla 2.** Dosificación de los hormigones elaborados

	<i>HC</i>	<i>HR-1</i>	<i>HR-2</i>	<i>HR-3</i>	<i>HR-4</i>
Agua (l/m <sup>3</sup> )	215	215	215	215	215
Cemento (kg/m <sup>3</sup> )	390.91	390.91	390.91	390.91	390.91
Arena (kg/m <sup>3</sup> )	480.48	703.46	736.08	766.73	821.06
Grava 2-8 mm (kg/m <sup>3</sup> )	1000.3	368.32	356.9	335.93	307.79
Grava 8-16 mm (kg/m <sup>3</sup> )	250.07	92.08	89.23	83.98	76.95
Árido reciclado (kg/m <sup>3</sup> )	0	460.4	446.13	419.92	384.74

## 2.2.- Resistencia frente a ataques de degradación ácida acelerada

Para evaluar la resistencia alcanzada por los distintos hormigones frente a ataques ácidos se ha utilizado el equipo de degradación ácida acelerada desarrollado en la Universidad de Gante por De Belie et al. [17] (Fig. 1: a. Equipo de ensayo de degradación ácida acelerada; b. Recipientes para la solución ácida y cubiertas para disminuir la evaporación; c. Dispositivo de cepillado mecánico; d. Controlador de velocidades; e. Dispositivo laser de medición). Dicho equipo permite combinar el ataque químico desarrollado por la solución ácida empleada (base acuosa donde se incorporan ácido láctico y ácido acético con una concentración de 30g/l) y el desgaste mecánico que provoca el barrido de las probetas mediante cepillos rotatorios.

Para llevar a cabo este ensayo, se elaboran probetas cilíndricas de 230 mm de diámetro y 70 mm de alto, las cuales son provistas de una placa metálica en su superficie perimetral que servirá como punto de referencia en la toma de medidas mediante laser (Fig. 2: a. Probetas para en ensayo de degradación ácida acelerada; b. Probetas provistas de placa metálica para referenciar el inicio de las mediciones). En cada ciclo de degradación, las probetas están rotando durante 7 días, alternando de este modo su contacto con la solución ácida y con el aire. Tras este periodo, los recipientes de ácido se bajan permitiendo el secado de las probetas durante 2 horas y se aplican tres barridos sobre la superficie de ensayo, el cual simula el desgaste mecánico. Un sistema de medición laser, permite posteriormente cuantificar la disminución de radio experimentada por las probetas, y de este modo la resistencia de los distintos materiales frente a este tipo de degradación.

Antes de iniciar los ciclos de desgaste, se lleva a cabo el registro de la distancia existente entre la probeta y el sensor laser (para obtener el radio inicial de la probeta), mientras la probeta gira a la velocidad de rotación más alta que permite el aparato (24.41 rev/h). Haciendo uso de una palanca manual de control de velocidad (Fig. 1.d.), el equipo permite conseguir dos velocidades de giro, la más alta que se activa durante las mediciones laser, el cepillado y el secado de las probetas (24.41 rev/h), y otra más baja (1.04 rev/h) que se emplea durante el ataque ácido. Durante el ensayo, las probetas se someten a 6 ciclos de degradación, para los que se cuantifica la degradación experimentada por las probetas en función de las variaciones de radio registradas por el dispositivo medidor laser. Además, se ha controlado el valor del pH que presenta la solución ácida en contacto las probetas tanto al inicio como al final de cada ciclo, ya que se trata de un parámetro influyente en la intensidad del efecto degradante.

