

Actas del I Congreso Internacional de Construcción Sostenible y Soluciones Eco-eficientes

ANÁLISIS DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN EN ALBAÑILERÍA PARA EVITAR SU GENERACIÓN

¹Villoria Sáez, P.; del Río Merino, M.; Romaniega Piñeiro, S.
¹Dpto. Construcciones Arquitectónicas y su control. EUATM UPM.
Avda. Juan de Herrera, 6 28040 Madrid
e-mail: ¹paola.villoria@upm.es

RESUMEN

La dificultad de hacer frente a los residuos de construcción y demolición (RCD) generados en las obras de edificación no es nueva y continúa siendo un problema ambiental significativo. Actualmente, el sistema de recogida de los RCD en España se realiza de forma descentralizada por cada empresa sub-contratada en la obra, siendo necesario implementar medidas encaminadas a su minimización y correcta gestión.

Durante los últimos años, se han impulsado medidas encaminadas a mejorar y fomentar la reutilización y el reciclado de los RCD. Una solución generalizada para la valorización de los RCD es su reciclaje como material en jardines, bases o sub-bases de carreteras. Sin embargo, se ha prestado menos atención a aquellas medidas que evitan su generación en origen.

En este trabajo se identifica la fase de obra que más RCD produce, así como las categorías de RCD generados durante su ejecución. Para ello, se han analizado varias obras reales de edificación en aras a cuantificar los RCD generados. Los resultados de este estudio muestran que el capítulo de albañilería contribuye significativamente a la generación de RCD en obras de edificación residencial en España.

Por último, se propone un Manual de Buenas Prácticas (MBP) que contiene medidas o estrategias aplicadas durante el desarrollo de la albañilería encaminadas no solo a la prevención de los RCD, sino también a mejorar su gestión. La integración del MBP junto con el Estudio y Plan de Gestión de RCD (requeridos por la ley), potencia la gestión medioambiental de la empresa, favoreciendo la cohesión de la organización en todas las etapas del proceso constructivo, dando pie a establecer responsabilidades en materia de residuos y aportar un mayor control del proceso.

Keywords: residuos de construcción y demolición, gestión, albañilería, buenas prácticas, prevención.

1.- Introducción.

En los últimos años España ha producido en torno a 40 millones de toneladas anuales de residuos de construcción y demolición (RCD), lo que ha ocasionado un gran impacto medioambiental. En aras a mejorar esta situación, aparece el Real Decreto 105/2008 (Ministerio de la Presidencia), de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los RCD, aporta varias novedades a la regulación española en materia de residuos, entre las que destaca la obligación de elaborar un Plan y un Estudio de gestión de residuos para cada proyecto [1]. Así, los nuevos Estudios y Planes de Gestión de Residuos fomentan la minimización de los residuos evitables, la retirada selectiva y el reciclaje de los residuos inevitables, favoreciendo la reducción del impacto ambiental de la edificación.

A pesar del alto potencial de valorización de los RCD [2] y de la existencia de diversos modelos de gestión (en colegios profesionales, empresas constructoras, software...) a día de hoy, los profesionales todavía siguen priorizando la eliminación frente al reciclaje o reutilización, pues según el II Plan Nacional de RCD 2007-2015 (II PNRCD) el porcentaje de RCD reciclado en España, no llega ni en el mejor de los casos, al 18% del total producido [3]. Esta situación, se debe principalmente al tipo de sistema de recogida de residuos que se utilizan en la construcción de edificios, pues se realiza de forma descentralizada por cada empresa sub-contratada para la realización de la obra [4]. Esto significa que el principio de reducción de residuos no se aplica en la práctica, ya que no es considerado como una actividad en la planificación de la obra.

En general, los profesionales del sector no son conocedores de la cantidad de residuos que generan, ni de cómo éstos deben ser gestionados. La planificación de los RCD se limita al análisis de la cantidad total de residuo generado, siendo pocas las empresas que van más allá y clasifican esa cantidad según la actividad de la obra. Además, utilizan el mismo método de gestión para todas sus obras, sin tener en consideración las características de cada una de ellas, pudiendo solucionar la situación, en muchos de los casos, realizando una planificación previa [5].

Existe pues, una importante falta de planificación e implementación en obra de tareas que minimicen los residuos generados y favorezcan el reciclado. El desarrollo y utilización de ratios de generación de RCD más específicos permitirá una mejor estimación de los residuos que se van a generar y, en consecuencia, permitirá conocer de antemano la cantidad total de RCD y cuando se va a generar. Esta información es útil y necesaria para lograr un plan de gestión de RCD eficiente. Además, adoptar medidas preventivas de planificación es esencial para establecer un modelo de gestión de RCD, cuyo principal objetivo es la generación de residuos cero.

