



Received: 24-05-2018  
Accepted: 28-07-2018

Anales de Edificación  
Vol. 4, Nº 2, 48-52 (2018)  
ISSN: 2444-1309  
Doi: 10.20868/ade.2018.3777

## Cuantificación de residuos en obras de rehabilitación energética de edificios. Quantification of waste in building energy rehabilitation works.

P. Villoria, M. del Rio, J. Santa Cruz, A. Rodríguez, C. Porras

E.T.S. de Edificación, Universidad Politécnica de Madrid (paola.villoria@upm.es; mercedes.delrio@upm.es; jaime.santacruz@upm.es; antonio.rodriguez@upm.es; c.porras@upm.es)

---

**Resumen**—Este artículo presenta los resultados del proyecto de investigación "De residuos a recursos (W2R)" que analiza la generación de residuos de construcción y demolición (RCD) en obras de rehabilitación para la mejora de la eficiencia energética de edificios y desarrolla nuevos materiales, elementos y sistemas constructivos fabricados a partir de RCD. En este artículo se presentan algunos de los resultados del proyecto W2R, en concreto, la identificación, cuantificación y caracterización de las categorías de residuos generados en obras de rehabilitación para la mejora de la eficiencia energética llevadas a cabo en la envolvente vertical de los edificios. Para ello, se identificaron las actuaciones más comunes para mejorar la eficiencia energética de las envolventes verticales y se cuantificó la generación de RCD en dos obras utilizando métodos experimentales (datos in situ) y teóricos (software). Los resultados mostraron que la mayor cantidad de generación de RCD se produce durante las operaciones de preparación de la superficie vertical previas a desarrollar la actuación. Además, se encontró que las categorías de residuos más generados son: hormigón, cerámica, metal y madera.

**Palabras clave**— Residuos de construcción y demolición, rehabilitación, edificios, estimación.

---

**Abstract**- This article presents the results of the research project "From waste to resources (W2R)" that analyzes the generation of construction and demolition waste (RCD) in rehabilitation works for the improvement of the energy efficiency of buildings and develops new materials, elements and construction systems manufactured from RCD. This article presents some of the results of the W2R project, specifically, the identification, quantification and characterization of the categories of waste generated in rehabilitation works for the improvement of energy efficiency carried out in the vertical envelope of buildings. For this, the most common actions to improve the energy efficiency of the vertical envelopes were identified and the generation of CDR in two works was quantified using experimental methods (in situ data) and theoretical (software). The results showed that the greatest amount of RCD generation occurs during the vertical surface preparation operations prior to developing the performance. In addition, it was found that the most generated waste categories are: concrete, ceramics, metal and wood.

**Index Terms**— Construction and demolition waste, rehabilitation, buildings, estimation.

---

## I. INTRODUCCIÓN

Los residuos de construcción y demolición (RCD) representan uno de los principales flujos a nivel internacional, a pesar de que la crisis económica ha incidido directamente en el sector de la construcción, provocando un descenso del volumen de RCD generados en la última década (Coronado et al., 2011). Los últimos datos publicados por Eurostat, sitúan a los RCD en alrededor del 30% sobre la total de los residuos sólidos generados a nivel europeo y nacional (Eurostat, 2017).

Por otro lado, la incidencia de la edificación en el consumo energético global no es una cuestión anecdótica. Al contrario, los edificios de viviendas y servicios –comercios, oficinas y equipamiento– son responsables del 40% del consumo total de energía final en la Unión Europea (Porrás et al., 2014). En España, debido al clima, este porcentaje es menor (27,7%). A pesar de ello, la incidencia sobre el global sigue siendo importante a tener en cuenta por el tipo de clima para reducir el impacto ambiental de los edificios. Es por ello que tanto la comisión UE y el resto de los gobiernos han puesto en marcha medidas para mejorar la eficiencia energética lo que generará un incremento de obras de renovación de edificios y por consiguiente un aumento de los residuos de construcción y demolición (Cuchí & Sweatman, 2011).

Por lo tanto, la gestión adecuada de estos residuos constituye uno de los pilares fundamentales del marco de la Estrategia 2020, que tiene como objetivo convertir a Europa en una sociedad eficiente en el uso de los recursos, basada en el principio de las 3R (Yeheyis et al., 2013) donde la reducción o prevención es la mejor opción de gestión, seguida y en este orden, de la reutilización, del reciclado, de otras formas de valorización (incluida la energética) y, por último, de la eliminación (el depósito en vertedero por ejemplo), avanzando así hacia la ‘Sociedad del Reciclado’ y la ‘Sostenibilidad’ (del Río et al., 2010).