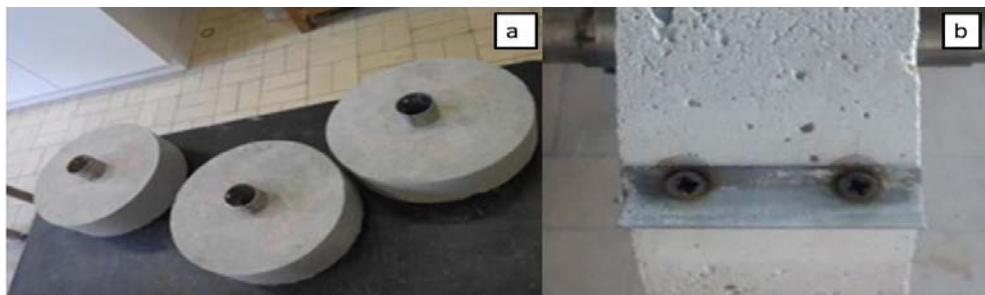
## 3.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 3 muestra la evolución del pH de la solución ácida durante los 6 ciclos de degradación, observándose que los valores del parámetro oscilan entre 2.1-2.3 al inicio de cada ciclo y van aumentando hasta valores de 4.4-4.5 al transcurrir los 7 días que integran un ciclo. Estos valores son similares a los observados por autores como Gruyaert [18], quien también analiza el comportamiento de hormigones reciclados en ambientes agrícolas.

Se ha observado como a medida que aumenta el número de ciclos experimentados, el nivel de neutralización de la solución ácida disminuye con el aumento de contenido cerámico presente en la muestra (Fig. 4). Dicho resultado muestra una menor decalcificación de los productos de hidratación en presencia de árido reciclado.



**Figura 1.** Equipo de ensayo de degradación ácida acelerada



**Figura 2.** Probetas para en ensayo de degradación ácida acelerada. Probetas provistas de placa metálica para referenciar el inicio de las mediciones

## El uso de hormigones reciclados en el sector agroganadero

HAC2018 | V Congreso Iberoamericano de Hormigón Autocompactante y Hormigones Especiales

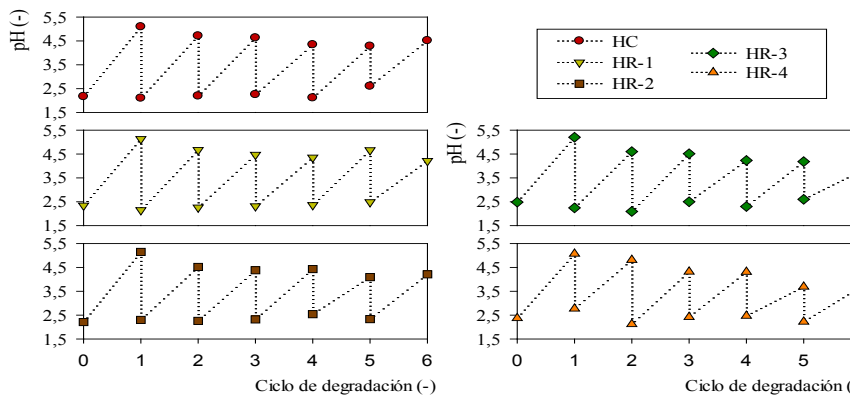


Figura 3. Evolución del pH de la solución ácida durante el ensayo de degradación acelerada

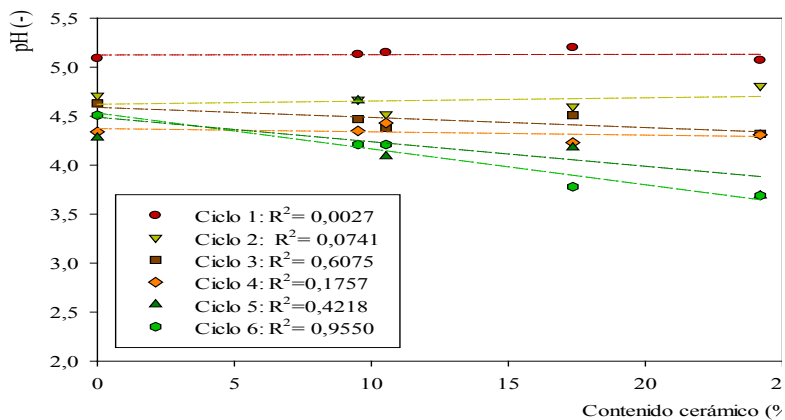


Figura 4. Relación entre el pH y el contenido de material cerámico en el peso total del árido