2.- Antecedentes.

La preocupación por establecer indicadores que describan los residuos generados en la construcción ha aumentado en los últimos años [6]. Son varios los autores que han desarrollado nuevos métodos para cuantificar los RCD generados tanto en obras de nueva construcción como de demolición. Han sido varios los estudios que distinguen el porcentaje que representa cada categoría de RCD sobre el total generado (Tabla 1).

En concreto en España el estudio de Mañà i Reixach et al. (2000) [7] desarrolló los porcentajes utilizados por el Instituto de la Construcción de Cataluña (ITeC) para

cuantificar cinco categorías de RCD generado según los distintos sistemas constructivos. Posteriormente, en el 2001 el I PNRC [8] amplía la información aportando datos sobre un total de 12 categorías de RCD distintas. En 2011, Mercader Moyano et al. obtuvo ratios de generación para cada categoría de RCD a través de un análisis de diez edificios residenciales [11].

Residuo	Autor/Fuente					
	I PNIR 2001	Maña i Reixach et al. 2000	Pereira 2002	Costa & Ursella 2003	Bergsdal et al. 2007	Llatas et al. (2011)
Piedras y rocas sin SP	9,00	-	-	-	-	67,00
Hormigón	12,00	85,00	58,30	84,30	67,24	33,00
Ladrillos, tejas y material cerámico	54,00					
Mezclas de hormigón, ladrillos y mat. cerámico	-					
RCD Mezclado sin SP	-	-	-	-	-	
Madera	4,00	11,20	8,30	-	14,58	
Envases de papel y cartón	0,30	-	-	-	-	
Plástico	1,50	0,20	0,83	-	-	
Yeso	0,20	-	-	-	-	
Vidrio	0,50	-	-	-	-	
Metales	5,00	1,80	8,30	0,08	3,63	
Asfalto	5,00	-	10,00	6,90	-	
Otros	11,00	1,80	14,20	8,80	14,55	
Total	100	100,	100	100	100	100

Tabla 1. “Porcentaje de cada categoría de RCD sobre el total generado”. [7-12]

Otros estudios establecen ratios de generación de RCD en obras de edificación relacionando la cantidad de residuo generada y la superficie construida del proyecto (Tabla 2). Entre ellos, cabe destacar a Bossink y Brouwers (1996) los cuales establecieron las primeras estimaciones de generación de RCD a partir del estudio de 184 viviendas desarrolladas en Holanda. Maña i Reixach et al., (2000) desarrolló el método utilizado por el Instituto Tecnológico de la Construcción de Cataluña (ITEC) para cuantificar el RCD generado por superficie construida según los distintos sistemas constructivos [7].

Kofoworola et al. (2009) en Tailandia emplea la información obtenida de los permisos de construcción expedidos en un año y obtiene los siguientes factores de generación de residuos: 21,38kg/m² para obras de construcción residencial y de 18,99kg/m² para obras de construcción no residencial [13]. En 2010, el trabajo desarrollado por Solís-Guzmán et al. (2010), estableció un modelo para la cuantificación de RCD en España, basándose en los presupuestos del proyecto [14]. El modelo cuantifica las distintas categorías de residuos generados, diferenciando el residuo procedente de las demoliciones, pérdidas de material durante la construcción y los embalajes.

Más recientemente, Llatas (2011) determinó ratios de generación de RCD para tres tipologías de residuos: restos, envases y tierras. Los resultados del estudio determinaron los siguientes ratios de generación: 0,0819 m³/m² construido para residuos de embalajes; 0,0569 m³/m² para los restos; 0,2805 m³/m² para las tierras. En resumen, la tabla 2 recoge los ratios de generación de RCD obtenidos en los estudios previos más relevantes.

	II PNRCD	Maña i Reixach et al.		Kofoworola et al.	Solis-Guzmán et al.	Llatas
País Año	España 2008	España 2000		Tailandia 2009	España 2009	España 2011
Hormigón	-	3,29	4,47	-	-	-
Ladrillos	-	-	-	-	-	-
Tejas y materiales cerámicos	-	-	-	-	-	-
Mezclas hormigón y mat. cerámicos	-	96,92	96,92	-	-	-
Madera	-	2,52	0,99	-	-	-
Vidrio	-	-	-	-	-	-
Plásticos	-	0,14	0,15	-	-	-
Metales mezclados	-	3,38	3,93	-	-	-
Aislantes	-	-	-	-	-	-
Yesos	-	5,93	5,93	-	-	-
RCD mezclado	-	0,87	0,87	-	-	-
Total	120	114,3	114,5	21,38	255,49	115,29

Tabla 2. “Ratios de generación en obras de nueva construcción residencial establecidos en los estudios previos (kg/m²)”.