Por todo lo anterior, es necesario contar con la mayor información posible sobre los RCD que se generan en este tipo de actuaciones para poder realizar una correcta gestión de los mismos según los criterios de las 3R. Dicha información tendrá en cuenta tanto la identificación como la cuantificación de los residuos para poder determinar buenas prácticas para la prevención y segregación de RCD para facilitar su valorización a través del reciclaje (Mercader & Ramirez, 2013; Villoria et al., 2014; Osmani et al., 2006).

En este sentido, este artículo presenta parte de los resultados del proyecto W2R, financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad, que tiene como objetivo identificar y cuantificar las distintas categorías de residuos generados en obras de rehabilitación de viviendas, en concreto en las actuaciones encaminadas a la mejora de la eficiencia energética

del edificio de la envolvente vertical (Proyecto W2R, 2017).

## II. ACTUACIONES EN LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO PARA LA MEJORA DE SU EFICIENCIA ENERGÉTICA

Las actuaciones para la mejora de la eficiencia energética (EE) de un edificio suelen considerar principalmente la mejora de las características de la envolvente del edificio, a través de la cual se producen las mayores pérdidas de energía fundamentalmente por falta o insuficiente aislamiento térmico en la fachada o por la falta de estanqueidad de las carpinterías (Instituto Valenciano de la Edificación, 2011). Atendiendo a ello, las diferentes técnicas de intervención sobre la envolvente vertical del edificio, conducentes a la mejora de su eficiencia energética, se pueden clasificar en: (1) Técnicas aplicables en intervenciones desde la cara exterior de la fachada; (2) Técnicas aplicables en intervenciones desde la cara interior de la fachada; (3) Técnicas de inyección de aislante en cámaras; y (4) Cambio y sustitución de carpinterías.

*A. Técnicas aplicables en intervenciones desde la cara exterior de la fachada*

En general, son técnicas que aplican una capa de aislamiento continuo a la cara exterior de la fachada existente, envolviendo la totalidad del edificio. Esto proporciona muchos beneficios, tales como la supresión de puentes térmicos y la estabilidad térmica del cerramiento y la estructura. Se trata sin duda del sistema que produce la mayor eficiencia energética en la fachada. Hay básicamente tres opciones, en función de si se deja o no una cámara entre el aislamiento y el tipo de terminación exterior utilizada:

- Sistema de aislamiento térmico por el exterior (SATE): Este sistema permite aplicar una capa de aislamiento en la cara externa de la fachada existente, y sobre el mismo aplicar una fina capa de terminación, normalmente a base de mortero de cemento.
- Sistema de aplacado: El aislamiento se adhiere al exterior de la fachada existente y el material de acabado, consiste en un aplacado de piedra natural o artificial, que se fija al soporte existente por medio de anclajes en contacto con el aislamiento.
- Fachada ventilada: Es básicamente una evolución del sistema de aplacado, al que se le introduce una cámara ventilada entre el aislamiento y el aplacado. Este sistema está formado por un aislamiento rígido o semirrígido adherido al soporte, y una hoja exterior de protección separada del aislamiento, formando una cámara por donde circula el aire por simple convección. La hoja de protección se fija al muro soporte mediante subestructuras diseñadas al efecto.

### *B. Técnicas aplicables en intervenciones desde la cara interior de la fachada*

Este tipo de actuación es adecuada en los supuestos en los que es inviable modificar la cara exterior de la fachada. Las técnicas más usuales son las siguientes:

- Trasdosado con panel rígido de aislamiento y revestido de yeso: Este sistema es equivalente al sistema SATE empleado en el exterior de la fachada. Consiste en la aplicación de un aislamiento rígido en la cara interior del cerramiento. Sobre el aislamiento se aplica un revestimiento directo reforzado con una malla de fibra de vidrio o polimérica.
- Trasdosado con material aislante y placa de yeso laminado: Está formado por placas de yeso laminado y aislante fijadas al muro o tabique de trasdós.

### *C. Técnicas de inyección de aislante en cámaras*

En aquellos casos en los que no sea viable ningún tipo de actuación de las anteriormente descritas, existe la posibilidad de inyectar material aislante en la cámara (de existir) de la fachada, operación que puede ser realizada tanto desde el interior del edificio como desde el exterior.

### *D. Cambio y sustitución de carpinterías*

En muchos casos, la mayor parte de la pérdida energética en fachadas corresponde a las pérdidas por transmisión a través de los vidrios (cuando estos son sencillos) y a las pérdidas debidas a la baja estanqueidad al aire de las carpinterías (sobre todo cuando son de tipo corredera) y capialzados. Por ello, la sustitución del conjunto ventana + persiana es la opción que proporciona en muchos casos la mejor relación efectividad/coste.