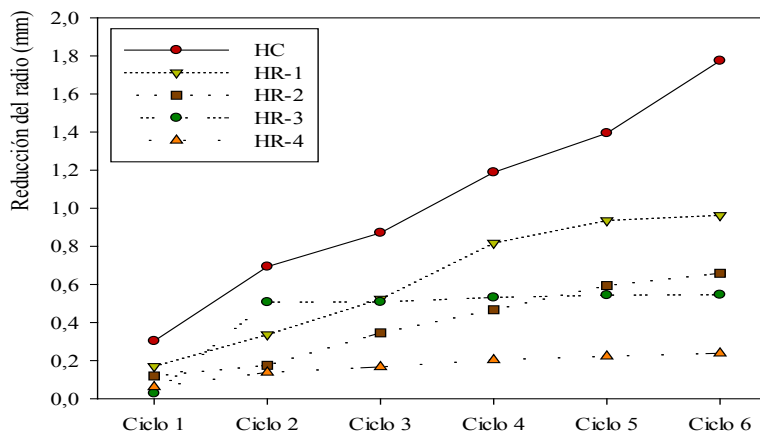
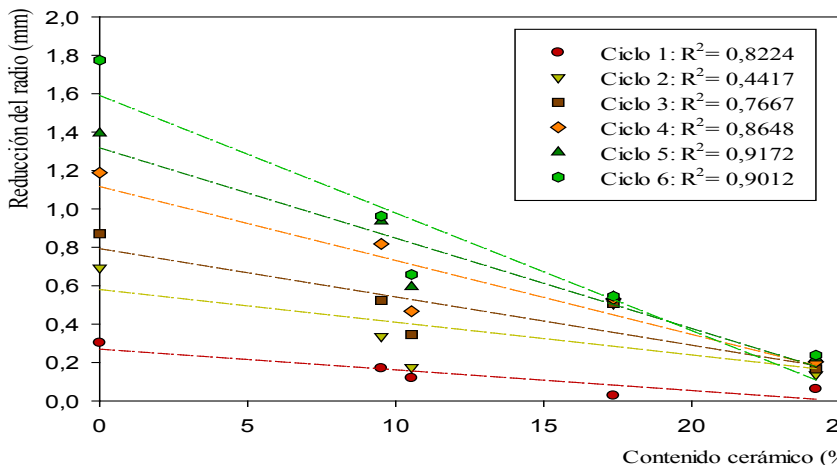


Figura 5. Evolución de la reducción de radio experimentada por las distintas mezclas de hormigón

La disminución de radio experimentada por cada una de las muestras de hormigón a medida que aumentaba el número de ciclos de degradación se representa en la Figura 5. En ella se puede observar como las muestras con mayor contenido cerámico son las que menores disminuciones de radio han experimentado al final del ensayo.

El mejor rendimiento de los hormigones reciclados frente a los ataques ácidos puede explicarse por el efecto beneficioso de los materiales puzolánicos presentes en los residuos de construcción y demolición [4] y la presencia de elementos secundarios como el hierro, el aluminio, etc., en la matriz de cemento como consecuencia de la incorporación de áridos reciclados [19], las cuales alteran el proceso de hidratación de los productos cementantes [18]. Por otro lado, cabría destacar que la sustitución de los áridos naturales por áridos reciclados, con niveles de absorción de agua superiores, reduce la relación agua/cemento efectiva de la mezcla [18-21], con lo que el volumen de la red porosa de la matriz cementante es inferior, resultando en una mejor respuesta del material frente a ataques por medios fluidos. Por ello, se obtuvieron niveles de correlación significativos entre la reducción de radios registrada y el contenido cerámico presente en los áridos (Fig. 6).