3.- Objetivo.

El objetivo principal de esta ponencia es la definición de unos indicadores eficaces que permitan, no solo cuantificar el RCD total generado en una obra y en cada una de las actividades, sino también determinar las categorías de RCD en las actividades que más residuo generen. Con estos indicadores, se pretende no solo mejorar los actuales sistemas de gestión, sino ayudar a los responsables en materia de gestión de RCD a aplicar correctamente la legislación vigente, y contribuir así a la consecución de los objetivos cuantitativos estipulados, para el año 2015 [3].

4.- Metodología.

Se ha centrado el estudio en la obtención de datos, a partir del análisis de cinco obras reales ejecutadas por ARPADA S.A con similares características constructivas entre ellas (tabla 3).

Obra	Fecha 1º Certificación	Situación	Nº viv	m ² viv	Total m ² construidos	Características
O156	Jun-10	Getafe	156	119	30.759,68	Estructura HA. Cubiertas plana. LCV, poliuretano, yeso laminado.
O154	Ene-10	Getafe	154	112	25.936,00	Estructura HA. Cubiertas planas formación de pendientes de Arlita. LCV, yeso laminado.
O115	Jul-09	Móstoles	105	115	20.435,24	Estructura HA. Cubiertas planas formación de pendientes de Arlita. LCV, poliuretano, LHS.
O32A	Jun-10	PAU Vallecas	32	111	5.983,46	Estructura HA. Cubiertas planas. Fachada ventilada + poliuretano + tabiquería gran formato
O32B	Jun-10	PAU Vallecas	32	111	5.983,46	Estructura HA. Cubiertas planas. Fachada ventilada + poliuretano + tabiquería gran formato

Tabla 3. “Características de las obras analizadas”.

Con las obras seleccionadas se ha realizado un análisis experimental utilizando: los albaranes correspondientes a la salida de los contenedores de la obra (albarán de servicio), así como los albaranes que emite el gestor una vez pesado el contenedor en su planta (albarán de admisión) y las fechas de las siguientes certificaciones de obra:

- Primera certificación.
- Última de estructura: incluye trabajos previos, movimiento de tierras, saneamiento, cimentación y estructura.
- Primera de albañilería: cerramientos, trasdosados y tabiquerías, rozas, yesos y enfoscados.
- Primera de acabados I: inicio de alicatados, solados, falsos techos, carpinterías, etc.
- Primera de acabados II: inicio de pinturas, tarimas, rodapiés, las puertas de madera, barandillas, etc.
- Última certificación.

A modo de ejemplo, la tabla 4 muestra la información recogida para cada una de las obras estudiadas.

Información de los contenedor					RCD según la actividad		
Nº	Precio €	Tipo de RCD	Peso (kg)	Volumen (m ³)	Actividad	Total kg	Total m ³
Total RCD por actividad							

Tabla 4. “Ejemplo de la ficha de recogida de datos para el análisis experimental”.

El estudio experimental permite, a través de datos reales a pie de obra, identificar la actividad que más residuo genera utilizando la metodología desarrollada en el trabajo de del Solar Serrano et al. (2010) basada en el desarrollo de histogramas [16].

No obstante, la información recogida en el estudio experimental es limitada, ya que se obtienen cantidades de RCD mezclado sin detallar las distintas categorías de residuos (plásticos, madera,...). Por tanto, es necesario realizar un análisis teórico para conocer en detalle las categorías de RCD generadas.

Para el análisis teórico se recurre al software Arquimedes Cype (2012), que junto con las mediciones, permite cuantificar, tanto en peso (kg) como en volumen (m³) las distintas categorías de residuos generados en cada actividad de la obra y en agregación, a la totalidad de la misma. El análisis teórico se ha realizado para las tres obras con tabiquería interior de ladrillo y además, se ha prescindido de las tierras, pues aun siendo el sobrante más común no es considerado un residuo [17]. Por último, los indicadores se establecen al relacionar, el peso (kg) de residuo generado y la superficie total construida del edificio (m²).

5.- Resultados.