## III. METODOLOGÍA

La metodología seguida se divide en dos etapas:

- Cuantificación teórica de RCD en las distintas actuaciones para la mejora de la EE de la envolvente vertical.
- Selección de obras piloto y análisis de los residuos generados de manera experimental.

En la primera etapa, se identifican y cuantifican, con la base de datos Arquímedes, los RCD que pueden ser generados en las actuaciones para la mejora de la EE que podrían realizarse sobre la envolvente vertical (identificados en el apartado 1.1). Para ello, a través de la base de datos, se obtiene la información sobre los siguientes parámetros ambientales de cada partida (Cype Ingenieros, 2016):

- Volúmenes en litros de RCD generado, clasificado de acuerdo con el código LER.
- Pesos en kg de RCD generado, clasificado de acuerdo con el código LER.

En cuanto a la segunda etapa, la validación de los resultados se ha seleccionado dos casos de estudio correspondientes exclusivamente a obras de rehabilitación energética en la envolvente vertical de la fachada con una solución tipo SATE. Durante el proceso de ejecución de ambas obras, se identificaron y cuantificaron in-situ los residuos generados, contabilizando los contenedores donde se vertieron los RCD y cuantificando sus volúmenes. Para ello, se ha utilizado la información básica del proyecto: Plantas, secciones y alzados así como los albaranes, y certificados de Organismos y Gestores de Residuos Autorizados, los cuales ofrecen información en peso y volumen de los residuos generados en cada obra.

Con los resultados obtenidos se elabora una tabla comparativa entre las cantidades de residuo calculadas con el programa informático y los datos experimentales recabados in-situ durante la fase de ejecución. Además, se comparará con las cantidades de RCD que se estimaron en los documentos “Estudio de gestión de RCD” de cada proyecto. De esta forma se puede verificar la efectividad de los cálculos teóricos que se realizan en la fase de proyecto y su cercanía a la realidad en el proceso constructivo. Por último, se determinan los indicadores de generación de RCD obtenidos experimentalmente por superficie rehabilitada (m<sup>2</sup>).

## IV. RESULTADOS

La tabla 1 muestra los ratios de generación de RCD de cada actuación, no solo para el total del residuo generado sino para cada una de las categorías de residuos identificadas mediante su código LER. Con los ratios de la tabla 1 se pueden estimar la cantidad total de residuo, así como de cada una de las categorías, generadas en cada una de las actuaciones para la mejora de la eficiencia energética del edificio.

En general, se observa que la mayor cantidad de RCD generados proviene de la preparación del paramento donde se plantea realizar la actuación. Por otra parte, si consideramos únicamente la ejecución de la actuación para la mejora de la eficiencia energética, siempre generarán menos RCD aquellas técnicas que se realizan desde el interior. En estos casos, la opción que menos RCD genera es la inyección de aislamiento en cámaras (si bien es verdad no es la solución más efectiva), y el que más RCD genera es la solución de trasdosado y PYL.

En cuanto a los sistemas que se construyen desde el exterior, se observa que el sistema SATE es el que más RCD genera, debido a la preparación del soporte que obliga al picado del revestimiento del paramento y que en cambio, la solución de fachada ventilada genera la menor cantidad de residuos. En el caso de que el paramento no se tratase, el residuo generado disminuiría considerablemente (1,15 kg/m<sup>2</sup> and 1,18 l/m<sup>2</sup>).

Los datos recogidos en la tabla 2 muestran los indicadores obtenidos experimentalmente en las dos obras seleccionadas