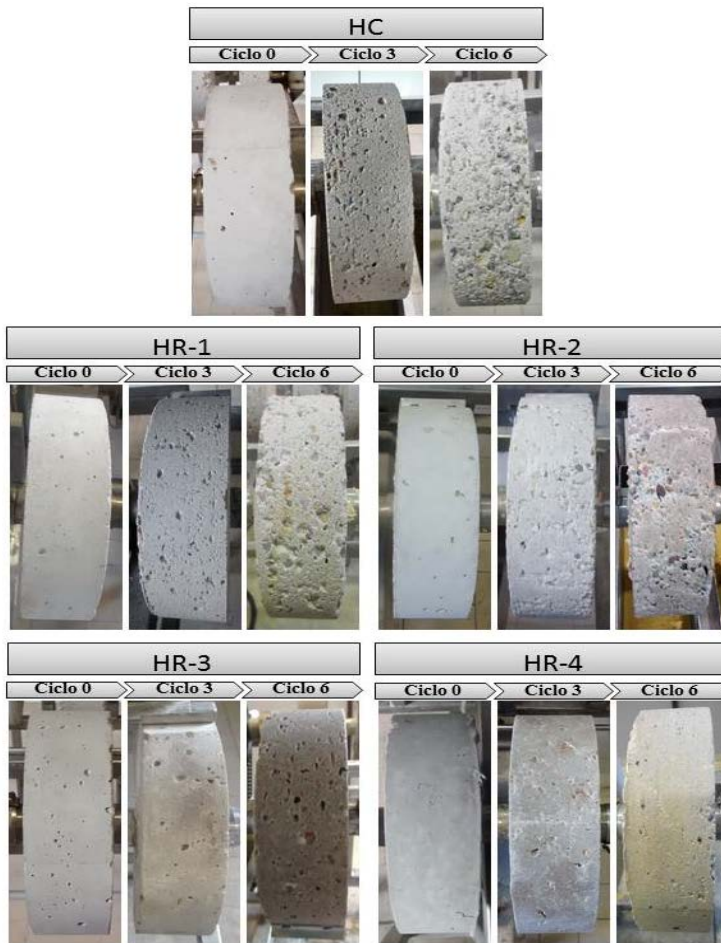


**Figura 6.** Relación entre la reducción de radio y el contenido de material cerámico en el peso total del árido

Los resultados relativos a la variación de radio se corresponden con la inspección visual que fue llevada a cabo durante el desarrollo del ensayo, la cual se presenta en la Figura 7, donde se muestra el estado de las distintas probetas al inicio del ensayo y tras haber sido sometidas a 3 y 6 ciclos de degradación ácida acelerada. El aspecto final de las distintas muestras permite apreciar como a medida que aumenta el contenido cerámico de las probetas, su superficie de ensayo ha desarrollado una menor degradación.

## El uso de hormigones reciclados en el sector agroganadero

HAC2018 | V Congreso Iberoamericano de Hormigón Autocompactante y Hormigones Especiales



**Figura 7.** Evolución de la degradación superficial de las probetas

### 4.- CONCLUSIONES

La sustitución parcial de áridos gruesos naturales por áridos reciclados mixtos y cerámicos procedentes de residuos de construcción y demolición, pese a los elevados valores de absorción de agua que presentan estos últimos, logra alcanzar comportamientos adecuados en determinadas circunstancias, como las estudiadas en el presente trabajo, en las que el hormigón reciclado llega incluso a superar las prestaciones ofrecidas por un hormigón convencional. Cuando los hormigones reciclados se someten a ciclos de degradación ácida acelerada, su comportamiento resistente tiende a intensificarse a medida que se incrementa el contenido de fracción cerámica presente en los áridos incorporados. Dicha respuesta se debe principalmente a dos factores, la actividad puzolánica desarrollada por este tipo de áridos donde el contenido de material cerámico es significativo y las alteraciones



provocadas en la red porosa del hormigón ocasionadas por la mayor absorción de agua intrínseca a los áridos reciclados.

## AGRADECIMIENTOS

Este artículo ha sido desarrollado gracias a la financiación del Ministerio de Economía y Competitividad a través del proyecto BIA2013-48876-C3-3-R, así como de la ayuda FPI BES-2011-047159 asociada al proyecto BIA2010-21194-C03-02. También a la financiación del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte por la ayuda FPU AP2010-0613. Finalmente, los autores agradecen la desinteresada participación de las empresas TEC-REC desde Madrid; ARD desde Amberes; y Bierzo Recicla desde Castilla y León.