Las cuantificaciones recogidas en los albaranes de las cinco obras analizadas, junto con el análisis teórico, permite establecer una primera aproximación a la obtención

de una cuantificación que relacionan el RCD generado y la superficie construida. Así pues, se obtienen ratios que permiten conocer: el peso de RCD global así como, el RCD generado en la actividad de obra que más residuo produce y el porcentaje de las distintas categorías de RCD generadas en el capítulo de obra que más RCD produce.

5.1.- Cuantificación del RCD generado en la totalidad de la obra.

De la relación entre el peso (kg) de RCD total generado en la obra y la superficie construida (m²), se obtiene el primer ratio (i_1) (tabla 5). De los ratios obtenidos para las cinco obras analizadas se obtiene un indicador (i_1), el cual permite estimar, para obras de similares características a las analizadas, cual es el peso del residuo total generado una vez conocida la superficie construida del proyecto.

Obra	Total m ² construidos	kg RCD	i_1 kg RCD/m ² constr.	Tabiques	i_{1m} kg RCD/m ² constr.
O156	30759,68	2934829,00	95,41	Yeso laminado	90,55
O154	25936,00	2222305,00	85,68	Yeso laminado	
O105	20435,24	2370680,00	116,01	Ladrillo	132,69
O32A	5983,46	978392,00	163,52	Ladrillo	
O32B	5983,46	709220,00	118,53	Ladrillo	

Tabla 5. “Relación entre el RCD total generado en la obra y la superficie construida (Indicador i_1)”.

De los resultados mostrados en la tabla 5 se observa que aquellas obras con mayor número de viviendas y que a su vez coincide con aquellas que tienen la tabiquería interior de yeso laminado, tienen un indicador menos, lo que significa que generan menos cantidad de RCD por metro cuadrado.

Este indicador es el más utilizado por los profesionales para conocer la generación aproximada de la totalidad del residuo, una vez conocida la superficie total construida. La figura 1 muestra una comparación entre los indicadores obtenidos en este estudio y los obtenidos por otros investigadores en estudios previos (tabla 2).

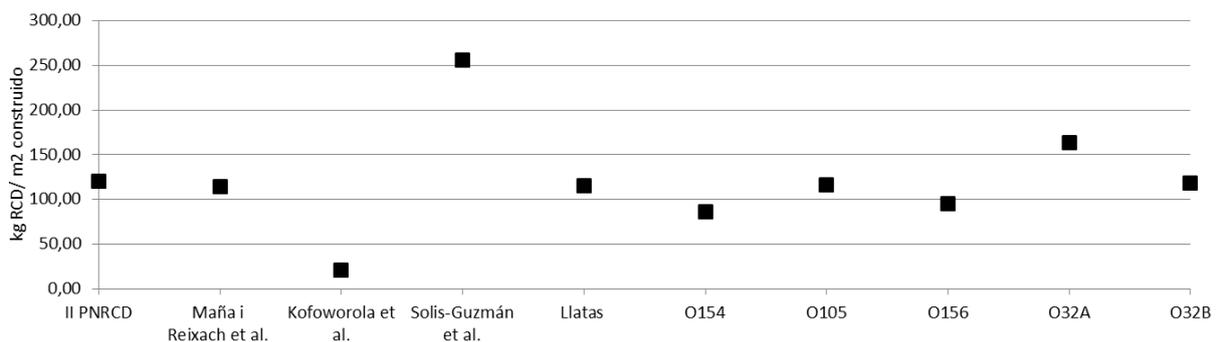


Fig. 1. “Comparación de i_1 con el obtenido en otras investigaciones previas”.

La diferencia entre las distintas fuentes puede deberse a los siguientes factores:

- La discrepancia entre los sistemas constructivos utilizados en las viviendas analizadas por los distintos autores (tipo de fachada, estructura, cimentación...)
- La superficie construida que se ha considerado en el estudio (depende de si se tiene en cuenta total o parcialmente las zonas comunes del edificio).

5.2.- Cuantificación de RCD según las actividades de obra.

Es importante conocer, no solo la generación total de residuo sino en qué actividad y cuándo va a generarse. De este modo, en obras de similares características, los capítulos de albañilería y acabados II generan durante su ejecución alrededor del 20% del total de RCD previsto de ser generado (fig.2).