TABLA I  
RATIOS DE GENERACIÓN DE RCD SEGÚN LAS DISTINTAS CATEGORÍAS DE RCD

Residuo		Intervenciones desde el exterior								Intervenciones desde el interior						Sustitución de carpinterías	
		SATE I <sup>a</sup>		SATE II <sup>b</sup>		Sistema aplacado sobre aislamiento		Fachada ventilada		Trasdosado con aislamiento y revestido de yeso		Trasdosado con material aislante y placa de yeso laminado		Inyección de material aislante en la cámara			
Código LER	Descripción	i <sub>p</sub> kg/m <sup>2</sup>	i <sub>v</sub> l/m <sup>2</sup>	i <sub>p</sub> kg/m <sup>2</sup>	i <sub>v</sub> l/m <sup>2</sup>	i <sub>p</sub> kg/m <sup>2</sup>	i <sub>v</sub> l/m <sup>2</sup>	i <sub>p</sub> kg/m <sup>2</sup>	i <sub>v</sub> l/m <sup>2</sup>	i <sub>p</sub> kg/m <sup>2</sup>	i <sub>v</sub> l/m <sup>2</sup>	i <sub>p</sub> kg/m <sup>2</sup>	i <sub>v</sub> l/m <sup>2</sup>	i <sub>p</sub> kg/m <sup>2</sup>	i <sub>v</sub> l/m <sup>2</sup>	i <sub>p</sub> kg/Ud	i <sub>v</sub> l/Ud
080111*	Pintura y barniz	0,02	0,02	-	-	-	-	-	-	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04
150101	Papel (envases)	0,04	0,06	0,04	0,06	0,189	0,25	0,23	0,30	-	-	-	-	-	-	-	-
150104	Metal (envases)	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	-	-
170101	Hormigón/mortero	29,51	19,67	1,01	0,67	28,50	19,0	-	-	-	-	-	-	0,03	0,02	-	-
170103	Mat. cerámicos	-	-	-	-	1,44	1,52	0,92	0,74	-	-	-	-	-	-	-	-
170201	Madera (envases)	0,12	0,109	-	-	0,12	0,11	0,18	0,16	-	-	-	-	-	-	-	-
170202	Vidrio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,33	0,33
170203	Plástico	0,08	0,13	0,07	0,11	0,073	0,13	0,04	0,07	0,10	0,16	0,12	0,20	0,02	0,03	0,18	0,30
170402	Aluminio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,05	0,03
170604	Mat. Aislamiento	0,30	0,49	0,30	0,50	0,04	0,07	0,08	0,14	0,2	0,12	0,12	0,20	0,09	0,14	0,04	0,06
170802	Yeso	-	-	-	-	-	-	-	-	0,58	0,58	0,48	0,48	-	-	-	-
170904	Residuos mezclados	0,72	0,48	0,72	0,48	0,254	0,17	0,50	0,33	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01
<b>Total RCD/Unidad</b>		<b>30,66</b>	<b>20,85</b>	<b>2,13</b>	<b>1,81</b>	<b>28,5</b>	<b>19,0</b>	<b>1,95</b>	<b>1,74</b>	<b>0,85</b>	<b>1,00</b>	<b>0,77</b>	<b>0,94</b>	<b>0,14</b>	<b>0,20</b>	<b>0,65</b>	<b>0,78</b>

\* Residuo peligroso

<sup>a</sup> Sistema SATE quitando la capa de revestimiento previa (mortero monocapa).

<sup>b</sup> Sistema SATE sin quitar la capa de revestimiento previa

(consistentes en la colocación de un SATE). De los resultados mostrados se observa una gran diferencia entre los resultados obtenidos en cada obra. Esto es debido a la fase previa a la colocación del sistema SATE, pues en la segunda obra se procedió a retirar el mortero monocapa existente antes de la colocación del aislamiento.

Al comparar los indicadores de generación de RCD obtenidos experimental y teóricamente, se observa que los datos teóricos tienen una desviación media de 33,21% con respecto a los indicadores experimentales (13-53% en peso y 70-85% en volumen). Estos resultados revelan que la estimación en volumen es mucho menos precisa que en peso. Esto se debe a que la estimación en volumen del residuo no solo depende de la cantidad generada sino también del número de contenedores utilizados y, por tanto, de la gestión realizada por el equipo de obra. Es decir, para una misma cantidad de residuo en peso una obra puede utilizar un número de contenedores distinto a otra y por tanto variar el volumen de RCD generado.

## V. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- La mayor cantidad de RCD generados proviene de la preparación del paramento donde se plantea realizar la actuación.

- Si se considera únicamente la ejecución de la actuación para la mejora de la eficiencia energética, siempre generarán menos RCD aquellas técnicas que se realizan desde el interior. En el caso de existir cámara de aire la solución que genera menor cantidad de RCD es la inyección de aislamiento en la misma, pero es también la técnica menos eficaz. La solución más recomendable es la solución de fachada ventilada o de aplacado sobre aislamiento, y en el caso de realizar una solución SATE, trabajar sobre el paramento previamente preparado.

- Los tipos de RCD generados como su proporción dentro del total corresponden a las categorías de: hormigón, cerámicos, madera, metal, vidrio, plástico y cartón. Por tanto, es preciso realizar un control sobre ellos en la obra, siendo en consecuencia los tipos de RCD en los que se debe seguir trabajando para lograr su minimización u otras formas de reciclaje y valorización.