## REFERENCIAS

- [1] de Brito, J., Pereira, A.S., and Correia, J.R., 'Mechanical behaviour of non-structural concrete made with recycled ceramic aggregates', *Cement and Concrete Composites* **27** (4) (2005) 429–433.
- [2] Güell-Ferré, A., Vázquez-Ramonich, E., Varela-Pinto, E., Serna-Ros, P., Martínez-Abella, F., López-Gayarre, F., Barra-Bizinotto, M., Tirado-Alonso, A., Romero-Casado, A., and Girbés-Clari, I., 'Guía Española de áridos reciclados procedentes de Residuos de Construcción y Demolición', (Fueyo Editores, Madrid, 2012).
- [3] Zivica, V. and Bajza, A., 'Acidic attack of cement based materials — a review.: Part 1. Principle of acidic attack', *Construction and Building Materials* **15** (8) (2001) 331–340.
- [4] O'Donnell, C., Dodd, V.A., O'Kiely, P., and Richardson, M., 'A Study of the Effects of Silage Effluent on Concrete: Part 1, Significance of Concrete Characteristics', *Journal of Agricultural Engineering Research* **60** (2) (1995) 83–92.
- [5] Williams, A.G., 'Organic acids, biochemical oxygen demand and chemical oxygen demand in the soluble fraction of piggyery slurry', *Journal of the Science of Food and Agriculture* **34** (3) (1983) 212–220.
- [6] Bertron, A., Duchesne, J., and Escadeillas, G., 'Attack of cement pastes exposed to organic acids in manure', *Cement and Concrete Composites* **27** (9–10) (2005) 898–909.
- [7] Hutchings, I.M., 'Abrasion processes in wear and manufacturing', *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology* **216** (2) (2002) 55–62.
- [8] UNE-EN 933-11:2009/AC:2010. Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 11: Ensayo de clasificación de los componentes de los áridos gruesos reciclados. AENOR. Madrid. España. 2010.

- [9] UNE-EN 933-1. Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 1: Determinación de la granulometría de las partículas. Método del tamizado. AENOR. Madrid. España. 2012.
- [10] UNE-EN 933-3. Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 3: Determinación de la forma de las partículas. Índice de lascas. AENOR. Madrid. España. 2012.
- [11] UNE-EN 1097-6:2001/A1:2006. Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 6: Determinación de la densidad de partículas y la absorción de agua. AENOR. Madrid. España. 2014.
- [12] UNE-EN 1097-2: 2010. Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 2: Métodos para la determinación de la resistencia a la fragmentación. AENOR. Madrid. España. 2010.
- [13] EHE-08. Instrucción de Hormigón Estructural. Comisión Permanente del Hormigón. Ministerio de Fomento. España. 2008.
- [14] UNE-EN 12620:2003+A1:2009. Áridos para hormigón. AENOR. Madrid. España. 2009.
- [15] Jiménez Montoya,P., Arroyo Portero,J.C., Morán Cabré,F., and García Meseguer,Á., 'Hormigón Armado: basado en la EHE-2008. Adaptada al Código Modelo y al Eurocódigo. EC-2', (Gustavo Gili, España, 2009).
- [16] Fuller,W.B. and Thompson,S.E., 'The laws of proportioning concrete', Transactions of the American Society of Civil Engineers **59** (2) (1907) 67–143.
- [17] De Belie,N., Monteny,J., and Taerwe,L., 'Apparatus for accelerated degradation testing of concrete specimens', Materials and Structures **35** (7) (2002) 427–433.
- [18] Gruyaert,E., 'Effect of blast-furnace slag as cement replacement on hydration, microstructure, strength and durability of concrete', (Universidad de Gante, Gante, 2011).
- [19] Bertron,A., Escadeillas,G., and Duchesne,J., 'Cement pastes alteration by liquid manure organic acids: chemical and mineralogical characterization', Cement and Concrete Research **34** (10) (2004) 1823–1835.
- [20] De Belie,N., Verselder,H.J., De Blaere,B., Van Nieuwenburg,D., and Verschoore,R., 'Influence of the cement type on the resistance of concrete to feed acids', Cement and Concrete Research **26** (11) (1996) 1717–1725.
- [21] De Belie,N., 'On-farm trial to determine the durability of different concrete slats for fattening pigs', Journal of agricultural engineering research **68** (4) (1997) 311–316.