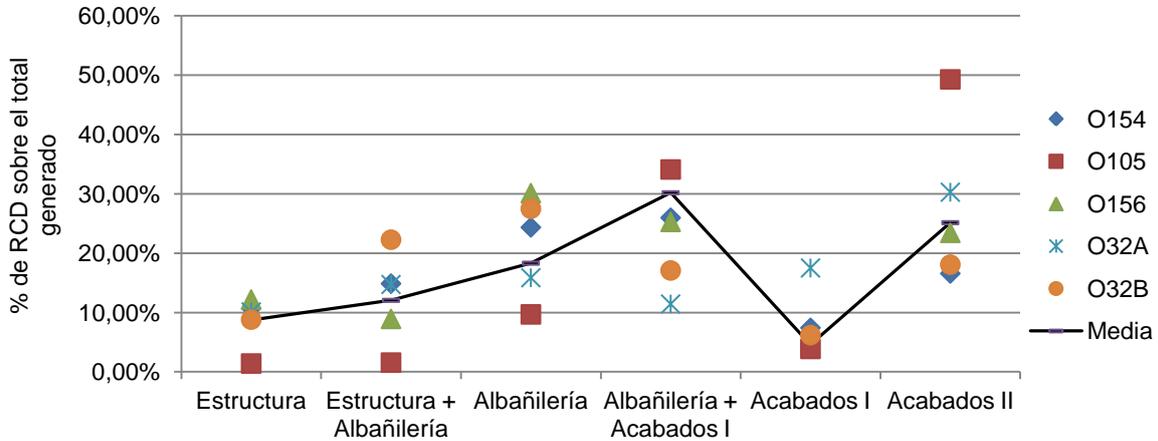


Fig.2 “Porcentaje de peso de RCD total generado en cada actividad de obra”.