- Los resultados obtenidos en los diferentes programas que estiman los RCD generados en las obras ofrecen valores con un desvío medio de 33% con respecto a la realidad, ya que cada

TABLA II  
COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES Y TEÓRICOS

	Tipo de SATE	Superficie rehabilitada (m <sup>2</sup> )	Resultados con datos experimentales				Indicadores SATE con datos teóricos (tabla 1)		Error relativo (%)	
			Cantidad de RCD		Indicadores SATE		i <sub>p</sub>	i <sub>v</sub>	weight	volume
			Peso (kg)	Volumen (m <sup>3</sup> )	i <sub>p</sub>	i <sub>v</sub>				
Obra 1	I	10292,36	25320	124	2,46	0,012	2,13 <sup>a</sup>	0,00181 <sup>a</sup>	-13,42	-84,98
Obra 2	II	905,00	59040	72	65,24	0,008	30,66 <sup>b</sup>	0,00213 <sup>b</sup>	-53,00	-70,97

i<sub>p</sub>: Indicador de residuo generado en peso: kg RCD por m<sup>2</sup> rehabilitado

i<sub>v</sub>: Indicador de residuo generado en volumen: m<sup>3</sup> de RCD por m<sup>2</sup> rehabilitado

a Sistema SATE quitando previamente la capa de revestimiento (mortero monocapa)

b Sistema SATE sin quitar la capa de revestimiento

uno se crea con un fin determinado y los coeficientes utilizados en el programa para estimar el residuo son diferentes.

#### AGRADECIMIENTOS

Los resultados mostrados son parte del proyecto "Proyecto de Waste2Resources" (BIA2013-43061-R) financiado por la Secretaría de Investigación, Desarrollo e Innovación del Ministerio de Economía y Competitividad de España.

#### REFERENCIAS

Coronado, M., Dosal, E., Coz, A., Viguri, J., and Andrés, A. (2011). "Estimation of construction and demolition waste (C&DW) generation and multicriteria analysis of C&DW management alternatives: a case study in Spain," *Waste and Biomass Valorization*, vol. 2, pp. 209-225.

Cuchí, A. and Sweatman, P. (2011). *A National Perspective of Spain's Buildings Sector: A Roadmap for a New Housing Sector: Working Group for Rehabilitation GTR*.

Cype Ingenieros. (2016, September). *Cype Software for Architecture, Engineering and Construction. Arquimedes database (v.2014.c ed.)*.

del Río Merino, M., Izquierdo Gracia, P., and Salto Weis Azevedo, I. (2010). "Sustainable construction: construction and demolition waste reconsidered," *Waste Management & Research*, vol. 28, pp. 118-129.

Eurostat. (2017, December). *Eurostat statistics for waste flow generation 2014*. European Commission.

Instituto Valenciano de la Edificación. (2011). *Catálogo de soluciones constructivas para la rehabilitación energética de edificios existentes*. 1.

Mercader-Moyano, M.P. and Ramirez-de-Arellano-Agudo, A. (2013). "Selective classification and quantification model of C&D waste from material resources consumed in residential building construction," *Waste Management & Research*, vol. 31, pp. 458-474.

Osmani, M., Glass, J., and Price, A.D. (2006). "Architect and contractor attitudes to waste minimisation".

Porras-Amores, C., Viñas-Arrebola, C., Rodríguez-Sánchez, A., and Villoria-Sáez, P. (2014). "Assessing the potential use of strategies independent from the architectural design to achieve efficient ventilation: A Spanish case study," *Building Services Engineering Research and Technology*, vol. 35, pp. 529-542.

Proyecto W2R. (2017, Marzo). *De residuos a recursos: Valorización integral de los residuos generados en la rehabilitación energética de edificios*. Proyecto BIA2013-43061-R financiado por el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad a través del Programa Estatal de I+D+i Orientada a los Retos de la Sociedad.

Villoria-Sáez, P., del Río Merino, M., Porras-Amores, C., and San-Antonio González, A. (2014). "Assessing the accumulation of construction waste generation during residential building construction works," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 93, pp. 67-74.

Yeheyis, M., Hewage, K., Alam, M.S., Eskicioglu, C., and Sadiq, R. (2013). "An overview of construction and demolition waste management in Canada: a lifecycle analysis approach to sustainability," *Clean Technologies and Environmental Policy*, vol. 15, pp. 81-91.



**Reconocimiento – NoComercial (by-nc):** Se permite la generación de obras derivadas siempre que no se haga un uso comercial. Tampoco se puede utilizar la obra original con finalidades comerciales.