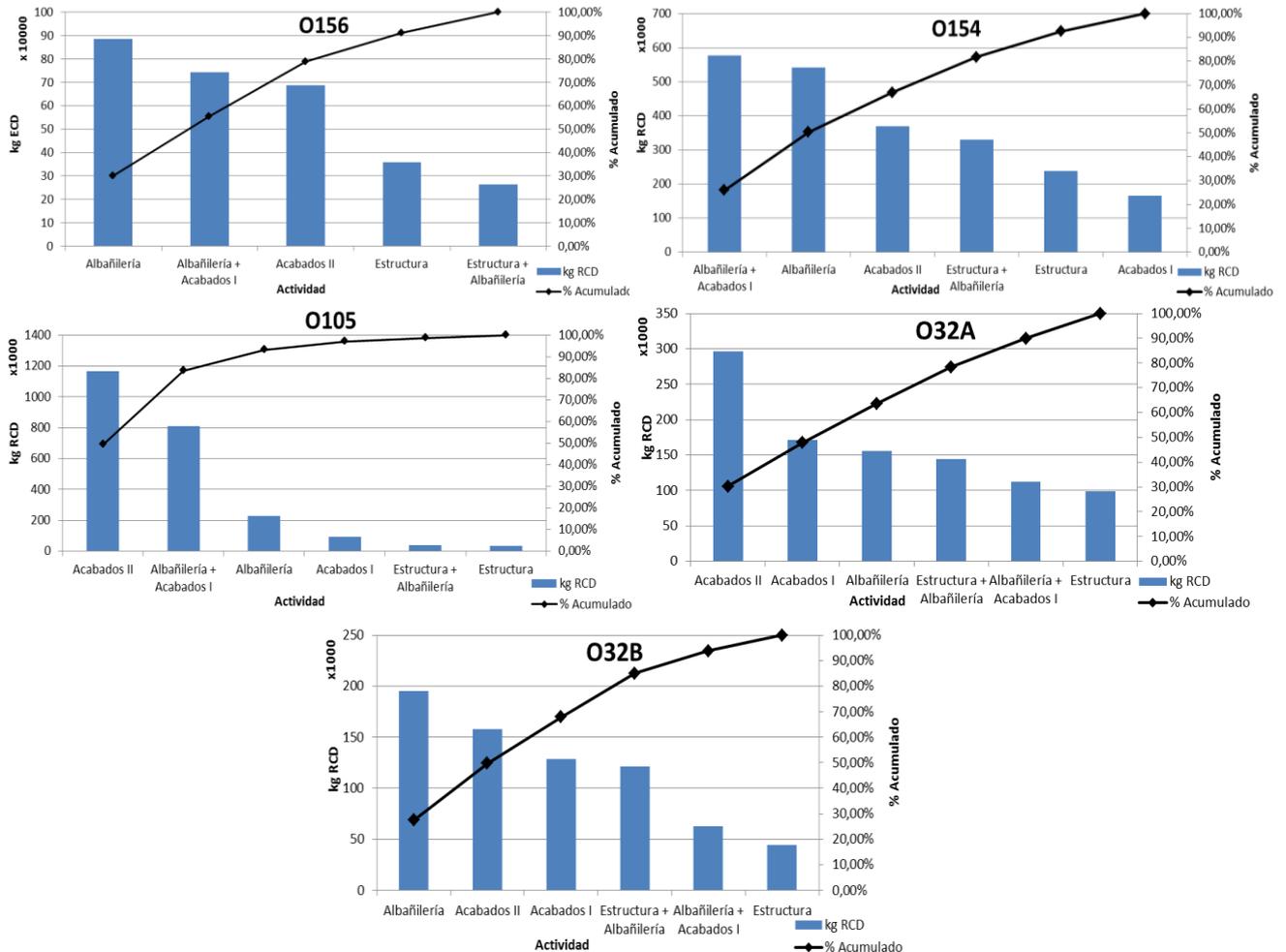


Fig. 3. “Cantidades de RCD generado y porcentaje acumulado sobre el total, según las actividades de obra”.

Relacionando las cantidades generadas en cada actividad de la obra (fig 3) con la superficie total construida (m²) se establece un segundo indicador (i₂), el cual permite conocer la generación de RCD estructurada por actividades de obra, consiguiendo una información de generación más minuciosa (tabla 6 y fig.4).

ACTIVIDAD	O154	O105	O156	O32A	O32B	Í ₂ Media (kg RCD/m ² const)
Estructura	9,20	1,66	11,66	16,55	7,37	9,28
Estructura + Albañilería	12,75	1,84	8,53	24,10	20,27	13,50
Albañilería	20,87	11,25	28,74	25,96	32,59	23,88
Albañilería + Acabados I	22,26	39,57	24,12	18,72	10,46	23,03
Acabados I	6,38	4,51	-	28,66	21,44	15,25
Acabados II	14,22	57,17	22,36	49,52	26,41	33,94

Tabla 6. “Relación entre el peso de RCD generado en cada actividad y la superficie total construida (indicador i₂)”.

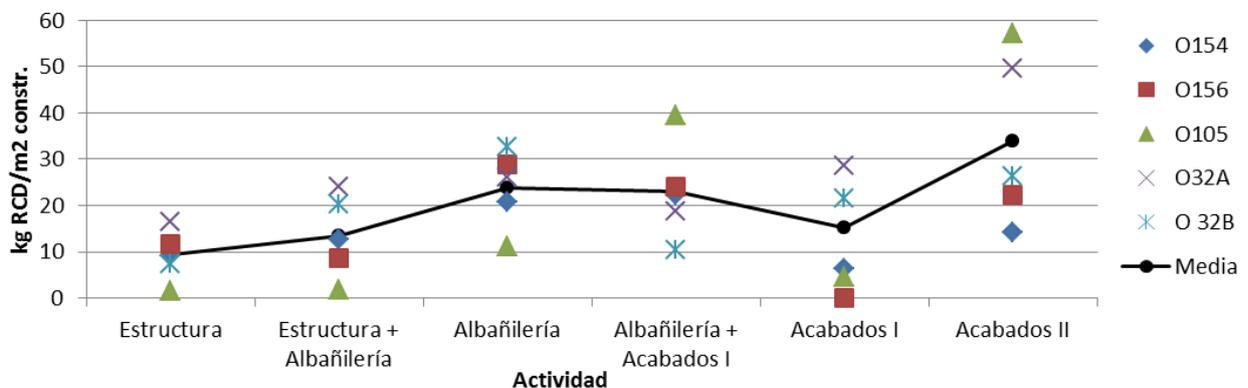


Fig. 4. “Ratios de RCD generado según las actividades de obra”.

Son pocas las referencias que se han encontrado que ofrezcan ratios según las actividades de construcción. Entre ellas, Maña i Reich [7] determina, en una construcción convencional, ratios para tres capítulos: estructura, albañilería y acabados. El estudio concluye que la albañilería es la actividad que mayor cantidad de RCD genera en volumen (0,05 m³RCD/m²construidos).

5.2.- Cuantificación de RCD generado en la albañilería y los acabados.

En aras a realizar una mejor planificación de la gestión de RCD no basta con conocer el indicador que estime la generación global de los residuos producidos, sino que es necesario ir más allá y determinar el porcentaje que estime las distintas categorías de RCD generadas en las actividades de albañilería y acabados.

Del análisis realizado únicamente con las obras ejecutadas con tabiquería de ladrillo (O105, O32A, O32B), se observa que el residuo procedente del ladrillo y material cerámico, el yeso, el hormigón y la madera representan más del 90% del total generado en peso (Fig. 5).

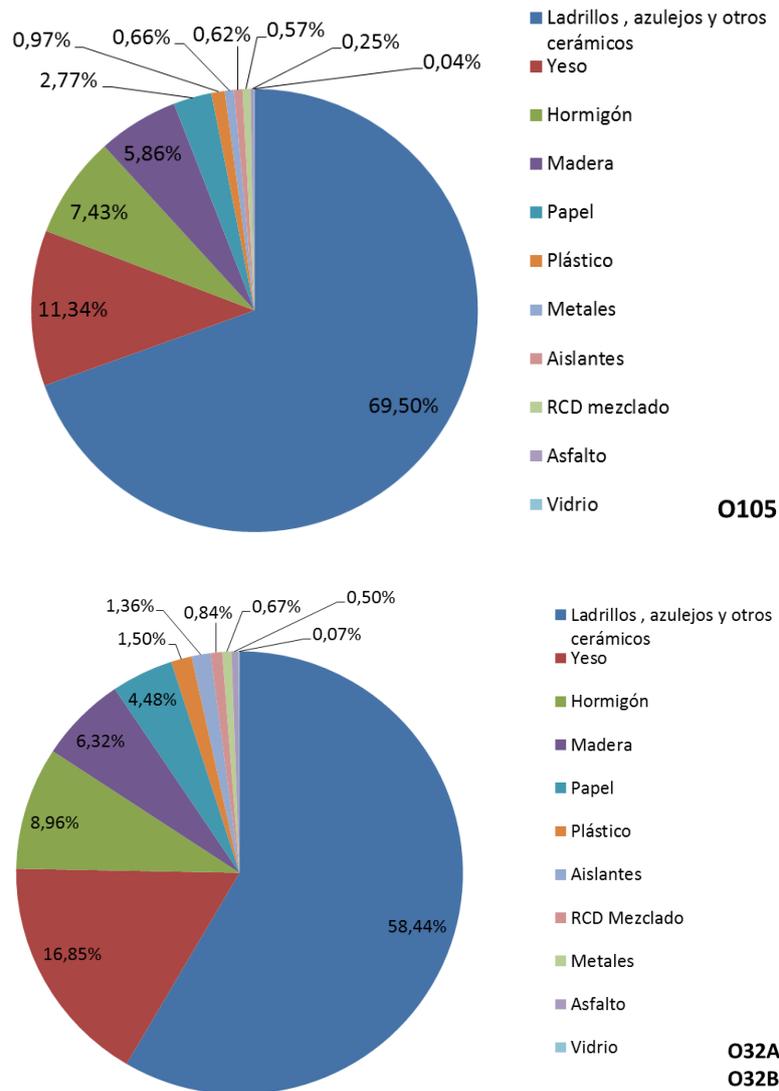


Fig 5. Porcentaje de que cada categoría de RCD generada durante la albañilería y los acabados.

Con los resultados obtenidos en las obras anteriores (O105, O32A, O32B), se obtiene el porcentaje medio que representa cada categoría de RCD sobre el total generado en albañilería y acabados, en obras que utilicen tabiquería tradicional (tabla 7).

Categoría de RCD	O105	O32A -O32B	Media (%)
Ladrillos , azulejos y otros cerámicos	69,50%	58,44%	63,97%
Yeso	11,34%	16,85%	14,10%
Hormigón	7,43%	8,96%	8,20%
Papel	2,77%	4,48%	3,63%
Madera	5,86%	6,32%	6,09%
Metales	0,66%	0,67%	0,67%
RCD Mezclado	0,57%	0,84%	0,71%
Plástico	0,97%	1,50%	1,24%
Aislantes	0,62%	1,36%	0,99%
Asfalto	0,25%	0,50%	0,38%
Vidrio	0,04%	0,07%	0,06%

Tabla 7. "Porcentaje que representa cada categoría de RCD sobre el residuo total generado en albañilería y acabados utilizando tabiquería tradicional."

En cuanto a la obtención de indicadores para cada categoría de RCD de forma individual en una actividad específica no se han encontrado fuentes que constaten dichos resultados en peso, por lo que estos resultados establecen una primera aproximación.

6.- Conclusiones.

De todo lo anterior, se puede concluir que los modelos de gestión de RCD actuales no son suficientes para responder a la creciente presión de la sociedad para que las empresas asuman sus responsabilidades en relación con el medioambiente. Una planificación minuciosa de los RCD (previa a la ejecución de la obra) mediante la utilización de indicadores o ratios, permite conocer no solo su cantidad, sino también cuando van a ser generados, lo que mejorará notablemente los modelos de gestión utilizados en la actualidad.

Los ratios obtenidos en este estudio permiten estimar (una vez conocida la superficie total construida) la generación de RCD en una edificación de obra nueva con similares características a las obras tomadas como muestra para el estudio. De este modo se podrá designar, con la antelación suficiente, la sistemática óptima para su gestión, priorizando su tratamiento para poder reducirse o reutilizarse frente a la eliminación definitiva, así como, prever la implantación de buenas prácticas para su correcta gestión a lo largo de la ejecución de la obra.

Pocas son las fuentes dedicadas al estudio por capítulos de los residuos generados en las distintas obras de edificación. De este modo, se ha conseguido una primera aproximación al estudio del capítulo o capítulos más conflictivos en una obra de nueva planta. De entre todas las actividades del proceso de edificación de obra nueva, las que más residuo genera son la albañilería y acabados. En definitiva, la aplicación de un nuevo modelo de gestión en obras de edificación para dichas actividades, que incentive la minimización y prevención de los RCD en origen mediante la implementación de buenas prácticas a lo largo de la ejecución de la obra, implicaría una correcta gestión y minimización de alrededor del 70% del residuo total generado en edificaciones de nueva planta, mejorando el comportamiento medioambiental de la empresa.

REFERENCIAS.

- [1] Gobierno de España. (2008). Real Decreto 105/2008, de 1 de Febrero, por el que se Regula la Producción y Gestión de los Residuos de Construcción y Demolición. España: Ministerio de la Presidencia.
- [2] Guzmán Báez, A., Villoria Sáez, P., Río Merino, Mercedes., García Navarro, J. (2012), Methodology for quantification of waste generated in Spanish railway construction works. *Waste Management*, **32**, 5, 920-924.
- [3] Gobierno de España. (2009). *Plan Nacional Integrado de Residuos para el Período 2008-2015*. España: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.
- [4] Del Río, M; Izquierdo, P; Salto Weis, I. (2006), Ethical and legal aspects of the use and recycling of masonry waste in Spain. Masonry Conference. British Masonry Society. London.
- [5] Villoria Sáez, P; Del Río Merino, M. (2010), Gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) en obras de edificación. Buenas prácticas en albañilería. *I Congreso*

nacional de investigación aplicada a la gestión de la edificación (COIGE). Universidad Politécnica de Alicante. Alicante, España.

[6] Yuan, H. & Shen, L. (2011), Trend of the research on construction and demolition waste management, *Waste Management*, **31**, no. 4, 670-679.

[7] Mañà i Reixach, F., González i Barroso, J., Sagrera i Cuscó, A., 2000. *Plan de gestión de residuos en las obras de construcción y demolición*. Instituto Tecnológico de Construcción de Cataluña. Barcelona, Spain.

[8] Gobierno de España. (2001). *I Plan Nacional Integrado de Residuos para el Período 2001-2007*. España: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.

[9] Costa U., Ursella P., (2003), Construction and demolition waste recycling in Italy. *5th International conference on the environmental and technical implications of construction with alternative materials*. San Sebastian, Spain.

[10] Bergsdal H., Bohne R., Brattebjill H., (2007), Projection of construction and demolition waste in Norway. *Journal of Industrial Ecology*, **11**, no. 3, 27-39.

[11] Mercader Moyano M.P, Ramírez de Arellano Agudo, A, Olivares Santiago, M. (2011), Calculation Methodology to Quantify and Classify Construction Waste. *The Open Construction and Building Technology Journal*, **5**, 131-140.

[12] Llatas Oliver, C; Carolina Ramírez, L; Huetes Fuertes, R. (2010), Una aproximación metodológica a la verificación en obra de la cuantificación de residuos de construcción en Andalucía. *Sustainable building conference (SB10mad)*, Spain.

[13] Kofoworola, O.F., Gheewala, S.H., (2009) Estimation of construction waste generation and management in Thailand. *Waste Management*, **29**, 731–738.

[14] Solís-Guzmán, J., Marrero, M., Montes-Delgado, M.V., Ramírez-de-Arellano, A., (2009), A Spanish model for quantification and management of construction waste. *Waste Management*, **29**, 2542–2548.

[15] Llatas, C., (2011), A model for quantifying construction waste in projects according to the European waste list. *Waste Management*, **31**, 1261–1276.

[16] Solar Serrano, P., Rio Merino, Mercedes., Palomo Sanchez, J.G. Sistemas de Gestión de la Calidad. Actividades del proceso de mejora continua: Estudio y Análisis de los defectos de construcción en edificación de viviendas. *Congreso Nacional de Investigación en Edificación*. Madrid, España.

[17] Directive 2008/98/CE of the European Parliament and of the council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives.