

**Universidad de Costa Rica**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Escuela de Ingeniería Civil**

**Identificación, categorización y cuantificación de residuos de  
construcción en viviendas de mampostería confinada**

**Proyecto de Graduación**

Que para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil

Presenta:

**Sofía Rímolo Kruse**

Directora de Proyecto de Graduación:

**Ing. Nidia Cruz Zúñiga**

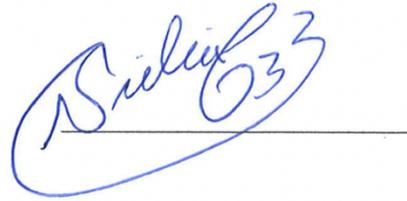
Ciudad Universitaria Rodrigo Facio



## MIEMBROS DEL COMITÉ ASESOR

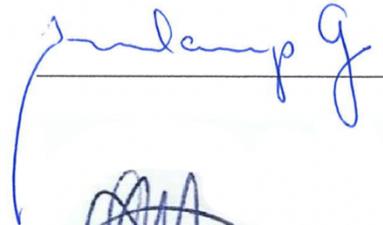
Directora del proyecto:

Ing. Nidia Cruz Zúñiga



Comité asesor:

Ing. Irene Campos Gómez

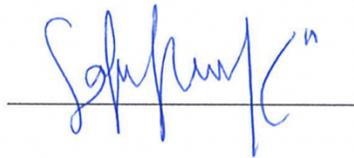


Ing. Erick Mata Abdelnour



Estudiante:

Sofía Rímolo Kruse





Fecha: 2021, noviembre, 09.

La suscrita, Sofía Isabel Rímolo Kruse, cédula 1-1596-0345, estudiante de la carrera de Licenciatura de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, con número de carné B35755, manifiesta que es autora del Proyecto Final de Graduación IDENTIFICACIÓN, CATEGORIZACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN EN VIVIENDAS DE MAMPOSTERÍA CONFINADA, bajo la dirección de la Magister, Ing. Nidia Cruz Zúñiga, quien en consecuencia tiene derechos compartidos sobre los resultados de esta investigación.

Asimismo, hago traspaso de los derechos de utilización del presente trabajo a la Universidad de Costa Rica, para fines académicos: docencia, investigación, acción social y divulgación.

Nota: De acuerdo con la Ley de Derechos de Autor y Derechos Conexos N° 6683, Artículo 7 (versión actualizada el 02 de julio de 2001); "no podrá suprimirse el nombre del autor en las publicaciones o reproducciones, ni hacer en ellas interpolaciones, sin una conveniente distinción entre el texto original y las modificaciones o adiciones editoriales". Además, el autor conserva el derecho moral sobre la obra, Artículo 13 de esta ley, por lo que es obligatorio citar la fuente de origen cuando se utilice información contenida en esta obra.

## AGRADECIMIENTOS

A mi familia, amigos y profesores.

Rímolo Kruse, Sofía

Identificación, categorización y cuantificación de residuos de construcción en viviendas de mampostería confinada.

Proyecto de graduación – Ingeniería Civil – San José, CR.:

S. Rímolo K., 2021

vi, 94 [5]h; ils. col. – 32 refs.

## RESUMEN

Este proyecto consistió en la identificación, categorización y cuantificación de las tasas de generación de residuos de construcción en tres viviendas de mampostería no modular confinada, ubicadas en la Gran Área Metropolitana de Costa Rica. El fin del proyecto fue compilar datos actualizados de generación de residuos en esta tipología constructiva, que sirvan como insumo para la generación de una base de datos para establecer políticas públicas sobre gestión integral de residuos de construcción, permitiendo a los entes rectores normar el sector. Lo anterior toma importancia ya que la industria de la construcción genera grandes cantidades de residuos que requieren manejo especial. En la actualidad no existe suficiente información y herramientas para su correcta gestión, comprometiendo la salud humana y al ambiente.

Para la cuantificación se realizaron visitas periódicas en las que se pesaron los residuos en campo. Se obtiene una tasa de generación promedio de  $5,66 \text{ kg/m}^2$ , donde los residuos más cuantiosos fueron la madera ( $2,41 \text{ kg/m}^2$ ) y los cementicios ( $1,87 \text{ kg/m}^2$ ). Comparando estos valores con los de otros estudios de cuantificación de residuos de construcción, se concluye que las cantidades obtenidas en viviendas que emplean sistemas constructivos con mampostería integral son usualmente mayores para todos los residuos menos para el caso de los residuos de madera. Lo anterior debido a que el sistema confinado demanda gran cantidad para el encofrado, lo que evidencia su principal diferencia al sistema modular. S. R.K.

**PALABRAS CLAVE:** gestión integral de residuos, residuos de construcción, cuantificación de residuos, tasa de generación, índice de residuo, mampostería no modular, mampostería confinada.

Ing. Nidia Cruz Zúñiga

Escuela de Ingeniería Civil



Rímolo Kruse, Sofía

Identification, categorization, and quantification of construction waste on confined masonry homes.

Graduation Project –Civil Engineering – San José, CR.:

S. Rímolo K., 2021

vi, 94 [5]h; ils. col. – 32 refs.

#### ABSTRACT

This project consisted of the identification, categorization, and quantification of the construction waste generation rates for three houses built with confined masonry in the Great Metropolitan Area of Costa Rica. The purpose of the project was to compile updated waste generation data for this building typology which would serve as input for the generation of a database to establish public politics on integrated construction waste management, thus allowing the governing bodies to establish norms for the sector. The above takes importance due to the large amount of waste generated by the construction industry and the special management it requires. There is not enough information and tools for the correct management of this type of waste which compromises human health and the environment.

Periodic visits were made for the quantification stage, and the residues were weighed on field. The average generation rate obtained was 5,66 kg/m<sup>2</sup> from which the largest portion was wood (2,41 kg/m<sup>2</sup>) and cementitious materials (1,87 kg/m<sup>2</sup>). Comparing these results with other construction waste quantification studies, the conclusion is that the quantities obtained in the integrated construction systems are usually higher for all residues except for wood waste, due to the high wood demand for formwork needed for the confined masonry system. This explains a significant difference between the modular and the confined system. S. R. K.

**KEY WORDS:** integrated waste management, construction waste, waste quantification, generation rate, residue index, non-modular masonry, confined masonry.

Engr. Nidia Cruz Zúñiga

Civil Engineering School



## Índice

<b>Capítulo 1. Introducción.....</b>	<b>1</b>
1.1. Justificación .....	1
1.1.1. Problema específico .....	1
1.1.2. Importancia .....	3
1.2. Antecedentes teóricos y prácticos del problema .....	5
1.3. Objetivos del proyecto.....	9
1.3.1. Objetivo general .....	9
1.3.2. Objetivos específicos.....	9
1.4. Delimitación del problema .....	9
1.4.1. Alcance .....	9
1.4.2. Limitaciones.....	11
<b>Capítulo 2. Marco teórico .....</b>	<b>15</b>
2.1. Gestión integral de residuos .....	15
2.1.1. Legislación sobre gestión de residuos .....	18
2.2. Residuos de construcción.....	20
2.2.1. Legislación sobre residuos de construcción.....	22
2.2.2. Gestión de residuos de construcción.....	23
2.3. Metodología para categorización y cuantificación de residuos .....	28
2.4. Método constructivo de mampostería confinada .....	29
2.4.1. Proceso constructivo y materiales utilizados .....	31
<b>Capítulo 3. Metodología .....</b>	<b>33</b>
3.1. Etapa 1: Revisión bibliográfica.....	34
3.2. Etapa 2: Selección y visita preliminar de proyectos.....	34
3.3. Etapa 3: Cuantificación de residuos de construcción .....	35
3.4. Etapa 4: Registro y análisis de resultados .....	37
<b>Capítulo 4. Proyectos para estudio .....</b>	<b>39</b>
4.1. Proyecto A .....	39
4.2. Proyecto B .....	40
4.3. Proyecto C .....	42
<b>Capítulo 5. Resultados de la cuantificación de residuos de construcción ...</b>	<b>44</b>

5.1.	Residuos identificados y actividades generadoras.....	44
5.2.	Cantidad de residuos pesadas en proyectos .....	50
5.2.1.	Proyecto A.....	50
5.2.2.	Proyecto B.....	53
5.2.3.	Proyecto C.....	55
<b>Capítulo 6. Análisis de cantidades recabadas en campo .....</b>		<b>58</b>
6.1.	Cuantificación de residuos .....	59
6.2.	Tasas de generación de residuos de construcción .....	65
6.3.	Índice de residuos de construcción: Proyecto A .....	67
6.4.	Comparación de generación por metodología constructiva.....	69
6.5.	Proyecciones anuales para construcciones similares .....	73
<b>Capítulo 7. Conclusiones y recomendaciones del proyecto .....</b>		<b>76</b>
7.1.	Conclusiones sobre generación de residuos de construcción .....	76
7.2.	Recomendaciones .....	83
7.2.1.	Recomendaciones para futuras investigaciones relacionadas .....	83
7.2.2.	Recomendaciones para la gestión de residuos de construcción .....	85
<b>Capítulo 8. Referencias bibliográficas .....</b>		<b>90</b>
<b>Capítulo 9. Apéndices .....</b>		<b>A-1</b>

## Índice de figuras

Figura 1.	Fotografía de la balanza digital utilizada .....	14
Figura 2.	Jerarquía en el manejo de residuos .....	17
Figura 3.	Ilustración de un muro de mampostería confinada y requisitos mínimos...29	
Figura 4.	Ilustración de bloques comunes en Costa Rica.....	30
Figura 5.	Diagrama de flujo de la metodología seguida para el proyecto.....	33
Figura 6.	Fotografía de los estañones para almacenamiento en Proyecto A .....	35
Figura 7.	Fotografías del pesaje de los residuos .....	36
Figura 8.	Fotografías del proyecto A en construcción y finalizado .....	39
Figura 9.	Fotografía de levantamiento de muros, proyecto B.....	41
Figura 10.	Fotografía del proyecto B en etapa de acabados .....	41
Figura 11.	Fotografías del Proyecto C en construcción y finalizado.....	42

Figura 12. Fotografía de residuos de madera, Proyecto A.....	45
Figura 13. Fotografía de residuos de bloque de mampostería .....	46
Figura 14. Fotografía de restos de láminas livianas, Proyecto C .....	47
Figura 15. Fotografía de restos de cerámica, Proyecto C.....	48
Figura 16. Fotografía de restos metálicos, Proyecto C .....	48
Figura 17. Fotografía de residuos plásticos, Proyecto C .....	49
Figura 18. Gráfica de porcentajes por tipo de residuos, Proyecto A .....	52
Figura 19. Gráfica de porcentajes por tipo de residuos, Proyecto B .....	54
Figura 20. Gráfica de porcentajes por tipo de residuos, Proyecto C .....	57
Figura 21. Fotografía de encofrado de buque de ventana, Proyecto C.....	60
Figura 22. Fotografía de buque de ventana, proyecto A.....	61
Figura 23. Fotografía de fragmentos de láminas livianas desechados.....	63
Figura 24. Fotografía de residuos cerámicos generados en Proyecto C.....	64

### **Índice de cuadros**

Cuadro 1. Categorización de posibles materiales de construcción.....	10
Cuadro 2. Posibilidades de manejo según material .....	26
Cuadro 3. Peso de los residuos según tipo, Proyecto A .....	51
Cuadro 4. Peso de los residuos según tipo, Proyecto B .....	54
Cuadro 5. Peso de los residuos según tipo, Proyecto C .....	56
Cuadro 6. Peso total de residuos en los proyectos .....	59
Cuadro 7. Tasa de generación de residuos por proyecto, según tipo de material....	65
Cuadro 8. Índice de residuos según material, Proyecto A.....	68
Cuadro 9. Indicadores de generación de residuos, métodos constructivos varios....	70
Cuadro 10. Área aproximada de construcción anual de viviendas (GAM) .....	74
Cuadro 11. Residuos anuales de construcción, viviendas de mampostería confinada	75



## **Capítulo 1. Introducción**

### **1.1. Justificación**

#### **1.1.1. Problema específico**

El sector construcción incide en el desarrollo del país, ya que influye en el crecimiento de actividades económicas, como la inmobiliaria, el comercio o la manufactura de productos, al generar infraestructura física y empleo. Según datos de la Cámara Costarricense de la Construcción, en el 2019 la construcción aportó alrededor del 4,0 % del producto interno bruto del país, y el 3,9 % para el 2020 (Cámara Costarricense de la Construcción, 2021). Adicionalmente, según la Encuesta Continua de Empleo, un 7 % de la población ocupada del país se desarrolla en la rama de construcción, lo que representa cerca de 135 500 personas que se sustentan gracias al sector (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2020).

Con los años se ha presenciado un aumento en la cantidad de proyectos desarrollados a nivel nacional, esto sin considerar los datos de los años de crisis (2020 y 2021) originada por la pandemia de COVID-19: El Informe Económico del Sector Construcción reportó un crecimiento del 15,2 % en la cantidad de metros cuadrados reportados ante el Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos entre febrero 2018 y enero 2019 (Cámara Costarricense de la Construcción, 2019). Se podría esperar un comportamiento similar hacia el futuro, ya que los gobiernos buscan atraer inversiones extranjeras que se desarrollen en el país para incentivar el crecimiento económico y estas necesitan infraestructura para desempeñarse (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, 2020), especialmente ante la necesidad de reiniciar la economía, tras la crisis por la pandemia de COVID-19.

Además del impulso económico de la industria de la construcción, se debe considerar su impacto al ambiente y a la salud humana, causado por el uso de recursos naturales y a la generación de grandes cantidades de residuos que no siempre se manejan adecuadamente. Las principales actividades generadoras de residuos del sector construcción son la demolición de obras viejas y la construcción de obras nuevas como viviendas, comercios o industrias. El sector de la construcción “consume el 40 % de los materiales vírgenes que se extraen, mientras que produce el 10 % – 35 % de los residuos que se encuentran en los sitios de disposición” (Abarca, Leandro, Hasbum y Solano, 2019).

Lo anterior, asociado al crecimiento de la construcción en el país, resulta preocupante por la falta de lineamientos claros para la gestión adecuada de desechos de construcción: “a la fecha, el país cuenta con normativa para el manejo de residuos sólidos ordinarios, residuos peligrosos, residuos electrónicos, estrategias para la recuperación y valorización de residuos, metodologías para estudios de composición y generación y la ley GIR” (Programa Estado de la Nación, 2019), pero no hay un reglamento especializado para los residuos del sector construcción. Estos últimos presentan características diferentes a las de los residuos sólidos ordinarios, ya que son más pesados, voluminosos y porque pueden contener materiales peligrosos; por lo que se deben recolectar, transportar, almacenar, procesar y disponer de maneras diferentes. Actualmente el reciclaje de materiales de construcción es poco común y la cantidad de rellenos sanitarios autorizados y diseñados para tratar este tipo de residuos es escasa, por lo que es común que estos se desechen en lotes baldíos, ríos, espacios públicos u otros lugares no apropiados para este fin.

En Costa Rica existe un marco normativo que legisla la Gestión Integral de Residuos Sólidos (Ley N° 8839), sin embargo, las acciones enfocadas en los residuos de construcción son escasas y poco específicas. Como consecuencia, estos últimos no se tratan correctamente, porque los generadores y los actores responsables de su gestión (Ministerio de Salud, gobiernos locales y empresas recolectoras) no cuentan con mecanismos ni datos apropiados para mejorar su recolección, transporte, almacenaje, procesamiento y disposición o que permitan reducir las tasas de generación (Arce, 2017).

Para establecer un manejo responsable y regular la gestión de los residuos producidos en proyectos de construcción, los encargados requieren información actualizada de generación. Por ejemplo, para administrar la gestión de los residuos ordinarios generados en viviendas o comercios, se realizan estudios de generación y composición de residuos sólidos ordinarios, según la metodología propuesta por el Ministerio de Salud. Las obras de construcción quedan por fuera de estas metodologías por lo que resulta necesario recabar información similar a la de estos estudios, como la generación de residuos de construcción, proyecciones de generación o la composición y caracterización de estos, para que los responsables puedan diseñar un sistema

integral de gestión de residuos de construcción que funcione adecuadamente en el país.

Según Leandro (2008), la generación de desechos de construcción en una obra depende de las políticas de administración, proveeduría y manejo de materiales del proyecto, la capacitación y calidad de la mano de obra y del tamaño y complejidad del proyecto. Es decir, dependiendo de dichas características, cada proyecto contará con una tasa de generación y composición de residuos diferente. Considerando lo anterior, recabar datos de generación de residuos de construcción según metodología constructiva es útil para cotejar y estimar las tasas de generación de proyecciones futuras.

En este proyecto se evaluó la generación y composición de residuos de construcción para viviendas unifamiliares, ya que la mayoría de las obras de construcción en Costa Rica son destinadas a este fin: Según el Informe Económico del Sector Construcción de la Cámara Costarricense de la Construcción (2021), un 42,28 % del área construida, tramitada ante el Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos (CFIA), fue de la categoría vivienda y un 37,75 % específicamente para vivienda unifamiliar.

Adicionalmente, se elige la mampostería confinada como tipología constructiva a investigar, puesto que es un método constructivo utilizado con frecuencia en el país, especialmente en viviendas individuales, del cual proviene una parte de los residuos de construcción que se disponen inadecuadamente.

### **1.1.2. Importancia**

Costa Rica es un país en vías de desarrollo, reconocido por tener una visión de sostenibilidad. Ambos calificativos implican un reto para la nación, ya que, para lograr el crecimiento económico, se incentiva el incremento de la producción y el consumo; actividades que traen consigo un impacto ambiental significativo, como el aumento de emisiones y desechos al ambiente.

A lo largo del tiempo se han desarrollado diversos programas y políticas para el manejo adecuado de desechos, cuyos resultados han sido poco significativos ya que ha habido consecuencias de contaminación del suelo o de cuerpos de agua por mal manejo de residuos (Ministerio de Salud, 2011). Por consiguiente, se ha creado una serie de

proyectos de ley que buscan un cambio cultural acorde al desarrollo sostenible, para garantizar el derecho a “un ambiente sano y ecológicamente equilibrado” (Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica, 2019). Estos documentos reconocen el valor potencial que tienen los residuos y proponen su aprovechamiento material, económico o energético, asegurando que su manejo no impacte severamente el ambiente. Además, proponen una jerarquización en la gestión integral de residuos (GIR), donde se busca evitar la generación, reducir la cantidad de residuos generados, reutilizarlos, valorizarlos, tratarlos y por último disponer, de una manera sanitaria y ecológicamente adecuada, la menor cantidad posible. Todos estos planes consideran al sector de la construcción como un generador, sin embargo, se evidencia que el enfoque está dirigido al sector industrial, comercial y al público en general, dejando vacíos en la gestión de residuos de construcción.

Como se mencionó anteriormente, los residuos producidos en las obras de construcción requieren un manejo distinto al que se le da a los residuos ordinarios provenientes de comercios o viviendas. En ocasiones su mal manejo genera botaderos en lugares inadecuados, que pueden comprometer la salud humana y al ambiente (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales, 2011). Por consiguiente, los registros calificativos y cuantitativos de generación de residuos de construcción son importantes, pues proporcionan información útil que permite crear bases de datos para establecer las políticas sobre gestión integral de este tipo de residuos, complementando los demás programas nacionales referentes al manejo adecuado de desechos y contribuyendo al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible.

Contando el presente proyecto de graduación, en la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica se han desarrollado ya varios proyectos de cuantificación de residuos de construcción que juntos pretenden componer estos registros, abarcando los principales métodos constructivos que se utilizan en el país.

## **1.2. Antecedentes teóricos y prácticos del problema**

A nivel nacional existe una serie de documentos legales, administrativos y de investigación que rigen la gestión integral de residuos en general o bien, brindan recomendaciones para su manejo (Sección 2.1.1). Estos atienden los procesos y actores involucrados en el tratamiento de residuos ordinarios, de manejo especial, peligrosos, entre otros:

- Ley Orgánica del Ambiente (N° 7554), 2019
- Ley para la Gestión Integral de Residuos (N° 8839), 2019 y su reglamento general (N° 37567-S-MINAET-H), 2013
- Reglamento sobre el manejo de residuos sólidos ordinarios (N° 36093-S), 2014
- Reglamento para la Declaratoria de Residuos de Manejo Especial (N° 38272-S), 2018
- Reglamento General para la Clasificación y Manejo de Residuos Peligrosos (N° 37788-S-MINAE), 2018
- Los reglamentos municipales para gestión integral de residuos sólidos ordinarios
- Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos 2010 – 2021 (PNGIR) del Ministerio de Salud
- Plan de Residuos Sólidos Costa Rica (PRESOL) del Programa Competitividad y Medio Ambiente, 2008
- Plan Nacional para la gestión integral de residuos 2016 – 2021 del Ministerio de Salud
- Plan Nacional de Descarbonización 2018 - 2050

También hay documentación nacional que hace mención específica a los residuos de construcción (Sección 2.2.1), entre esta se encuentran:

- Ley de Construcciones, 1949
- Reglamento de Construcciones del Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo (INVU), 2018

- Guía Ambiental para la Construcción, 2014
- Guía: Manejo Eficiente de Materiales de Construcción de Abarca y Leandro, 2016
- Guía de Manejo de Escombros y Otros Residuos de Construcción de la Unión Nacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), 2011

Al presente proyecto de graduación preceden diferentes investigaciones nacionales e internacionales asociadas a la generación de residuos de construcción. Estos se desarrollan alrededor del tema y buscan aportar a la línea de investigación de residuos de construcción impulsada desde el área de ingeniería ambiental, pero tienen un enfoque distinto o aportan productos finales diferentes a los del presente proyecto. Estos proyectos se describen a continuación y algunos se utilizan en el Capítulo 6 para comparar los datos obtenidos en otras tipologías constructivas con los generados en este proyecto para viviendas de mampostería confinada.

En el proyecto de investigación Administración y Manejo de los Desechos en Proyectos de Construcción (Leandro, 2005 y 2007), se llevó a cabo la evaluación de las prácticas existentes de manejo y administración de residuos de construcción en tres proyectos diferentes en Costa Rica y la identificación y cuantificación de los residuos. La autora concluye que la cantidad de residuos de construcción generados en las obras depende de la administración, tamaño y complejidad del proyecto, de la capacitación y calidad de la mano de obra y de la proveeduría y manejo de materiales. Además, determinó que cuando hay abundancia de materiales, el desperdicio aumenta, porque los trabajadores no priorizan la modulación y destaca la necesidad de mejora en el campo de gestión de residuos de construcción, basándose en las 3R: reducir, reciclar y reusar. En cuanto a la cuantificación obtiene que el residuo más predominante en sus proyectos es la madera. En una segunda etapa, Leandro realiza un informe con alternativas para reutilización, uso y manejo de residuos de construcción, que complementa su primer trabajo.

Quesada y Salas (2006) identifican, clasifican y establecen recomendaciones sobre las mejores prácticas para la reutilización, reciclaje y posibles centros de acopio y disposición final de los residuos de construcción generados en un condominio horizontal en Costa Rica. Además, brindan recomendaciones para los residuos

categorizados como peligrosos. Los autores concluyen que el manejo de los desechos en el condominio es inadecuado, el ambiente está sucio y desordenado porque no se implementan medidas correctivas. Recomiendan el uso del principio de las 3 R y la implementación de un plan de gestión de residuos para que el manejo de los desechos sea adecuado en los proyectos.

Cruz (2010) propone el diseño de un sistema de manejo de desechos de construcción para un edificio de apartamentos que utiliza el sistema constructivo de formaleta tipo túnel. Aplicando la metodología del Project Management Institute (PMI), el autor genera un procedimiento con recomendaciones para que el manejo de los desechos sea más eficaz. Éste encuentra que el manejo de los residuos es bueno y que los encargados tienen un alto conocimiento sobre el manejo de los residuos, pero concluye que los obreros, al contrario, no están informados. Además, menciona que los diseñadores no consideran la generación de residuos en sus labores, lo que colabora con la generación. Concluye que el sistema constructivo Túnel genera menos residuos que los sistemas convencionales.

Abarca y Leandro (2016) desarrollaron una investigación titulada "Situación Actual de la Gestión de los Materiales de Construcción en Costa Rica" para establecer una base sobre cantidades y composición de residuos de construcción en Costa Rica. Establecen un valor de generación general y los tipos más comunes de residuos, a partir de una encuesta a personal de empresas constructoras de diferentes tamaños, visitas a sitio y discusión con expertos. Adicionalmente, concluyen que muchas de las empresas que participaron no registran su generación, no conocen el destino final de los residuos y no tienen planes de gestión de residuos o encargados del área. Luego, las mismas autoras desarrollaron, junto con Hasbum y Solano (2019) un artículo titulado Gestión de materiales de construcción para reducción de residuos: barreras y motivaciones. El fin de este documento fue aportar un informe sobre los problemas de uso de materiales y residuos en el sector construcción costarricense, informando los resultados de "las barreras y motivaciones que enfrenta el sector de la construcción para mejorar la gestión de los materiales de construcción" (Abarca, Leandro, Hasbum, Solano, 2019) por medio de una encuesta a contratistas y un grupo de discusión.

Delgado (2010) realiza un diagnóstico de generación de desechos en construcciones de mampostería integral (Masterblock e Integra), mediante el cual caracteriza los sistemas, identifica y cuantifica los residuos que estos producen y compara con mediciones anteriores. A partir de sus resultados identifica variables que modifican las tasas de generación como el clima, el terreno donde se ubica la vivienda, la calidad y capacidad de la mano de obra, el diseño y tipo de contrato de la construcción, transporte y manipulación de materiales y el interés de los involucrados. Concluye que el sistema de mampostería integral estudiado generó menos desperdicio especialmente en el uso de acero y madera.

Otro método estudiado son las viviendas tradicionales, Leiva (2011) desarrolla un estudio para identificar causas de generación de concreto, madera y acero. En su trabajo lleva a cabo un mapeo de materiales dentro del proyecto, aplica listas de control para identificar adónde y por qué se generan los residuos y también pesa los residuos para obtener una tasa de generación para los materiales estudiados. La tasa de generación obtenida es de  $11,4 \text{ kg/m}^2$ , donde la mayor parte fue restos de bloques de mampostería, estos resultados son importantes para el presente proyecto, pues se utilizaron para comparar con los obtenidos en viviendas de mampostería confinada.

Castro (2019) obtuvo las tasas de generación de residuos sólidos en dos viviendas unifamiliares de lujo en su proyecto de investigación para un promedio de  $142,39 \text{ kg/m}^2$  para sus proyectos y un índice de residuos del  $15,65 \%$ . Los residuos más frecuentes identificados son el escombros y la madera. El autor también evaluó el rendimiento de materiales y estableció recomendaciones de eficiencia y parámetros base para cuantificar el problema de la gestión de residuos de construcción. Concluye que el uso de elementos prefabricados o el uso de madera contrachapada (plywood) para encofrado incide en la tasa de generación de residuos.

Marín (2021) desarrolló la cuantificación y caracterización de residuos de construcción para apartamentos individuales en condominio, construidos con el método constructivo de mampostería integral, con el fin de generar registros calificativos y cuantitativos de generación de residuos de construcción y aportar a la creación de bases de datos sobre residuos de construcción. Como parte de sus resultados obtiene una tasa de generación de  $9,99 \text{ kg/m}^2$  y un índice de residuos de  $1,54 \%$  a partir de lo que

concluye que este sistema constructivo genera menores cantidades de residuos que las viviendas construidas con mampostería tradicional.

Bolaños (2021) lleva también una metodología similar para sistemas modulares de viviendas en serie. A partir de su estudio concluye que la tasa de generación obtenida es menor que las reportadas en dos estudios de viviendas construidas con mampostería confinada y similar a los de viviendas de mampostería integral.

### **1.3. Objetivos del proyecto**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Determinar las tasas de generación de residuos de construcción en tres viviendas individuales, construidas con mampostería confinada, en la Gran Área Metropolitana, a través de la cuantificación de estos residuos en visitas de campo.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Categorizar los residuos producidos a lo largo de la construcción de las viviendas con el sistema de mampostería confinada, según sus características físicas.
- Cuantificar las tasas de generación de residuos de construcción durante las diferentes etapas constructivas de las viviendas elegidas.
- Brindar recomendaciones para la gestión integral de residuos de construcción, para esta tipología constructiva, que sirvan como insumo para la generación de normativa nacional para el sector de la construcción.

### **1.4. Delimitación del problema**

#### **1.4.1. Alcance**

Para este proyecto se llevó a cabo únicamente la identificación, categorización y cuantificación de los residuos de construcción generados en la etapa de obra gris de los tres proyectos estudiados. No se profundizó en aspectos relacionados con su recolección, transporte, almacenamiento, manejo o disposición final. Solo se estudió

la etapa de obra gris ya que los proyectos presentaron complicaciones y avanzaron más lento de lo normal, por la pandemia de COVID-19.

Los posibles residuos por identificar y su categorización se detallan adelante en el Cuadro 1. Esta última se realizó con muestreos puntuales de los tipos de residuo y las categorías empleadas se basan en los tipos de residuos establecidos en la Ley para la Gestión Integral de Residuos (2019): residuos ordinarios, residuos peligrosos y de manejo especial. Cabe destacar que en los reglamentos de residuos de manejo especial o peligrosos no se contemplan los residuos de construcción como parte de los regulados, pero por sus características de gestión, y para términos del presente proyecto, se agrupan dentro de estas tres categorías.

Cuadro 1. Categorización de posibles materiales de construcción

<b>Categoría</b>	<b>Tipo</b>	<b>Material</b>
De manejo especial	Cementicios	Arena, piedra, lastre, cemento, concreto, mortero de pega, bloques de mampostería, repello, otros.
	Eléctrico	Cable, componentes eléctricos, otros.
	Madera	Formaleta, completamientos, codales, cercas, otros.
	Materia vegetal (*)	Tierra, rocas, pasto, zacate, plantas, otros.
	Láminas livianas	Láminas gypsum, durock, pasta, otros.
	Cerámica	Azulejos
	Metales	Varillas, alambre negro, clavos, tornillos, láminas de zinc, perfiles de acero, tubería, accesorios, otros.
Ordinarios	Ordinarios (*)	Residuos de comida, empaques, botellas, cubiertos desechables, otros.
	Papel y cartón	Sacos, papel, empaques, bolsas, otros.
	Plástico	Tubería, accesorios, plástico negro, empaques, cedazo, bolsas, otros.
	Vidrio	Bombillos, ventanería, otros.
Peligrosos	Peligrosos	Pintura, barnices, aditivos, aceites, aerosoles, pegamentos, envases contaminados, otros.

(\*) residuos no cuantificados

Algunos materiales de manejo especial, que por gestión de las construcciones se recogieron como residuos ordinarios con el camión municipal de basura, la materia vegetal y el material del movimiento de tierras, no fueron cuantificados para efectos de este proyecto. Lo anterior porque se dificultó reunir los materiales y pesarlos en sitio.

Como se detallará en el Capítulo 4, para la cuantificación de residuos se estudiaron tres proyectos de construcción que fueran lo más similares entre sí y representaran adecuadamente el método constructivo de mampostería confinada en casas independientes, para generar datos específicos de este método constructivo. Para lograr lo anterior, se seleccionó tres casas independientes ubicadas en San José, con áreas menores a los 200 metros cuadrados y construidas mayoritariamente con muros de mampostería y elementos estructurales colados en concreto. Los datos generados a partir de este proyecto buscan representar construcciones similares en ubicación, método constructivo y destino de la obra: viviendas individuales ubicadas dentro de la GAM construidas con el método de mampostería confinada. Sin embargo, por la cantidad de obras estudiadas, los datos de generación obtenidos no son estadísticamente representativos.

Se utilizó la metodología del análisis de pesada total. Este método permite establecer la tasa de generación de residuos y su composición en las obras estudiadas. Para lo anterior, se cuantificó el peso de los residuos generados en la etapa de obra gris de los tres proyectos, se ordenaron según tipo de material y finalmente se estimó las tasas de generación por proyecto, por material y para la metodología constructiva de mampostería confinada.

#### **1.4.2. Limitaciones**

Por la limitación de tiempo y recursos disponibles para la elaboración de este proyecto, se analizaron los residuos de construcción solamente en la etapa de obra gris de tres proyectos representativos de las construcciones de viviendas unifamiliares con mampostería confinada en la Gran Área Metropolitana, como se mencionó anteriormente. Esta muestra permite estimar tasas de generación de residuos y proyectar su comportamiento por tipo de material y tipo de disposición final. Por lo

anterior, los resultados de este proyecto son aplicables únicamente a la estimación de tasas de generación de proyectos de construcción con áreas similares, que utilicen el sistema de mampostería confinada y que se ubiquen dentro del Gran Área Metropolitana.

A pesar de lo anterior, y según concluye Castro (2017), la etapa de obra gris es en la que se genera la mayor parte de los residuos de una construcción, por lo que esta limitación no implica variaciones altas en la cuantificación de los residuos.

El avance de las etapas de cuantificación de residuos de construcción y posteriores, dependieron del hallazgo y del progreso de las obras analizadas. El tiempo de elaboración del presente proyecto se extendió debido a la búsqueda de proyectos, a la espera de su inicio y al retraso o detención de las obras, en especial considerando el estado de emergencia por la pandemia del COVID-19.

La exactitud de los resultados de las etapas de identificación, categorización y cuantificación de los residuos de construcción dependió, parcialmente, de la disposición de las empresas y los encargados de cada proyecto a la hora de facilitar la información. Su colaboración resultó indispensable para asegurar que la muestra fuera lo más representativa posible, sin embargo, se registraron ciertas variables que pudieron afectar, en cierta medida, la calidad de los datos.

- En el caso del proyecto A se presentó un desacuerdo entre responsables, por presuntos pagos no realizados, y cerca de la culminación de la obra gris el proyecto fue detenido, imposibilitando seguir con el pesaje de los residuos. Se estima que el avance de la obra gris en este momento era mayor al 90 %, cerca de la culminación del levantamiento de los muros del segundo nivel. La obra avanzaba muy lento, luego el ingeniero no regresó más y se detuvo por completo. Meses después se dio a conocer que los dueños de la vivienda terminaron la construcción. Los datos recolectados tanto de adquisición de materiales como de residuos generados no contemplan la totalidad de la etapa de obra gris, pero si la totalidad que fue recolectada para llevar al sitio de disposición antes de detener la obra. Por las actividades ya culminadas, se deduce que el principal tipo de material que se ve afectado por esta limitación, son los metálicos (estructura y láminas de techo).

- La comunicación con los encargados de los proyectos B y C fue limitada, por lo que no facilitaron las listas de proveeduría para registrar el ingreso de materiales a los proyectos y poder generar un balance de masas como respaldo. Por lo anterior no se obtuvo índices de residuo en estos dos proyectos.
- En el proyecto B no se encontró ningún residuo relacionado con la instalación eléctrica. Según aclaró el arquitecto, el subcontratista encargado de esta actividad se llevó todas las sobras de materiales que generó cuando hizo su trabajo y los reutilizaba o disponía en otros proyectos, lo que incluye principalmente tuberías plásticas y cable.
- Por necesidades de espacio en el proyecto C, los encargados solicitaron la limpieza y recolección de residuos para su disposición en medio de la toma de datos, sin aviso previo. Por esta razón, una parte de los residuos generados hasta ese momento no pudieron ser cuantificados con exactitud. Gracias a fotografías, se identificó algunos de los materiales cuyas cantidades fueron afectadas y se estimó con pesos conocidos, estos son: estereofón, malla electrosoldada, plástico negro, tubería de PVC, cartón y sacos de cemento.
- Debido a la época del año en que se llevó a cabo la construcción del proyecto A, los materiales estaban en ocasiones saturados con agua por las fuertes lluvias y la acumulación de agua en la zona donde se almacenaban, ocasionando un aumento en su peso. Este efecto es considerable, especialmente en el caso de la madera, ya que su peso aumenta al estar saturado con agua. Para la obtención de las tasas de generación y el cálculo del índice de residuos, se corrige los pesos por humedad, empleando los datos obtenidos por Castro (2019): porcentaje de humedad de 26,74 %.
- En varias ocasiones, durante el pesaje de residuos en los tres proyectos, se debió pesar distintos materiales juntos, ya que, por razones constructivas, estaban unidos entre sí, por ejemplo: la formaleta de madera en ocasiones tenía restos de concreto de los elementos colados, los clavos en las tablas y recortes de madera se pesaron en conjunto. Por estas condiciones, a la hora de cuantificar se registran los residuos juntos y se categorizan como el material mayoritario. Se considera que estas cantidades son insignificantes al ser

comparadas con los valores totales de los residuos, sin embargo, se debe indicar que su tratamiento se puede ver limitado por la presencia de otros materiales contaminantes.

- En los tres proyectos se dieron "prácticas de reducción de residuos" que imposibilitaron su pesaje y la estimación de cantidades: por ejemplo, el relleno de las celdas de la mampostería con restos de bloques de mampostería quebrados y varillas de acero o el relleno de las cimentaciones con escombros y similares. Estas prácticas no son recomendables, pues añaden peso, pero no resistencia a los muros, pero si son frecuentes en este tipo de construcciones.

Durante la cuantificación se tomó en cuenta que las herramientas de medición utilizadas en este proyecto tienen una incertidumbre asociada. Al realizar el pesaje de los residuos, se utilizó una balanza digital marca Maxi House (Figura 1), con un valor de incertidumbre de  $\pm 0,05$  kilogramos, ilustrada a continuación:



Figura 1. Fotografía de la balanza digital utilizada

En el capítulo de recomendaciones (sección 7.2.1) se brindan algunos comentarios referentes a las limitaciones enfrentadas en este proyecto de investigación, que sería ideal tomar en cuenta para el desarrollo de futuros proyectos similares al presente.

## **Capítulo 2. Marco teórico**

Para darle especificidad a los contenidos de la gestión residuos de construcción es fundamental introducir los residuos sólidos como tema general, ya que el proceso que lleva a su disposición no puede desatender o desligarse de las regulaciones ya existentes. Los residuos de construcción junto con los demás residuos (industriales, domésticos, comerciales, agrícolas, etc.) conforman la totalidad de los residuos sólidos y su gestión debe darse a un nivel integral.

### **2.1. Gestión integral de residuos**

Como lo define la Ley para la Gestión Integral de Residuos (N° 8839) un residuo es cualquier tipo de material del cual su generador requiere deshacerse; este puede valorizarse, tratarse o manejarse en un sistema de disposición final. La clasificación definida en esta ley es la siguiente (Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica, 2019):

- Residuos ordinarios: residuos domésticos con composiciones similares a los generados en viviendas, excluyendo los de manejo especial o peligrosos.
- Residuos de manejo especial: residuos que requieren salir de la corriente de residuos ordinarios porque implican riesgos significativos a la salud o degradación de ecosistemas debido a su composición, transporte, almacenaje, uso o valor de recuperación.
- Residuos peligrosos: residuos pueden causar daños a la salud o al ambiente por su reactividad química o características inflamables, explosivas, corrosivas, tóxicas, bioinfecciosas, etc.

La gestión integral de residuos sólidos es el conjunto de acciones individuales o combinadas para el manejo de los residuos de manera efectiva y segura, desde que se generan hasta su disposición final e incluye regulaciones, operación, financiamiento, administración, educación, planificación, monitoreo y evaluación (Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica, 2021). El primer intento por regular el tema en Costa Rica se dio con la promulgación de la Ley General de Salud, en 1974, que establece la separación y el reciclaje como obligatorios, sin embargo,

aún no incluía regulación sobre la reducción de generación de residuos (Ministerio de Salud, 2016).

Gracias a la Ley para la Gestión Integral de Residuos, en el 2010 se cambia el concepto de basura o desecho por el de residuo, reconociendo que estos materiales tienen un valor aprovechable. Se regula su valorización para disminuir la cantidad de residuos que llegan a disposición final y por consiguiente a los rellenos sanitarios en uso. Desde entonces existen cada vez más cantones implementando los Planes Municipales para la Gestión Integral de Residuos (PMGIR). Todo lo anterior se fundamenta en el principio de jerarquía que incluye las acciones y posibilidades de gestión que pueden aplicarse individualmente o en conjunto, como se ilustra más adelante en la Figura 2.

Lo más deseable es evitar y reducir la generación de residuos: esto consiste en identificar los materiales antes de que entren a la corriente de desechos, por ejemplo, evitar adquirir materiales como empaques desechables o preferir el uso de materiales duraderos. Estas acciones traen ventajas como el ahorro en materia prima, la reducción de costos de gestión e impactos ambientales que se generan en el transporte, almacenamiento o tratamiento de residuos.

Dado el caso que se deban adquirir materiales desechables, la siguiente acción a tomar es reutilizar: en ocasiones un objeto puede utilizarse con otro propósito luego de su uso principal y de esta manera demora su entrada a la corriente de desechos.

Cuando un material no se reutiliza se puede valorizar: existen muchos materiales reciclables que se pueden emplear como materia prima para elaborar productos nuevos, materiales compostables o también existen alternativas para extraer energía de ellos. Estos materiales se seleccionan con métodos de separación y enviados a centros de valorización, de manera que no deban ser tratados en sitios de disposición final.

El tratamiento y la disposición son las acciones menos preferibles y es deseable que se empleen únicamente en la porción que no pudo ser extraída con las demás alternativas. Estos materiales se disponen en rellenos sanitarios controlados, donde se tratarán adecuadamente según sus características.

Cada país se encarga de establecer sus estrategias para llevar el correcto manejo de residuos por medio de políticas y normas, en la siguiente sección se detallan algunos de los documentos costarricenses que regulan la gestión integral de residuos en el país.

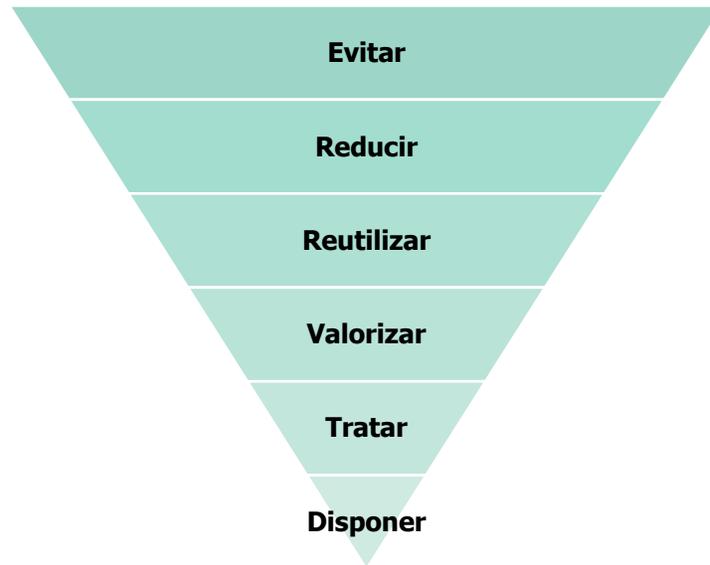


Figura 2. Jerarquía en el manejo de residuos  
Fuente: Ministerio de Salud, 2016

### **2.1.1. Legislación sobre gestión de residuos**

Entre los documentos que norman la gestión, los procesos y actores involucrados en el tratamiento de residuos en Costa Rica destacan varias políticas, reglamentos y legislaciones. Algunos de estos se presentan a continuación:

La Ley Orgánica del Ambiente (N° 7554) se estableció en 1995 con el objetivo de “dotar a los costarricenses y a el Estado de los instrumentos necesarios para conseguir un ambiente sano y ecológicamente equilibrado”. Esta ley establece principios básicos que sustentan otros documentos nacionales, para cumplir con los fines de la ley en cuanto a obligaciones, participación ciudadana, los Consejos Regionales Ambientales, educación e investigación ambiental, impacto ambiental, protección del ambiente, ordenamiento territorial, áreas silvestres protegidas, recursos marinos, costeros, humedales, forestales, del aire, del agua, del suelo, energéticos, sobre la contaminación, entre otros. Su capítulo cuarto regula las evaluaciones de impacto ambiental, que consideran la generación de residuos en construcciones.

La Ley para la Gestión Integral de Residuos (N° 8839) tiene el objetivo de “regular la gestión integral de residuos y el uso eficiente de los recursos, mediante la planificación y ejecución de acciones regulatorias, operativas, financieras, administrativas, educativas, ambientales y saludables de monitoreo y evaluación” (Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica, 2019). Su acatamiento es obligatorio para todos los actores generadores de residuos. En esta ley se dictan las competencias institucionales para el Ministerio de Salud y para las municipalidades en materia de residuos. También establece la utilidad de planes municipales de residuos.

El Reglamento General a la Ley para la Gestión Integral de Residuos (N° 37567-S-MINAET-H) del 2013 regula la gestión de los residuos a nivel nacional, a partir de su ley, para “prevenir riesgos sanitarios, proteger y promover la calidad ambiental, la salud y el bienestar de la población”. En este documento se rige la coordinación entre instituciones, la participación ciudadana, los instrumentos de planificación como la Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos, el Plan Nacional para la Gestión Integral de Residuos y los planes municipales, sobre los gestores autorizados, el movimiento de residuos entre países y otros.

El Reglamento sobre el manejo de residuos sólidos ordinarios (N° 36093-S) entró en vigor en el 2011 y regula “los aspectos relacionados con la gestión integral de los residuos sólidos ordinarios, cualquiera que sea la actividad o el lugar de generación”. En este reglamento se establecen temas relacionados con el principio de jerarquización, las responsabilidades municipales, de los usuarios y del almacenamiento de residuos ordinarios, de la recuperación, recolección, transporte, valorización y disposición de los residuos, sobre estaciones de transferencia, prohibiciones y sanciones del reglamento.

Adicional a este reglamento se publicó en 2014 el Reglamento para la Declaratoria de Residuos de Manejo Especial (N° 38272-S) que ahonda los criterios y procedimientos sobre la gestión de los residuos de manejo especial (llantas usadas, baterías ácido plomo, pilas, electrodomésticos y artefactos eléctricos varios, aceites y envases de aceites lubricantes o agroquímicos, bombillos, refrigerantes, colchones, poliestireno, vehículos automotores y equipo especial). El reglamento establece las responsabilidades para la producción, importación, distribución, distribución, comercialización, generación y gestión de estos residuos. Y busca promover la reducción de la generación por medio de los Planes de Cumplimiento y los Planes Municipales de Gestión Integral de Residuos Sólidos.

El Reglamento General para la Clasificación y Manejo de Residuos Peligrosos (N° 37788-S-MINAE) tiene como objetivo “establecer las condiciones y requisitos para la clasificación de los residuos peligrosos, así como las normas y procedimientos para la gestión de éstos”.

Y el Reglamento para Centros de Valorización de Residuos Valorizables (2010) “establece los requisitos y condiciones físico-sanitarias que deben cumplir los centros de recuperación de residuos valorizables” durante su construcción, ampliación o remodelación, para su funcionamiento, de las instalaciones, sobre la importación y exportación de residuos y sobre las prohibiciones y sanciones relacionadas con estos centros.

La Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos 2010 – 2021 (PNGIR), que fue elaborada por varias organizaciones públicas y privadas, con el fin de “cambiar el paradigma de la realidad costarricense en torno a los residuos”, califica los residuos

como recursos con un potencial y no como una fuente de problemas (PNGIR, 2011). Entre sus contenidos se expone un análisis de la situación nacional en la gestión integral de residuos, los seis enfoques y ámbitos de las estrategias de la política y los procedimientos para su incorporación a la realidad nacional: legal, educación, económico, fortalecimiento institucional y organizacional, hábitat humano e investigación y desarrollo tecnológico.

El Plan de Residuos Sólidos Costa Rica (PRESOL) ofrece 31 acciones estratégicas que buscan la “reducción de residuos, la recuperación de materiales, aprovechamiento energético y tratamiento de los residuos” (Programa Competitividad y Medio Ambiente, 2008), dentro de las cuales se incluyen los residuos de construcción, escombros y residuos peligrosos. Este Plan se elaboró en conjunto con la Ley N° 8839 y con la PNGIR para orientar las acciones gubernamentales y privadas en el tema de la gestión integral de residuos.

Por último, el Plan Nacional para la Gestión Integral de Residuos 2016 – 2021 del Ministerio de Salud se presenta como actualización del PRESOL y para orientar la implementación de la PNGIR, según los seis ámbitos establecidos. Además, incluye un sistema de monitoreo y evaluación del plan.

## **2.2. Residuos de construcción**

Mercante (2007) define los residuos de construcción como materiales residuales producidos en procesos de construcción, renovación o ampliación de estructuras: limpieza de terrenos, materiales de excavación, residuos de obras viales o de construcciones nuevas, ampliaciones y reparaciones. La misma autora afirma que estos residuos no arriesgan la salud humana, en comparación a los residuos ordinarios, pero que su problemática principal consiste en que estos son usualmente muy voluminosos, por lo que los costos de transporte son altos y el espacio de almacenamiento debe ser considerable.

Actualmente en Costa Rica no existen bases de datos oficiales con información sobre los tipos o las cantidades de residuos de construcción que se generan en el sector y estas varían país a país, pero en general la cantidad depende de los siguientes aspectos (Leandro, 2005):

- Tamaño, tipo y complejidad de la obra
- Diseño del proyecto
- Administración del proyecto
- Proveeduría y manejo de materiales
- Capacitación y calidad de la mano de obra

Entre mayor sea el tamaño de la vivienda, mayor será la cantidad de residuos que genera, por la cantidad de materiales necesarios para su edificación. También dependerá del diseño, ya que puede tener diferente número de elementos que requieran más o menos materiales. Las diferentes metodologías constructivas también afectan la generación de residuos, algunas pueden ser más eficientes que otras en cuanto al uso de materiales y tener tasas bajas de generación de residuos, como por ejemplo cuando se usan correctamente elementos prefabricados o modulares. Sin embargo, independientemente del método de construcción, hay situaciones que pueden suscitar cantidades mayores de residuos como la compra de cantidades innecesarias de materiales, la variación en las dimensiones de elementos, el daño de materiales por baja calidad o manipulación inapropiada o la falta de conocimiento, compromiso e interés de las empresas constructoras con el correcto manejo y tratamiento de los materiales y sus residuos.

A partir de un estudio de generación realizado a 52 empresas constructoras en Costa Rica, los residuos de construcción producidos más comunes son: acero, aluminio, empaques de cemento, cable eléctrico, cartón, cerámica, tuberías de cobre, concreto (armado o no), estereofón, herramientas, hierro, ladrillos, láminas corrugadas, cerrajería, aislantes, material vegetal, melamina, papel, empaques de plástico, residuos de paredes livianas, residuos de mármol, granito y similares, PVC, yeso, mortero de pega, repello, fragua, tela y vidrio (Abarca y Leandro, 2016).

La cuantificación de estos residuos se puede realizar con varios métodos que estiman el peso y/o el volumen de estos; estas pueden considerar la población, los permisos de construcción y las tendencias de la región. Las unidades comunes utilizadas para reportar estas magnitudes varían según la aplicación; se utilizan toneladas o kilogramos por metro cuadrado, metro cúbico por metro cuadrado, toneladas por día

o año, etc. En esta investigación se emplea el método de pesada total, donde se utiliza una balanza para pesar los residuos generados en los proyectos.

### **2.2.1. Legislación sobre residuos de construcción**

Como se mencionó anteriormente, la gestión de residuos de construcción no puede desatender o desligarse de las normas sobre residuos en general; por consiguiente, todos los documentos presentados anteriormente sobre gestión de residuos también regulan al sector construcción. A pesar de lo anterior, el enfoque de estos documentos es muy general y no profundiza en cuanto a la generación de residuos de construcción.

A continuación, se presentan algunos de los documentos nacionales, de carácter legal y administrativo, que ahondan en la gestión de residuos de construcción:

La Ley de Construcciones y sus reformas rigen la construcción, adaptación o reparación de edificios, estructuras y elementos en Costa Rica. En sus artículos se trata temas sobre la vía pública, urbanizaciones, cercas, altura de construcciones, parques, demoliciones, excavaciones, sobre los ingenieros a cargo, entre otros y se rige la ubicación de establecimientos malsanos, como rellenos sanitarios, y los requisitos que deben atender sobre sus emisiones. Sin embargo, no especifica ningún artículo sobre residuos sólidos generados en proyectos de construcción.

El Reglamento de Construcciones del INVU norma la planificación, diseño y construcción de obras de infraestructura urbana, para garantizar solidez, estabilidad, seguridad, salubridad, iluminación y ventilación adecuadas (Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo, 2018). En materia de residuos de construcción, regula la disposición de escombros de demolición, pero no es específico sobre la gestión de los residuos de construcción producidos.

La Guía Ambiental para la Construcción, existe desde el 2014 y fue aprobada con el objetivo de servir como un instrumento de referencia estandarizado para planificar y ejecutar medidas ambientales para cualquier acción que implique un impacto en el ambiente (Secretaría Técnica Ambiental, 2008). Establece los lineamientos a seguir como estudios básicos, evaluación y viabilidad ambiental y permisos de construcción, que consideran la gestión de los residuos producidos. Presenta una sección que se refiere a las medidas a aplicar cuando exista un excedente de material de movimiento

de tierras que deba llevarse fuera del área del proyecto. Y cuanto a la gestión de residuos sólidos define las prácticas adecuadas para prevenir que la actividad constructiva impacte el ambiente. Y también presenta el procedimiento para evidenciar el cumplimiento con el manejo de residuos.

### **2.2.2. Gestión de residuos de construcción**

Actualmente los residuos de construcción en Costa Rica se gestionan de manera inapropiada, ya que algunas empresas no cuentan con los mecanismos necesarios o el conocimiento suficiente para poner una correcta gestión en práctica. Por ejemplo, la separación en la fuente es poco común, lo que dificulta la reutilización o valorización de los residuos o su mala disposición que impacta negativamente el ambiente y la salud humana es frecuente que estos residuos se desechen en lotes baldíos, en botaderos ilegales, cerca de carreteras o drenajes, en el lecho de ríos, etc. (Leandro, 2005 y 2007).

En el momento que se compran los materiales necesarios para la obra, inicia el control de la generación de residuos. Según Cruz (2010) el porcentaje de desperdicio de materiales será mayor si el presupuesto es inexacto o no considera los desperdicios como un factor determinante: por inexperiencia de quien lo elabora, aplicación de factores de seguridad altos o falta de detalle en planos constructivos. En este caso, se compra más materiales de los necesarios y aumenta la cantidad de residuos generados.

En proyectos pequeños tampoco es común que se lleven controles de inventario donde se registre las cantidades compradas y utilizadas para controlar los índices de desperdicio. Un 83 % de las empresas encuestadas por Abarca y Leandro (2016) no guardan un registro de este tipo.

En cuanto a la recolección de los residuos dentro del proyecto, la práctica más común es designar cualquier área donde se acumulan los residuos en pilas o recipientes, de manera que no estorben, sin clasificarlos ni cuantificarlos. Un material que sí se suele separar por su capacidad de reutilización es la madera: a esta se le puede dar varios usos, dependiendo de la aplicación, como se observó en los proyectos estudiados.

Para el transporte de los residuos lo más común es que se contrate algún servicio independiente que los recogerá para llevarlos a lugares de reciclaje o disposición final. Si bien existen empresas de transporte que llevan los residuos a lugares apropiados, en ocasiones éstos son llevados a botaderos ilegales, lotes baldíos, etc., donde contaminan el ambiente y comprometen la salud y seguridad humana. Abarca y Leandro (2016) concluyen lo anterior a partir de un estudio en el cual 22 % de las empresas entrevistadas no conocían el destino final de los residuos generados en sus proyectos.

En la guía Manejo Eficiente de Materiales de Construcción de Abarca y Leandro (2016) presentan recomendaciones de buenas prácticas para el manejo de residuos de construcción:

- Desde la gestión de compras se pueden acatar buenas prácticas para gestión de residuos de construcción como empleo de materiales más eficientes, el control de pedidos y recepción de materiales, guardar sobrantes para utilizar a futuro, capacitar la mano de obra para reducir desperdicio, comprar materiales con las dimensiones necesarias, entre otros.
- Durante la gestión de materiales recomiendan exigir la buena calidad de los materiales, darles supervisión para su recepción y manejarlos adecuadamente dentro del proyecto, llevar un control de materiales, capacitar al personal sobre el manejo de materiales, seguridad y salud ocupacional y sobre la importancia de cuidar el ambiente, y analizar el posible reúso o reciclaje de los materiales.
- En la etapa de ejecución es importante diseñar el sitio, considerando un lugar de clasificación de residuos y revisarlo conforme avanza el proyecto, establecer controles y sanciones para el uso de materiales, revisar planos y presupuestos antes del inicio de la obra, capacitar a los trabajadores, exigir equipo en buen estado y darle el control para mantenerlo, buscar posibilidades para brindar materiales sobrantes a otros proyectos (venta, intercambio...), evitar la rotación de personal y planificar actividades.
- Otras prácticas recomendadas son el uso de descapote en rellenos, incentivar el reúso de materiales, llevar un control de cantidades de residuos, separarlos y prevenir que se ensucien, aplicar incentivos para la reducción de residuos,

controlar que los vehículos encargados del transporte los cubran para evitar que estos contaminen durante el viaje y enviar los materiales a gestores autorizados.

Dependiendo del tipo de residuos que se generan, se deberá dar un tratamiento diferente, considerando el potencial de valorización y las posibles opciones para su procesamiento y disposición final. Una gran porción de los residuos generados en construcción es reciclable; algunos ejemplos de valorización de residuos de construcción son el uso de ladrillo triturado u hormigón como agregados, base de caminos o material de relleno, molido de madera para compostaje, quema de madera para combustible, reciclaje de papel, plástico, cartón, metales o vidrio. Los materiales que no permiten valorización se deben disponer correctamente, con un gestor autorizado para su tratamiento y disposición.

En Costa Rica existen varias empresas que gestionan residuos de construcción como escombros, madera, diferentes tipos de plástico, metales variados, baterías, bloques de mampostería, gypsum, vidrio, cartón y papel, pinturas, solventes, grasas y aceites, residuos electrónicos, etc. La guía de Manejo Eficiente de Materiales de Construcción (Abarca y Leandro, 2016) presenta una amplia lista con estas empresas y sus ofertas de alternativas para la gestión de los residuos generados en la construcción de obras civiles. También presenta fichas de las posibilidades de manejo de los diversos materiales, algunos se resumen adelante, en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Posibilidades de manejo según material

Acero	Reutilizable si su calidad lo permite Reciclaje para producir más acero Separar y utilizar en procesos metalúrgicos
Aditivos	Reutilizable si su calidad lo permite
Aluminio	Reutilizable si su calidad lo permite Altamente reciclable
Bolsas de cemento	Reutilizable para artesanías Reciclaje para elaboración de papel
Cable eléctrico	Reutilizable para producir cable nuevo Reciclaje de metales
Cartón	Reutilizable para producir cartón Reciclar para producir papel
Concreto	Reutilizable como material de base, sub base o refuerzo en terrenos. Reciclaje para producir concreto nuevo.
Concreto armado	Reutilizable como base de carreteras o áridos en asfalto Reciclaje para elaboración de concreto.
Desenmoldante	Reutilizable, si su calidad lo permite
Envases de pintura	Reutilizable para almacenaje
Estereofón	Reutilizable para artesanías Reciclable para fabricar materias primas No apto para rellenos sanitarios
Hierro	Reutilizable si su calidad lo permite Reciclable como chatarra
Láminas de zinc	Reutilizable si su calidad lo permite Altamente reciclable en procesos metalúrgicos
Madera	Reutilizable para fabricación de elementos Reutilizable como combustible Reutilizable para cubrir vertederos y compost Reciclable para fabricar papel o elementos prefabricados
Pintura	Reutilizable si su calidad lo permite Reciclable para producir combustible No apto para rellenos sanitarios
PVC	Reutilizable si su calidad lo permite Altamente reciclable
Vidrio	Reutilizable como árido para concreto o fibra de vidrio. Reciclable para elaborar envases

Fuente: Abarca y Leandro, 2016

En un estudio elaborado por Abarca, Leandro, Hasbum y Solano (2019) se concluyó sobre algunas de las barreras que enfrenta la industria para la reducción de residuos de construcción. Entre estas se encuentran:

- El mercado que recibe productos reciclados de construcción es limitado.
- Existe la opinión de que la gestión de los residuos de construcción aumenta los costos de los proyectos; que no es rentable o eficiente.
- No existen penalizaciones económicas al manejo inadecuado de los residuos de construcción.
- No hay voluntad por parte de los trabajadores del sector.
- Los diseñadores no consideran la reducción de residuos en sus labores.
- No existen procedimientos, normas o estándares de recolección, separación, transporte, procesamiento o disposición. Tampoco instrumentos legales que faciliten la gestión.
- Los operarios tienen poca experiencia en el tema.
- La educación y capacitación sobre gestión de residuos de construcción es insuficiente, afectando el comportamiento de operarios, diseñadores, clientes y otros involucrados.

Adicionalmente, los autores reportaron una lista de motivaciones existentes para implementar medidas de reducción en proyectos de construcción:

- La disposición de residuos de construcción es costosa.
- La reducción de costos por menos desperdicio, ahorro en materiales y energía, multas por impactos ambientales.
- Ganancias por la reventa de materiales
- Mejor imagen empresarial, experiencia y competitividad
- Aumento de la capacidad de la mano de obra

### 2.3. Metodología para categorización y cuantificación de residuos

Para cuantificar y clasificar residuos de construcción se pueden utilizar diversos métodos aplicables en residuos ordinarios: análisis de pesada total, análisis peso – volumen, balance de masas o muestreo estadístico. Para el presente proyecto se empleó la metodología del análisis de pesada total y balance de masas.

El análisis de pesada total (análisis de número de cargas) consiste en pesar todos los residuos que llegan a una instalación de tratamiento o vertido y permite determinar la tasa de generación de residuos con los datos recolectados (Castro, 2017). Para este proyecto de investigación se llevó a cabo el pesaje de los residuos generados en la etapa de obra gris de los proyectos, una vez que estos se almacenaban en los respectivos lugares de acopio.

La tasa de generación de residuos es la relación que existe entre la cantidad de residuos generados, ya sea en peso o volumen y la unidad de generación deseada. Para el caso de este proyecto se utiliza el peso en kilogramos por metro cuadrado de construcción, según la siguiente ecuación:

$$Tasa\ de\ generación = \frac{kg\ de\ residuos\ generados}{m^2\ construidos} \quad (1.)$$

Los datos sobre tasas de generación de proyectos de construcción son necesarios para crear bases de datos con las cuales establecer las políticas necesarias sobre gestión integral de residuos de construcción en el país. Estas magnitudes permiten estimar proyecciones nacionales de las cantidades de residuos de construcción que requieren manejo anualmente y son básicos para el diseño y planteamiento de un sistema integral de gestión.

En el caso del proyecto A se estimó el índice de residuos realizando un balance de masas. Para este método se deben identificar todas las entradas y salidas a un sistema limitado: en este caso los materiales adquiridos y los residuos generados. El índice de residuos se obtiene con la siguiente ecuación:

$$Índice\ de\ residuos = \frac{kg\ de\ residuos\ generados}{kg\ de\ materiales\ adquiridos} \times 100\ \% \quad (2.)$$

## 2.4. Método constructivo de mampostería confinada

Según el Código Sísmico de Costa Rica (2014) este método constructivo se compone de un sistema de paredes de mampostería hueca o sólida que se confina con columnas y/o vigas de concreto coladas antes o después construido el paño de bloques. En estos sistemas los muros resisten las cargas verticales y horizontales y los elementos confinantes mejoran la resistencia y soportan las fuerzas cortantes (Schacher y Hart, 2015).

Estas paredes deben tener un ancho mínimo dependiendo de las cargas a soportar; la altura y longitud máximas (incluyendo los elementos confinantes) será de tres metros, en el caso de utilizar bloques huecos. Los bloques se unen con un mortero de pega y su interior se refuerza con varillas de acero, vertical y horizontalmente y se rellena con concreto (Figura 3). Los elementos confinantes deben respetar una dimensión y refuerzo mínimos (Código Sísmico de Costa Rica, 2014).

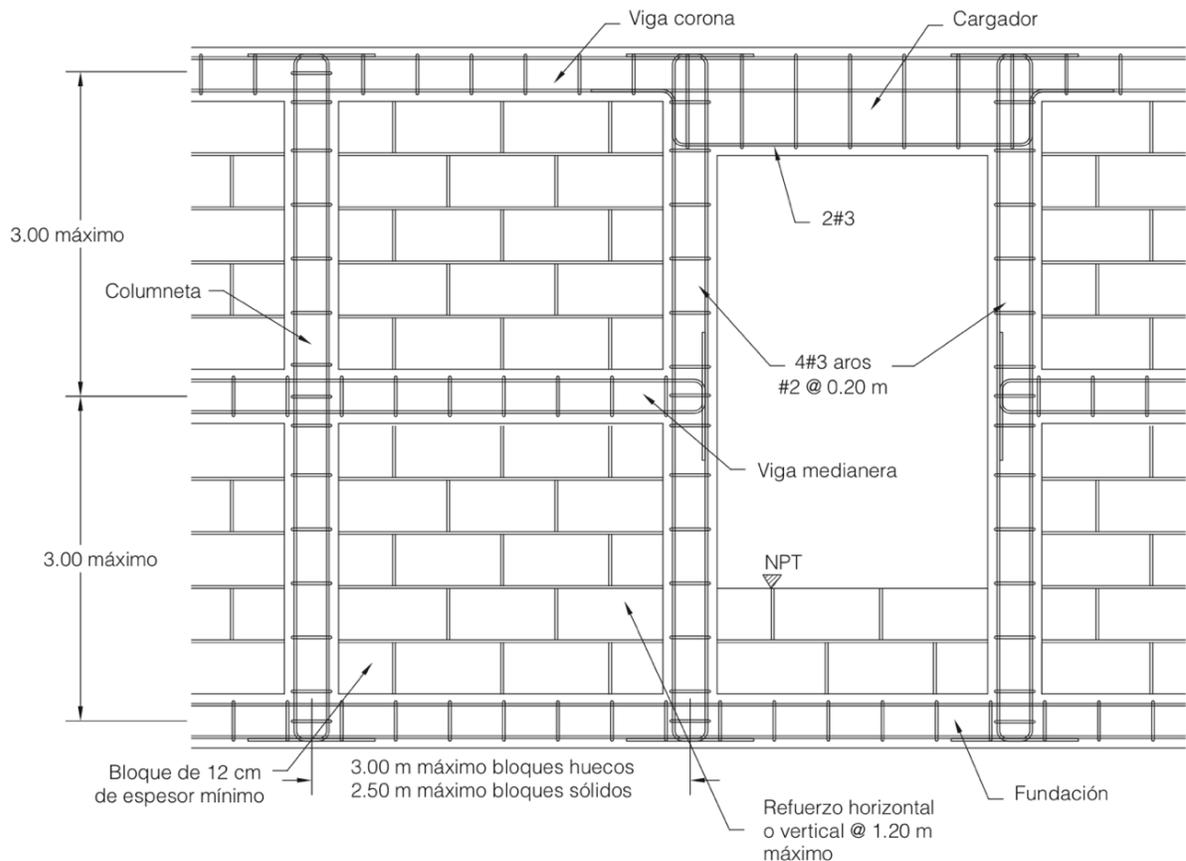


Figura 3. Ilustración de un muro de mampostería confinada y requisitos mínimos  
Fuente: Código Sísmico de Costa Rica, 2014

En cuanto a las unidades de mampostería, el Código Sísmico de Costa Rica (2014) establece los siguientes tipos de unidades huecas:

- Clase A: Bloques con resistencia promedio a la compresión (28 días) mayor a  $133 \text{ kg/cm}^2$ , mínimo  $133 \text{ kg/cm}^2$  para muestras individuales. Se debe utilizar para todas las construcciones de más de  $1000 \text{ m}^2$  y 3 pisos de altura.
- Clase B: Bloques con resistencia promedio (28 días) mayor a  $90 \text{ kg/cm}^2$ , mínimo  $80 \text{ kg/cm}^2$  para muestras individuales.
- Clase C: Bloques con resistencia promedio (28 días) mayor a  $75 \text{ kg/cm}^2$ , mínimo  $70 \text{ kg/cm}^2$  para muestras individuales. No se debe utilizar en elementos sismo resistentes, como viviendas o paredes estructurales.

Como mencionan Navas y Salazar (2014) en Costa Rica se producen diversos tipos de bloques de mampostería. Los más comunes son de 12 cm, 15 cm o 20 cm de espesor, como los utilizados en las construcciones medidas en este proyecto y también existen vigas bloque u otros tipos de bloques modulares (ver Figura 4).

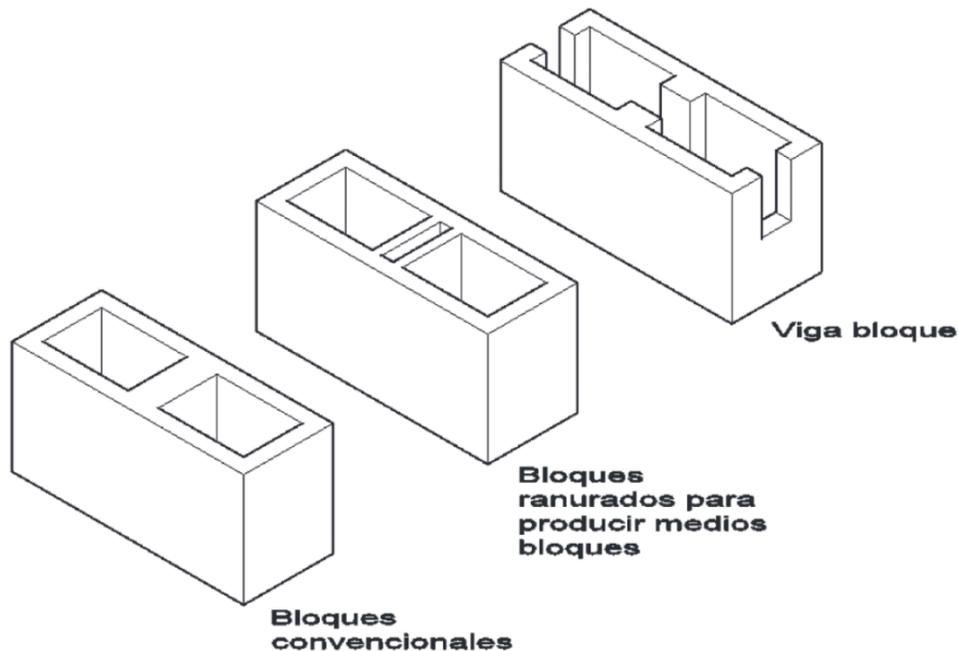


Figura 4. Ilustración de bloques comunes en Costa Rica  
Fuente: Navas, A., Salazar, J. (2014)

El mortero utilizado para unir los bloques entre si consiste en una mezcla de cemento y cal o cemento de mampostería, agregado y agua y se debe utilizar la clase correspondiente al tipo de bloque utilizado. Por otra parte, el concreto de relleno es una mezcla de cemento, agregado y agua y de igual manera, la clase de relleno a utilizar debe corresponder al tipo de bloque.

#### **2.4.1. Proceso constructivo y materiales utilizados**

A continuación, se presenta el proceso constructivo usual y los principales materiales utilizados en la construcción de una vivienda de mampostería confinada, según los autores Schacher y Hart (2015). Cabe destacar que según el diseño elegido para las fundaciones de la vivienda (losa de fundación o placas corridas), el orden del proceso cambiará en cierta medida.

- Inicialmente se debe realizar la limpieza del terreno, removiendo el material vegetal o escombros presentes.
- Luego se remueve la capa superficial de suelo, de manera que quede expuesto suelo firme y se realiza el trazado inicial. Para esto se utiliza principalmente madera semidura, cal, clavos y cuerda.
- De ser necesario se nivela el terreno y se realiza el trazado, para continuar con la excavación y compactación de las zanjas para los cimientos. El fondo de la zanja se puede cubrir con concreto pobre (cemento, agregados y agua) o lastre.
- Luego se construyen las cimentaciones con concreto armado (cemento, agregados, varillas de acero o malla electrosoldada y agua) o bloques de mampostería, según el diseño.
- En esta etapa se da el armado de las columnas de amarre (varillas de acero) y la colocación de las tuberías o cableado subterráneo, dependiendo del diseño.
- A continuación, se arma y se cuela las cimentaciones, ya sean losa de fundación o placas corridas. Para esto se utiliza varilla de acero o malla electrosoldada y alambre para el armado y madera, clavos y separadores para el encofrado.
- En el caso que se tenga una viga de cimentación, se colocan las primeras dos hileras de mampostería, que quedarán bajo el nivel del piso, utilizando mortero

de pega (cemento y cal o cemento de mampostería) y concreto de relleno (cemento, arena, piedra y agua).

- Si se hizo el punto anterior, se arma y cuele el contra piso y se continúa con la colocación de las unidades de mampostería por hileras, para erguir los muros: no es recomendable erguir paños de más de 1,2 metros al día y es importante curar adecuadamente. En esta etapa se van instalando las tuberías necesarias.
- Si se trata de una losa de fundación, solo se comienza a construir los muros sobre la losa hasta alcanzar la altura necesaria, instalando tuberías igualmente.
- Una vez alcanzada la altura del muro se cuelan las columnas de amarre con concreto (cemento, agregados y agua) y por último se arman y cuelan las vigas corona (formaleta de madera, clavos, separadores).
- En construcciones de más de un nivel sigue la preparación del entrepiso que puede ser una losa de concreto colado en sitio o un entrepiso liviano con viguetas de concreto prefabricadas, bloques de concreto y de estereofón. Seguidamente se construyen los muros del siguiente nivel y se repite el procedimiento hasta completar la cantidad de pisos.
- El montaje de la estructura de techo es el último paso de la obra gris: en esta etapa se utilizan perfiles de hierro galvanizado y láminas de zinc.
- En caso de utilizar paredes livianas como por ejemplo de gypsum o *drywall* el procedimiento y materiales son los siguientes: primero se realiza el trazado del área a cerrar con las paredes y se instalan los perfiles metálicos *track*, *stud* y los refuerzos de madera con clavos o tornillos, se colocan elementos eléctricos y mecánicos como toma corrientes, apagadores o tuberías según el diseño, luego se procede con la colocación de las láminas con tornillos, cinta y pasta, también se utilizan elementos de PVC para reforzar bordes.

Conocer las actividades a realizar en el proceso constructivo de estas viviendas y los materiales respectivos empleados, permite identificar las actividades específicas que generan cada tipo de residuo, como se desarrollará más adelante.

### Capítulo 3. Metodología

En la Figura 5 se muestra el diagrama de flujo para la metodología seguida en el desarrollo de este proyecto.

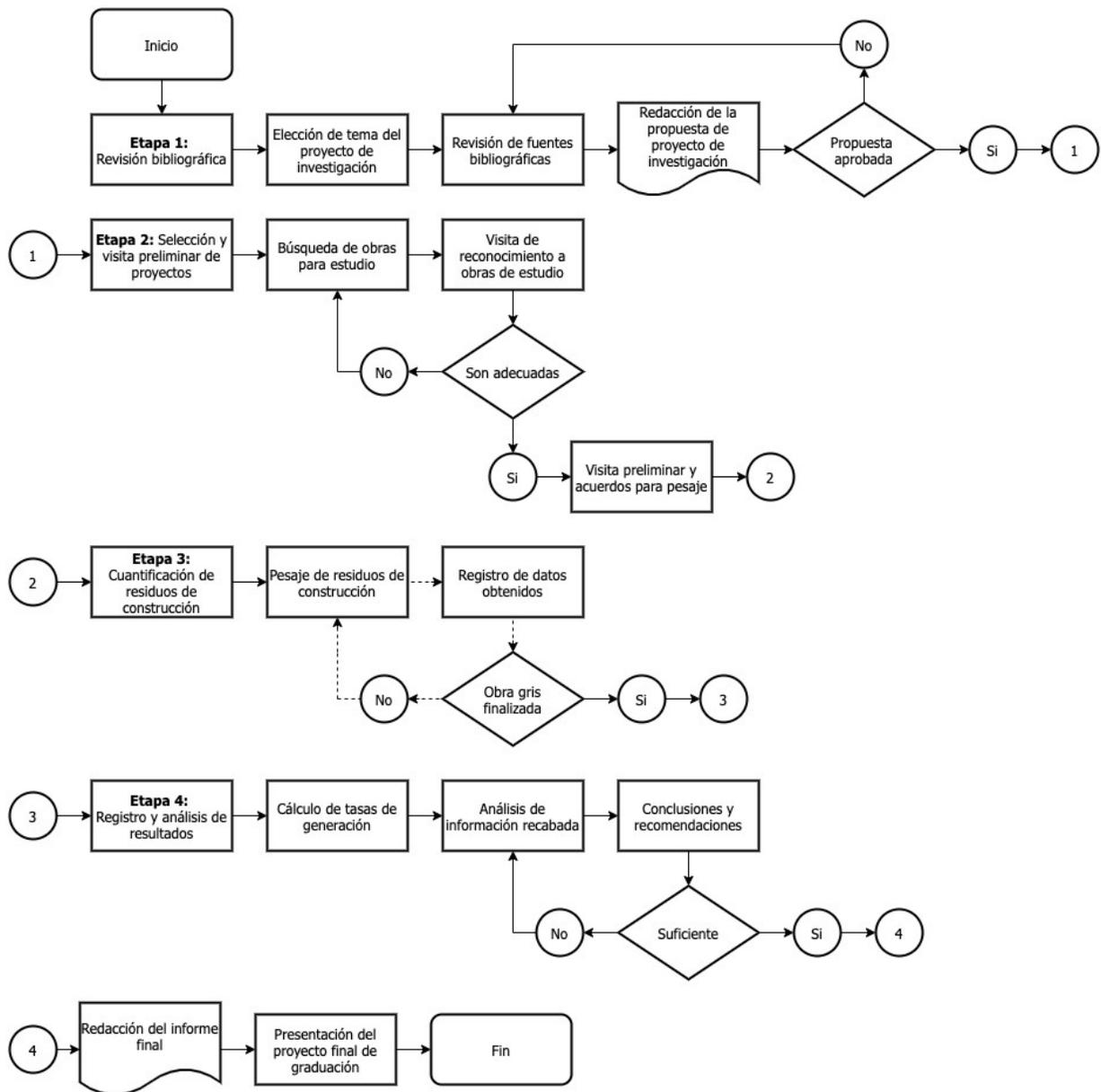


Figura 5. Diagrama de flujo de la metodología seguida para el proyecto

### **3.1. Etapa 1: Revisión bibliográfica**

Esta etapa comprendió la fase de investigación, que partió de la elección del tema del proyecto y del planteamiento del problema específico. Se llevó una revisión bibliográfica y recopilación de fuentes confiables, relacionadas con el tema de residuos de construcción: caracterización, cuantificación, recolección, almacenaje, transporte, procesamiento y disposición de estos.

Se utilizaron principalmente fuentes digitales de diferentes páginas de internet tanto nacionales como internacionales. Toda la documentación utilizada dentro de este documento se enlista en las referencias bibliográficas (Capítulo 8), al final de este escrito.

### **3.2. Etapa 2: Selección y visita preliminar de proyectos**

El primer paso de esta etapa consistió en la búsqueda de proyectos para llevar a cabo el trabajo de campo. Se contactó varios profesionales que trabajan en el sector de la construcción por medio de redes sociales y por vía telefónica para buscar tres proyectos que cumplieran con las características necesarias: viviendas individuales, unifamiliares, ubicadas en la GAM, con un área de construcción menor a los 200 metros cuadrados y construidas utilizando el método de mampostería confinada.

Una vez encontrado un proyecto, se realizó una visita preliminar para conocer a los responsables (ingeniero y/o arquitecto, maestro de obras y operarios) y se acordó la metodología de recolección y pesaje de los residuos. En setiembre del 2020 inició el pesaje en el proyecto A (sección 4.1) y hasta inicios del 2021 en los proyectos B y C (secciones 4.2 y 4.3).

En los tres proyectos se solicitó al encargado separar los residuos según sus características y se acordó un lugar de almacenamiento de los residuos con una posible clasificación previa; para los proyectos B y C se facilitaron cuatro estañones en cada uno (ver Figura 6), de manera que contaran con un espacio fijo y ordenado para el almacenamiento de los residuos, según se fueran generando. Adicionalmente, se acordó coordinar la frecuencia de las visitas para el pesaje de los residuos, según la disponibilidad de los proyectos.



Figura 6. Fotografía de los estañones para almacenamiento en Proyecto A

### **3.3. Etapa 3: Cuantificación de residuos de construcción**

El resultado de esta etapa constituye la fuente primaria de información del presente proyecto: a partir de los datos de la cuantificación de residuos se obtuvo las tasas de generación y los porcentajes de composición de residuos de construcción de los proyectos estudiados.

Antes de iniciar el pesaje en campo, se elaboró una hoja de cálculo para registro de datos en Microsoft Excel: en esta se ordenó los datos de generación de residuos, se elaboró los cuadros y las gráficas por categoría y tipo de material y se programó las fórmulas de los cálculos necesarios. Se categorizó los principales materiales para la construcción de las viviendas en ordinarios, de manejo especial y peligrosos y se estableció inicialmente los siguientes tipos, según características físicas:

- Cementicios y/o agregados: arena, piedra, cemento, residuos de concreto o de bloques de mampostería, restos de otros elementos de concreto, mortero de pega y de relleno...
- Cerámica: piezas de cerámica o porcelanato para el acabado de pisos.
- Eléctrico: cables eléctricos y similares.
- Láminas livianas: *gypsum*, Fibrolit, Durock, Densglass...
- Madera: restos de formaleta, codales, recortes...
- Metales: varillas de acero, malla electrosoldada, tuberías, láminas de zinc...

- Ordinarios: desechos de comida, envases, ropa...
- Papel y cartón: bolsas de cemento u otros materiales empacados.
- Peligrosos: envases de aditivos, pinturas o solventes...
- Plásticos: tubería de PVC, tubería de CPVS u otras tuberías plásticas.
- Vidrio: ventanería.

Conforme avanzó la cuantificación de los residuos se redujo los tipos de material ya que algunos de estos residuos no se generaron o no pudieron ser cuantificados por diversos motivos (ver limitaciones en sección 1.4.2).

Una vez elaborada la hoja de cálculo para registro de datos y establecido el sitio de clasificación y almacenaje de los residuos, inició la cuantificación de residuos: cada una o dos semanas se visitó los proyectos y se llevó el pesaje de los residuos generados hasta ese momento. Lo anterior se dio entre septiembre del 2020 hasta junio 2021. Los residuos se pesaron con una balanza digital y con la ayuda de estañones o baldes, como se puede observar a continuación en la Figura 7, luego se registró los datos del pesaje en la hoja de Excel.



Figura 7. Fotografías del pesaje de los residuos

### **3.4. Etapa 4: Registro y análisis de resultados**

Esta etapa consistió en la revisión final, el procesamiento y la interpretación de los datos recabados en los tres proyectos elegidos.

Con la cuantificación y registro de los datos finalizada se obtuvo los indicadores de generación de residuos para los tipos de material y las tres categorías (residuos ordinarios, de manejo especial y peligrosos), estos son:

- Kilogramos de residuos producidos por proyecto de construcción
- Kilogramos de residuos producidos por categoría de material
- Kilogramos de residuos producidos por categoría de material / kilogramos de residuos producidos totales [%]
- Kilogramos de residuos producidos por tipo de material (Cuadro 1)
- Kilogramos de residuos producidos por tipo de material / kilogramos de residuos producidos totales [%]
- Tasa de generación de residuos para cada proyecto de construcción [kg/m<sup>2</sup>]
- Tasa de generación de residuos por tipo de material [kg/m<sup>2</sup>]
- Índice de residuo por tipo de material [%]

A partir de lo anterior, se analizó los resultados para estimar un promedio de la cantidad de residuos de construcción que se producen y cuáles de estos residuos son los más comunes. Los indicadores estimados son:

- Kilogramos producidos por tipo de material / kilogramos de residuos producidos totales [%]
- Tasa de generación de residuos promedio [kg/m<sup>2</sup>]
- Tasa de generación de residuos promedio por tipo de material [kg/m<sup>2</sup>]

Además, se realizó un ejercicio simplificado de proyección de estos valores para estimar la cantidad de residuos de construcción generados anualmente en proyectos similares, dentro del Gran Área Metropolitana, según la cantidad de metros cuadrados construidos en un año, considerando que todos generan cantidades similares de

residuos. A partir de esta información, se concluyó sobre la generación de residuos de construcción en viviendas de mampostería confinada.

Para esta proyección se realizó una encuesta digital con ayuda de la plataforma Formularios de Google a 60 profesionales que laboran en el área de construcción, para estimar el porcentaje de viviendas que se construye utilizando el método constructivo de mampostería confinada en el país. En el Apéndice B se presenta la encuesta enviada por correo electrónico a los profesionales y en el Apéndice C, los resultados obtenidos.

## Capítulo 4. Proyectos para estudio

La toma de datos se llevó a cabo en tres proyectos de construcción de viviendas unifamiliares, ubicados en la provincia de San José, que representaban adecuadamente la metodología constructiva elegida para el presente proyecto de investigación: mampostería confinada, con bloques tradicionales (12 cm x 20 cm x 40 cm). Sus características principales se resumen en este capítulo.

### 4.1. Proyecto A

El proyecto A inició en julio del 2020 y consistió en la construcción de una vivienda unifamiliar de dos pisos (ilustrada en la Figura 8), con un área de 93 metros cuadrados en un lote privado. Esta vivienda tuvo un costo aproximado inicial de ₡ 24 000 000 y se ubica en la provincia de San José, cantón Desamparados, distrito San Antonio: 150 m este del Liceo San Antonio.

La construcción, como se ilustra en la Figura 8, comprendió una sala-comedor, una cocina y medio baño en el primer nivel y dos habitaciones y un baño en el segundo nivel. La estructura principal de la vivienda fue de concreto con bloques de mampostería, las paredes internas eran láminas livianas de yeso, la estructura de techo conformada por perfiles metálicos y láminas de hierro galvanizado, el cielo principalmente por paneles de yeso y tablilla PVC y el piso es de piezas de porcelanato.



Figura 8. Fotografías del proyecto A en construcción y finalizado

La cuantificación de residuos en este proyecto se dio entre el 3 de setiembre y el 12 de noviembre del 2020, donde se encontraban levantando muros del segundo nivel y colocando la estructura de techo en el primer nivel. Posterior a esta fecha, se realizan visitas a la obra, pero no se registró adquisición de materiales nuevos o desecho de residuos de construcción, se evidencia un problema importante en el drenaje e instalación del tanque séptico. En una visita posterior, se consulta al maestro de obras y él informa sobre los problemas entre los responsables y la decisión de detener el proyecto mientras se decide cómo continuar. Lo anterior se estima que ocurre con más de un 90 % de avance de la obra gris y puede afectar principalmente las cantidades de materiales metálicos, empleados para el techo de la vivienda. Meses más tarde, se contacta al dueño de la vivienda, quien brinda fotografías de esta finalizada y explica que ellos terminaron los trabajos.

#### **4.2. Proyecto B**

El proyecto B consistió en la construcción de una vivienda unifamiliar de un piso en condominio, con un área de 115 metros cuadrados, empleando el método de mampostería confinada. Su costo aproximado inicial fue de ₡ 37 500 000, con un contrato llave en mano y un plazo inicial de 5 meses. La vivienda se ubica en el Condominio Altana, ubicado en la provincia de San José, cantón Santa Ana, distrito Brasil y su construcción inició en diciembre del 2020.

La construcción de la vivienda comprendió una sala, comedor y cocina integradas, dos dormitorios y dos baños completos. Además, cuenta con un pequeño jardín frontal y uno trasero y un garaje con capacidad para dos carros.

Según los planos facilitados, para la construcción se empleó concreto con resistencia a la compresión media de 210 kg/cm<sup>2</sup> para los elementos colados como cimentaciones, columnas y vigas y refuerzo con varillas de acero grado 40 número 3 y aros número 2. Los muros de la estructura son de mampostería confinada; se utilizan bloques de mampostería de 12 cm x 20 cm x 40 cm reforzados con varillas de acero número 3 vertical y horizontalmente. Las paredes internas son láminas livianas de gypsum o durock, la estructura de techo de perfiles metálicos y láminas de hierro galvanizado,

el cielo raso de paneles de yeso y el acabado de piso es de porcelanato. Para las instalaciones mecánicas se utilizó tubería de PVC para aguas negras, potable y para la red pluvial y tubería CPVC para agua caliente. Para la instalación eléctrica se usó también tubería y accesorios de PVC y cajas de registro de láminas metálicas galvanizadas.

Las visitas para cuantificación de residuos en este proyecto se llevaron a cabo entre el 1 de febrero y el 23 de abril del 2021. Desde el inicio del levantamiento de los muros, hasta la finalización de la colocación de las láminas del techo. A la fecha de la primera visita no se había retirado ningún tipo de residuo del proyecto, por lo que no queda ningún residuo, generado antes de la esta visita, por fuera de la cuantificación.

En la Figura 9 y Figura 10 se ilustra la vivienda en actividades iniciales de la obra gris y en acabados, para brindar una idea del tipo de vivienda que es actualmente.



Figura 9. Fotografía de levantamiento de muros, proyecto B



Figura 10. Fotografía del proyecto B en etapa de acabados

### 4.3. Proyecto C

El proyecto C corresponde a la construcción de una vivienda unifamiliar con dos niveles y un área de 177 metros cuadrados, en un lote privado de 153 metros cuadrados en el mismo condominio que el proyecto B: Condominio Altana en la provincia de San José, cantón Santa Ana, distrito Brasil.

Su costo aproximado inicial fue de ₡ 55 000 000 y tuvo un plazo aproximado de 2 meses y medio hasta su entrega, el contrato fue de tipo administración con precio garantizado. La construcción comprendió en el primer nivel de la casa un garaje para dos carros, una cocina, comedor y sala integradas, una terraza, medio baño, un cuarto de pilas y un jardín y en el segundo nivel otra sala, tres habitaciones y dos baños completos.

Para la construcción de la vivienda se levantaron muros de mampostería y concreto; el concreto con resistencia a la compresión media de  $210 \text{ kg/cm}^2$  en las cimentaciones, columnas y vigas y para el relleno de bloques y contra pisos  $175 \text{ kg/cm}^2$  y los bloques de concreto debieron tener una resistencia a la compresión media superior a los  $133 \text{ kg/cm}^2$ . Las varillas (de número 2 a número 5) una resistencia mínima de  $2800 \text{ kg/cm}$ . Las paredes internas fueron láminas livianas de gypsum, la estructura de techo de perfiles metálicos y láminas de hierro galvanizado, el cielo raso de paneles de yeso y el piso es de piezas de porcelanato de primera calidad.



Figura 11. Fotografías del Proyecto C en construcción y finalizado

El pesaje de los residuos en esta obra se llevó a cabo desde el 19 de febrero hasta el 23 de abril. En la primera visita estaban levantando los muros del primer nivel y la última visita finalizando la colocación del techo y dando acabados al primer nivel. Antes del primer pesaje no se había retirado ningún residuo del proyecto, por lo que no se registra ninguna pérdida de información previo al inicio de la cuantificación. Sin embargo, sí se presenta pérdida de información en este proyecto, como se explicó en las limitaciones, ya que en una ocasión se realizó una limpieza extensiva sin aviso previo, imposibilitando el pesaje de ciertos materiales que a la última fecha de pesaje no habían sido identificados como residuos.

## **Capítulo 5. Resultados de la cuantificación de residuos de construcción**

Este capítulo presenta los principales resultados de este proyecto de investigación. Primero se exponen los tipos de residuos encontrados durante la cuantificación de los tres proyectos de construcción visitados, sus principales características y las respectivas actividades generadoras de cada categoría de residuo. Seguidamente se muestra los datos obtenidos de los pesos de cada tipo y categoría de residuo por proyecto. Por último, se presentan los indicadores obtenidos para cada proyecto, según el tipo de residuo y en general.

### **5.1. Residuos identificados y actividades generadoras**

En esta sección se caracterizan los residuos producidos durante la toma de datos en la construcción de las tres viviendas y se presentan las principales actividades generadoras. Cabe destacar que estos materiales no son todos los posibles materiales por utilizar en la construcción de viviendas de mampostería confinada, puesto que existe gran variedad de aplicaciones, métodos y acabados posibles, que emplean otro tipo de materiales.

A continuación, se describen los materiales específicos encontrados en los tres proyectos estudiados, ordenados según la cantidad encontrada, de mayor a menor:

**Madera:** Los residuos de madera encontrados en los tres proyectos fueron principalmente tablas de diferentes tamaños utilizadas como formaleta, recortes y cabos de madera utilizados para completamiento del encofrado para el colado de los elementos de concreto y demarcación de niveles o cercas que ya no se necesitaban. En el caso de este material, la cantidad de residuo generada dependió principalmente de la modulación y el diseño previo de los encofrados: durante el diseño es importante, para reducir el desperdicio, considerar la modulación de formaleta para poder emplearla repetidas veces en los diferentes elementos a colar. En los proyectos estudiados se observó cortes de madera para completar encofrados de elementos que no se reutilizaron posteriormente en ningún otro elemento de la vivienda y fueron desechados aun con buena calidad.

Por sus aplicaciones, muchos de los residuos de madera contenían restos de concreto, tornillos o clavos que no se removieron para su pesaje. Como se mencionó en la sección de limitaciones, especialmente en el proyecto A, la madera estaba mojada, por lo que su peso fue seguramente mayor. Como se puede observar en la Figura 12, las piezas más pequeñas tenían cerca de 10 centímetros y las más largas hasta 2 metros. El potencial de reutilización de la madera en los tres proyectos fue alto, dado que, si su calidad lo permitía, se podía emplear repetidas veces.



Figura 12. Fotografía de residuos de madera, Proyecto A

**Cementicios:** Los principales residuos de concreto cuantificados fueron restos de bloques de mampostería utilizados en el levantamiento de los muros de las viviendas: en ocasiones éstos se debieron cortar para finalizar un muro o en los umbrales de puertas y ventanas; los restos no utilizados se desecharon al igual que los bloques dañados en su adquisición, manejo o colocación. La cantidad de residuo de bloques de mampostería, al igual que el caso de la madera, dependió de la modulación dada durante el diseño: una cantidad de los bloques adquiridos en las viviendas se cortaron para completar muros y sus restos se desecharon. Los bloques de concreto se encontraron limpios de otros residuos en los tres proyectos.

Además, se identificaron restos de concreto aislados en cantidades menores (menos de 2 kg por proyecto), además de las cantidades que estaban adheridas a otros materiales, que se generaron principalmente por derrames durante la colada de vigas, columnas o escaleras, durante el relleno de las celdas o a la hora de preparar mezcla con la batidora.



Figura 13. Fotografía de residuos de bloque de mampostería

**Láminas livianas:** en los tres proyectos se utilizaron divisiones livianas en el interior de las viviendas, en habitaciones y baños. Los tipos de láminas empleadas en los tres proyectos son: gypsum, una lámina de yeso forrada en papel, durock, una lámina de cemento forrada en papel y láminas de plyrock, láminas de fibrocemento forrado en papel.

Los principales residuos encontrados de estas láminas fueron sobras de recortes debidos a la modulación de las paredes y láminas dañadas, húmedas o rotas. Los tamaños de los residuos encontrados fueron variables, algunas piezas tenían largos de hasta un metro y otras eran más pequeñas (10 cm – 40 cm), como se puede observar en la Figura 14, a continuación:



Figura 14. Fotografía de restos de láminas livianas, Proyecto C

**Cerámica:** Los residuos de cerámica son característicos de la etapa de acabados, donde se utilizan azulejos cerámicos para finalizar el piso de las viviendas. En el caso del proyecto C, el acabado de pisos del primer nivel inició antes de finalizar la obra gris, por lo que se decidió cuantificar esta fracción de los residuos y registrar la observación, sin embargo, no se considerará como parte de la tasa de generación de residuos total de la obra gris. La cantidad cuantificada corresponde a una fracción del total de residuos de cerámica generados en la vivienda, pues es de esperarse se siga generando una cantidad de residuos al continuar con la colocación de las piezas en la etapa de acabados. El alcance de esta investigación solo abarca la obra gris de las viviendas por lo que no se cuantificó esta fracción restante generada en acabados y tampoco se tuvo suficiente información para poder estimar el valor.

Los restos de azulejos encontrados fueron sobras de recortes utilizados para completar espacios o piezas que se quiebran o dañan. Estas piezas tenían tamaños variables, desde restos grandes de azulejos casi completos hasta fragmentos pequeños de unos pocos centímetros, como se ilustra en la siguiente fotografía. En general estos residuos se encontraban libres de otros materiales adheridos.



Figura 15. Fotografía de restos de cerámica, Proyecto C

**Metales:** Los principales residuos metálicos identificados en los proyectos fueron restos de perfiles metálicos para paredes livianas (*track, stud*, esquineros), cabos de varillas de acero de refuerzo, perfiles de hierro galvanizado utilizados para estructura de techo y algunos restos de malla electrosoldada. Todos estos residuos se originan por los recortes que se debieron hacer en cada caso, para ajustar las longitudes a las necesarias según aplicación. Los residuos metálicos cuantificados se encontraron limpios de otros materiales y los tamaños iban desde los pocos centímetros, hasta algunas piezas de más de 1 metro.



Figura 16. Fotografía de restos metálicos, Proyecto C

**Plástico:** el residuo plástico más frecuente en los tres proyectos fueron restos de tubería de PVC y CPVC, que se utilizaron para encausar agua o cables en las viviendas, esquineros de PVC para paredes livianas, cinta y también sobras de estereofón, utilizado en las viviendas de dos niveles, para el entrepiso liviano. Los residuos de tubería tenían longitudes entre los 5 cm y los 2 metros, los bloques de estereofón en ocasiones se desecharon prácticamente enteros.



Figura 17. Fotografía de residuos plásticos, Proyecto C

Además de los residuos enlistados, en los tres proyectos visitados desecharon una variedad de residuos como residuos ordinarios y los recogió el camión recolector de basura municipal semanalmente. Estos residuos se sacaban del área de la construcción diariamente por lo que no fue posible cuantificarlos o estimarlos en este trabajo. El principal material tratado de esta manera fueron los sacos de cemento y otros empaques de aditivos y productos similares, que se almacenaron en bolsas junto a los residuos de empaques y restos de comida, ropa y otros residuos ordinarios que generaban los trabajadores durante sus horas de descanso. En el caso del proyecto A, se mezclaron con los residuos ordinarios de una vivienda ya habitada, ubicada en el mismo lote y en el caso del proyecto B y C, se enviaban diariamente a una bodega de basura que tiene el condominio.

## **5.2. Cantidad de residuos pesadas en proyectos**

En esta sección se presenta las cantidades de residuos cuantificadas en los tres proyectos visitados, según tipo de material y categoría. Esta es la información recolectada mediante la toma de datos en campo y conforma la principal fuente directa de información utilizada para concluir sobre la generación de residuos en proyectos de construcción que utilizan la metodología de mampostería confinada.

Los datos se presentan reportados por tipo de material y por las categorías definidas en la Ley para la Gestión Integral de Residuos (2019), ya que las características del material serán la principal manera de decidir la gestión adecuada del residuo que se trate y que, en términos de normativa y regulación, es útil utilizar los mismos términos ya existentes para mantener uniformidad.

En este punto se debe recordar que por limitaciones en los proyectos (Sección 1.4.2), muchos residuos ordinarios como empaques, sacos de cemento y similares, ropa, restos de comida y otros residuos, no pudieron ser cuantificados para esta investigación. Por esta razón, la cantidad de este tipo de residuos generada en los proyectos fue mayor a la reportada a continuación. Lo mismo sucede con los residuos de manejo especial, como el caso de los materiales de instalación eléctrica.

### **5.2.1. Proyecto A**

Como se presenta en el siguiente cuadro, el proyecto A fue, entre los tres estudiados, el que generó mayor cantidad de residuos en la etapa cuantificada de obra gris. Cabe destacar que, en términos de área de construcción, no fue el más grande y se debe recordar que por problemas entre los encargados la obra se detuvo, imposibilitando que la cuantificación de residuos llegara hasta la fecha de finalización de la obra gris de la vivienda.

El residuo más cuantioso generado fue la madera, el segundo residuo más cuantioso son los residuos cementicios como restos de bloques de mampostería, luego siguieron los sobrantes de láminas livianas, utilizadas para divisiones de habitaciones en el interior de la vivienda. Los residuos menos cuantiosos generados en el proyecto A fueron los metálicos y plásticos, que ni sumados alcanzan las cantidades cuantificadas

de los demás residuos. Más adelante, en la Figura 18, se ilustra la distribución por porcentajes para este proyecto.

Como se mencionó en el Capítulo 3, muchos de los tipos de material establecidos no se encontraron o no se pudieron cuantificar en la etapa de obra gris de este proyecto:

- Durante las visitas al proyecto no se identificó materiales cerámicos para el acabado de piso, estos no se habían adquirido en la etapa de obra gris. Lo mismo sucede con residuos peligrosos como pinturas o solventes.
- No se cuantificó ningún residuo eléctrico como cables. El maestro de obras comentó que los trabajadores frecuentemente se llevan estos materiales por su valor de reventa, por lo que no fue posible estimar la cantidad sobrante de este material.
- Se adquirió gran cantidad de sacos de cemento, pero su cuantificación no fue posible ya que estos fueron desechados diariamente junto con los residuos comunes, almacenados junto con los ordinarios de otras viviendas ya habitadas en el lote y recogidos semanalmente por el camión municipal recolector de basura, junto con otros residuos ordinarios como envases, restos de comida o ropa dañada que generaron los trabajadores.
- No se identificó ningún residuo de vidrio porque estos venían cortados con las medidas necesarias y no se dieron sobrantes en la obra.
- No se cuantificó residuos ordinarios como restos de comida, empaques o ropa, pues quedaba fuera del alcance de la investigación.

Cuadro 3. Peso de los residuos según tipo, Proyecto A

<b>Tipo de residuo</b>	<b>Peso total [kg]</b>
Madera húmeda (*)	596,25
Madera seca	436,81
Cementicios	196,00
Láminas livianas	76,35
Metales	40,35
Plástico	25,20
<b>TOTAL</b>	<b>774,71</b>

(\*) no se incluye en el total

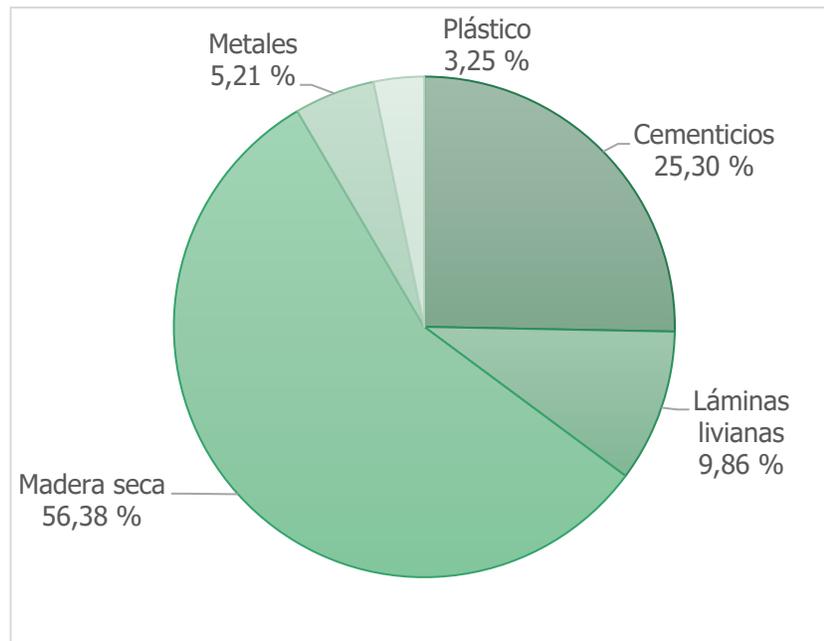


Figura 18. Gráfica de porcentajes por tipo de residuos, Proyecto A

Los residuos de madera, como se mencionó anteriormente en la sección 5.1, provinieron en su mayoría de tablas utilizadas para el encofrado de diferentes elementos como columnas y vigas. En este proyecto se generó más que el doble que en los demás proyectos. A partir de las visitas se concluyó que la cantidad de residuos de madera generados se debió a que este material prácticamente no se reutilizó: al desencofrar los elementos colados, se separaban las piezas sin cuidado y en este proceso se dañaban, eliminando la posibilidad de emplearlas como formaleta en otras coladas.

Los residuos de tipo cementicios fueron mayoritariamente restos de bloques de mampostería dañados durante su manipulación, al igual que con la madera, no se prestó mucho cuidado en la manipulación y almacenaje de las piezas, por lo que frecuentemente sufrían daños y debieron ser desechadas. Este comportamiento fue generalizado en el proyecto.

Por último, los residuos de láminas livianas se encontraron en cantidades menores y principalmente se trató de restos de cortes para la modulación de las paredes divisorias, al igual que los metálicos y plásticos. En este proyecto se generó menos de

la mitad que en los proyectos B y C, principalmente porque esta vivienda llevaba menos paredes livianas y casi todas las divisiones eran paredes de mampostería.

También se agrupó los residuos cuantificados en los proyectos según las categorías definidas en la Ley para la Gestión Integral de Residuos (2019): ordinarios, peligrosos o de manejo especial. La mayoría de los residuos se clasifican como de manejo especial: residuos de madera, cementicios, láminas livianas y metales. Los residuos plásticos se clasificaron como ordinarios, ya que por las características de los materiales y si su estado no lo imposibilita, podrían disponerse junto con los residuos municipales ordinarios sin mayor tratamiento. En los proyectos estudiados los residuos plásticos no se encontraron contaminados por otros materiales que comprometieran su manejo.

### **5.2.2. Proyecto B**

El proyecto B fue la vivienda con menor área de construcción y, como era de esperarse, generó la menor cantidad de residuos. Como se presenta a continuación en el Cuadro 4, los residuos más cuantiosos para esta construcción fueron los cementicios. De igual manera que en los demás proyectos este tipo de residuo se compone principalmente de restos de bloques de mampostería quebrados o dañados durante su manipulación y almacenamiento.

El siguiente residuo más cuantioso fueron los restos de madera utilizados para formaleta, seguido por las láminas livianas. Esta vivienda, al igual que la del proyecto C, se diseñó con la mayoría de las paredes divisorias de láminas livianas, lo que explica las cantidades encontradas. El residuo menos cuantioso fueron los residuos de tipo metálico (malla electrosoldada y varillas de acero). La Figura 19 ilustra los porcentajes correspondientes a cada tipo de residuo.

Los tipos de material no cuantificados en la etapa de obra gris de este proyecto se enlistan a continuación:

- No se cuantificó ningún residuo de instalación eléctrica, ya que el subcontratista encargado se los llevó al finalizar sus labores (incluyendo tuberías).

- Durante la etapa de obra gris no se adquirió cerámica para el acabado de piso, por lo que este tipo de residuo no se generó. Lo mismo con residuos peligrosos como pinturas u otros químicos para acabado de paredes y cielos.
- Al igual que en los demás proyectos los sacos de cemento se desecharon junto con los residuos ordinarios y su cuantificación no fue posible.
- No se identificaron residuos plásticos o de vidrio. Como se mencionó, el subcontratista de la instalación eléctrica se llevó sus sobras de material. Únicamente se observó algunas bolsas de plástico negro que fueron utilizadas para desechar los residuos ordinarios, por lo que no se incluyen en esta cuantificación.

Cuadro 4. Peso de los residuos según tipo, Proyecto B

Tipo de residuo	Peso total [kg]
Cementicios	354,30
Madera seca	148,75
Láminas Livianas	107,76
Metales	9,90
<b>TOTAL</b>	<b>620,71</b>

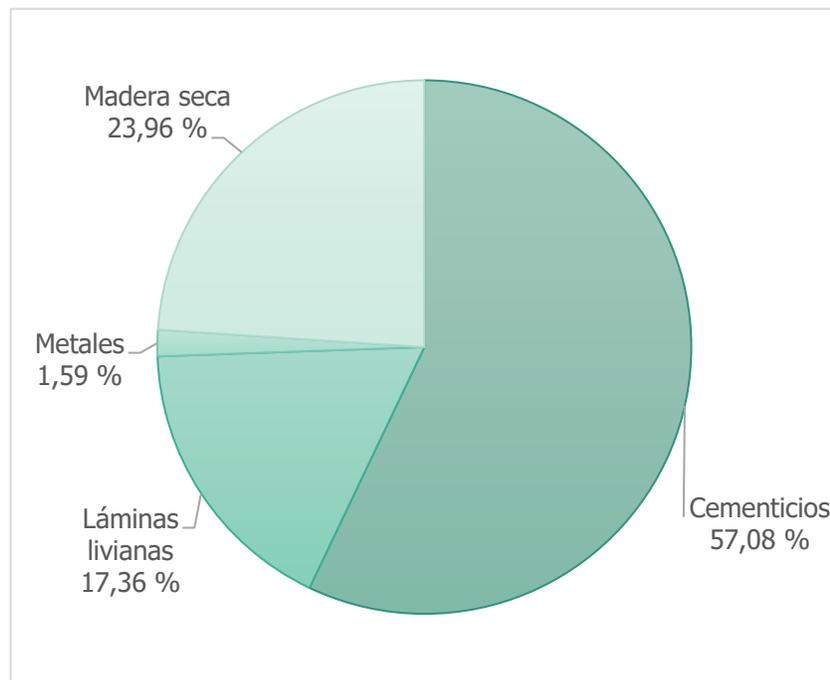


Figura 19. Gráfica de porcentajes por tipo de residuos, Proyecto B

Los residuos cementicios fueron, a diferencia de en los demás proyectos, los más cuantiosos, con un total de 354,30 kg, seguidos por 148,75 kg de madera. Lo anterior pudo deberse a dos razones: que la manipulación de las piezas de mampostería se dio con menos cuidado, causando que estas se quebraran o dañaran, y a que se generó mucho menos residuo de madera por su mejor modulación y menor cantidad de elementos a encofrar.

La cantidad de láminas livianas se relaciona a la cantidad de paredes divisorias de este material. Se cuantificó 107,76 kg de este material y solamente 9,90 kg de metales.

En cuanto a las categorías de la Ley para la Gestión Integral de Residuos (2019), todos los residuos generados en el proyecto B se categorizaron como residuos de manejo especial, para un total de 620,71 kg.

### **5.2.3. Proyecto C**

En el caso del proyecto C el residuo más frecuente, al igual que en el proyecto A, fue la madera utilizada para el encofrado de elementos estructurales; se generaron cerca de 300 kg, valor intermedio respecto a los demás proyectos, considerando que se trata del proyecto de mayor área de construcción. Lo anterior justifica la necesidad de usar metodologías con muestreos en varios proyectos de construcción similares, pues se tiene, en las viviendas del presente estudio, que las cantidades de residuos generados no son proporcionales al área construida.

Luego siguen los restos de cerámica para el acabado de piso (adquiridos antes de finalizar obra gris por completo): en este proyecto se adquiere este material para dar los acabados a la vivienda, pero por cómo se programó el avance de la obra, en el primer nivel inició la colocación de la cerámica antes de finalizar por completo la obra gris y por consiguiente los residuos se generaron en esta etapa de la construcción. La cantidad de residuos cerámicos cuantificada muestra que antes de finalizar la etapa de obra gris, se generan residuos no típicos, característicos de otras etapas.

Los residuos de láminas livianas para divisiones internas comprendieron otro material importante en este proyecto, a diferencia de los proyectos A y B, donde se generaron cantidades menores.

Luego, los residuos cementicios (bloques de mampostería mayormente) se encontraron en cantidades inferiores a los demás proyectos, los metales (perfiles para la colocación de divisiones livianas y estructura de techo) con un valor intermedio y por último los plásticos (tuberías y estereofón). Algunos de los residuos que no se cuantificaron fueron:

- Componentes eléctricos que el subcontratista recoge al finalizar sus labores y dispone fuera del proyecto.
- Los residuos de cartón, papel u ordinarios como sacos de cementos, empaques diversos, restos de alimentos o ropa dañada se eliminaron con el camión recolector municipal y no se cuantificaron.
- No se identificó ningún residuo peligroso en la etapa de obra gris, pues no habían adquirido aún ningún tipo de solvente, pintura o similares.
- La ventanería se adquirió cortada a la medida y no se generó residuos de este tipo.

Cuadro 5. Peso de los residuos según tipo, Proyecto C

<b>Tipo de residuo</b>	<b>Peso total [kg]</b>
Madera seca	300,40
Cerámica (*)	200,80
Láminas Livianas	175,30
Cementicios	110,25
Metales	90,19
Plástico	42,59
<b>TOTAL</b>	<b>718,73</b>

(\*) no se incluye en el total

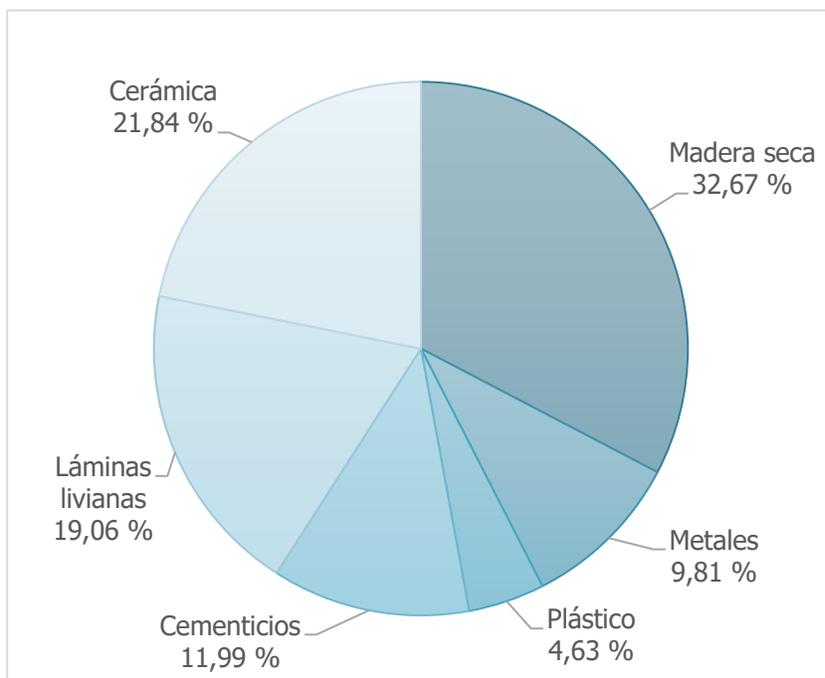


Figura 20. Gráfica de porcentajes por tipo de residuos, Proyecto C

En cuanto a la división por categorías a partir de las establecidas en la Ley para la Gestión Integral de Residuos (2019), se obtuvo resultados similares a los demás proyectos. Una mayoría importante de residuos se categorizan como de manejo especial (95,37 %) y una porción pequeña como residuos de tipo ordinario, conformados por los residuos plásticos (4,63 %). Al igual que en los demás proyectos, en la obra gris no se generó ningún residuo peligroso.

## **Capítulo 6. Análisis de cantidades recabadas en campo**

Este capítulo presenta la interpretación de los datos recabados en campo. Como se mencionó anteriormente, a partir de las cantidades de residuos pesadas en la etapa de obra gris de los tres proyectos de construcción, se pudieron estimar diferentes indicadores que permiten crear una base de datos de información valiosa para el planeamiento de la gestión de residuos de construcción según metodología constructiva en el país.

Uno de estos indicadores, presentados más adelante, son las tasas de generación de residuos. Estas brindan, a partir de la información del estudio en campo, una aproximación de cuántos residuos se genera por metro cuadrado de construcción. El otro indicador que se obtuvo con la información recabada es el índice de residuos, que permite saber qué porcentaje de los materiales adquiridos para la construcción de las viviendas se convierten en residuos. Los datos descritos adelante son específicos de la etapa de obra gris de los proyectos, por lo que sería de esperar que varíen en cierta medida respecto a los datos de generación de residuos de la totalidad de una construcción.

A partir de las tasas de generación, se realiza una comparación entre los datos obtenidos en este trabajo y los de otros proyectos de investigación similares, que llevaron a cabo pesaje de residuos de construcción en viviendas construidas con métodos constructivos diferentes al de mampostería confinada. A partir de esta comparación, se puede establecer qué método genera mayor o menor cantidad de residuos respecto a las demás, información necesaria también para el planeamiento futuro de una gestión integral de residuos de construcción.

### 6.1. Cuantificación de residuos

Esta sección resume los pesos de los residuos de construcción generados durante la obra gris de las tres viviendas estudiadas en el presente proyecto. Como se muestra en el Cuadro 6, los datos se ordenan según el tipo de residuo cuantificado y el proyecto del que provinieron las cantidades.

Además de los pesos recabados en campo, se presenta una interpretación de los datos: posibles razones por las cuales las cantidades son las registradas, variables que pudieron influir en la generación de los residuos y otras características de los materiales que se relacionan con las cantidades recabadas. Lo anterior se concluye a partir de observaciones hechas en las construcciones e información brindada por los encargados de cada proyecto (ingenieros, arquitectos, operarios, etc.).

Cuadro 6. Peso total de residuos en los proyectos

Tipo de residuo	Peso total [kg]		
	Proyecto A	Proyecto B	Proyecto C
Madera seca	436,81	148,75	300,40
Cementicios	196,00	354,30	110,25
Láminas livianas	76,35	107,76	175,30
Metales	40,35	9,90	90,19
Plástico	25,20	0,00	42,59
<b>TOTAL</b>	<b>774,71</b>	<b>620,71</b>	<b>718,73</b>

Como se muestra, en dos de los tres proyectos los residuos más cuantiosos fueron los restos de madera. La calidad de este material le brinda un potencial de reutilización muy alto e incluso hay ocasiones en que los encargados de una construcción guardan las piezas y vuelven a darle uso para encofrado en futuros proyectos, hasta que estas se dañan y son desechadas. No obstante, en los proyectos estudiados este material se empleó exclusivamente como equipo para actividades como el encofrado de elementos de concreto, fabricación de cierres o instalaciones temporales, como puntales, codales, demarcación de niveles y otras actividades de cada proyecto, por lo que se adquirió exclusivamente como un material desechable, a diferencia de otros como los bloques de mampostería o las láminas livianas, que forman elementos fijos de la vivienda y permanecen en la misma.

Dentro de los proyectos se pretendió reutilizar la formaleta, según se conversó con los encargados, pero se observó que a la mayor parte se le daba un solo uso. Por lo anterior, es de esperar que la cantidad de residuos de madera generados sea alta. Por ejemplo, y como se ilustra en la Figura 21, en el caso del encofrado de elementos de concreto colado en sitio, se fabricaron las piezas de formaleta usando tablonetes de diferentes dimensiones para cubrir las áreas a colar; en elementos como buques de ventanas o puertas se imposibilitó reutilizar las formaletas empleadas ya que no tenían dimensiones útiles para el encofrado de otros elementos. Según comentó el encargado del proyecto C, la versatilidad de la madera permite reducir el desperdicio del resto de materiales, como por ejemplo de las piezas de mampostería que se pueden modular para reducir el desperdicio.

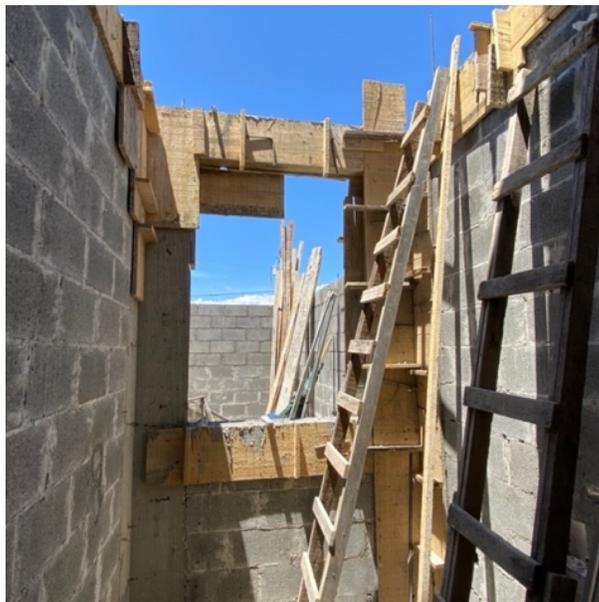


Figura 21. Fotografía de encofrado de buque de ventana, Proyecto C

Los otros residuos cuantiosos, utilizados exclusivamente en la etapa de obra gris, son los denominados en este proyecto como cementicios. Como se mencionó anteriormente, este tipo de materiales consistió casi en su totalidad de bloques de mampostería quebrados o dañados o piezas pequeñas que sobraron de bloques recortados. A pesar de que este material se adquiere como parte de los elementos permanentes de las viviendas, estas cantidades son de esperar por su gran densidad y peso: un bloque de mampostería pesa cerca de 11 kg, así que, sin importar la

cantidad de residuos generada, tendrán un peso y volumen considerables. Estas características son de mucha importancia para el planeamiento de una adecuada gestión de residuos, ya que es fundamental considerar estas dimensiones durante la recolección, almacenaje, transporte, procesamiento y disposición de éstos.

Adicionalmente, según conversado con un ingeniero encargado, hay cierta cantidad de bloques que se adquiere para cortarlos y utilizar una porción de estos, por la modulación durante el diseño y el ajuste de dimensiones. Al realizar el corte de estos bloques es frecuente que se quiebren, dañen o que la porción restante no sea de utilidad y deba ser desechada. Además, se evidenció en los proyectos, que las condiciones de almacenaje y manipulación de las piezas no fue siempre adecuada, por ejemplo, no se almacenaron separados del piso, permitiendo que se humedecieran. Como se ilustra en la siguiente Figura 22, en el caso de este buque de ventana se emplearon únicamente medios bloques, ya que el diseño lo indicaba así (el diseño no es estructuralmente apropiado, se debería colar toda la sección con concreto para asegurar su funcionalidad). Durante la toma de datos se encontraron varias piezas desechadas que coincidieron con esta dimensión.



Figura 22. Fotografía de buque de ventana, proyecto A

A diferencia de la madera, los bloques de mampostería se adquieren como un material para los elementos estructurales de la edificación de la vivienda. Desde que se

preparan los planos se tiene un estimado de la cantidad de bloques requeridos para completar la construcción y a partir de esto, en la preparación de los presupuestos y en las listas de proveeduría, se suele incluir un porcentaje de desperdicio cercano al 5 % de la totalidad de los bloques necesarios, para tener una cantidad de bloques de reemplazo en caso de mala calidad, daños en el transporte, almacenamiento o manejo de las piezas o en errores de cálculo inicial.

La cantidad de residuo de bloques irá relacionado entonces con las sobras de material por la falta de modulación o ajustes necesarios, a todos los bloques que sufran daños antes, durante o después de la construcción y al porcentaje de desperdicio agregado, que podría estar sobre calculado a la hora de elaborar listas de proveeduría. Más adelante se presenta el caso de los residuos de bloques de mampostería en el proyecto A y el índice de residuo obtenido, que permite explicar más a fondo la generación de este tipo de residuo.

Un factor que explica parte de la cantidad de residuos de láminas livianas generados es que, al igual que los bloques de mampostería, las láminas livianas, como por ejemplo el gypsum, durock, plyrock y otras similares, se adquieren como materiales que conformarán elementos fijos de la vivienda (en este caso paredes livianas). En la presupuestación de estos materiales se suma un porcentaje de desperdicio para contar con suficiente material de reemplazo, en caso de que se necesite por daños o errores de cálculo. Una característica particular de este material, que lleva a la generación de residuos, es que la mayoría de las veces las láminas se deben configurar a la medida necesaria, como por ejemplo en buques de puertas o ventanas; para esto se realizan cortes que dejan piezas restantes pequeñas, que no sirven para ser empleados en otros elementos y deben desecharse. Otra característica influyente en la generación de residuos de láminas livianas es que se componen de materiales delicados y poco resistentes a golpes o a la humedad. Su manipulación y almacenaje debe llevarse a cabo de manera adecuada, para evitar que las piezas sufran daños y deban ser desechadas. En la Figura 23 se puede observar las fracciones pequeñas de láminas livianas, que se desecharon por su tamaño reducido.



Figura 23. Fotografía de fragmentos de láminas livianas desechados

Como se ilustra en el Cuadro 6, las cantidades generadas de residuos metálicos y plásticos son mucho menores que de los demás. Según lo observado en los proyectos y lo comentado con los encargados, las cantidades pueden ser tanto menores por un tema de modulación a la hora de diseñar los elementos: es más sencillo modular las varillas de acero o la tubería que otros materiales como los bloques de concreto, como se explicó anteriormente con la madera. Las cantidades se deben también a que son materiales más resistentes a golpes o a la humedad, por lo que no suelen dañarse. Adicionalmente, las cantidades totales adquiridas de estos materiales son menores que en el caso de los materiales mencionados en los párrafos anteriores, por lo que es de esperar que se generen cantidades menores. Un caso llamativo se presentó en el proyecto B, que explica la baja cantidad de residuos metálicos cuantificados (solamente 9,9 kg): tras varias semanas de toma de datos se nota la baja cantidad de residuos de varillas de acero, se consulta con el maestro de obras y éste explica que todos los cabos de varilla que sobran se meten en las celdas de los bloques, en lugar de ser desechadas. Este procedimiento es una de las denominadas “prácticas de reducción de residuos” mencionadas en las limitaciones y se presume que debe haberse dado en alguna medida también en los demás proyectos.

El caso de la cerámica fue particular del proyecto C: solamente en este proyecto se generaron residuos cerámicos durante la obra gris por cómo se programó el

cronograma y por las características de la vivienda. Antes de finalizar la obra gris en el segundo nivel, se inició con los acabados de piso en el primer nivel, a diferencia de los demás proyectos que no adquirieron cerámica para el piso hasta finalizar la obra gris de toda la vivienda.

Las cantidades cuantificadas de residuos cerámicos se deben a dos razones principales: la modulación de las piezas y al daño de piezas por manipulación inadecuada. Como se ilustra a continuación, en la Figura 24, algunos de los residuos encontrados eran de tamaños grandes; estas fracciones eran cortes de piezas que se debieron ajustar para colocar, por ejemplo, las hileras cercanas a paredes y luego no servían para colocar en otras secciones. Otra porción de los residuos eran pedazos pequeños quebrados durante el manejo de las piezas que son delicadas y se rajan y rompen con cualquier golpe.



Figura 24. Fotografía de residuos cerámicos generados en Proyecto C

## 6.2. Tasas de generación de residuos de construcción

A partir de las cantidades del pesaje de los residuos generados en la obra gris de los tres proyectos y las respectivas áreas de construcción de cada vivienda, se obtuvo la tasa de generación de residuos total por proyecto y por tipo de material.

Repasando lo explicado en la sección 2.3, la tasa de generación de residuos es un indicador de la cantidad de los residuos generados por metro cuadrado de construcción, en este caso tiene unidades de peso por área. Con los datos calculados de cada proyecto de construcción se obtuvo un promedio para cada tipo de material, para cada categoría y para el total de los residuos. A partir de esta tasa de generación se calculó las proyecciones anuales de residuos generados en construcción de viviendas de mampostería confinada en la Gran Área Metropolitana, cantidades básicas para el diseño y planeamiento de un sistema de gestión de residuos integral, presentadas más adelante (Sección 6.5).

El área de construcción del proyecto A es de 103 m<sup>2</sup>, del proyecto B 115 m<sup>2</sup> y para el proyecto C 177 m<sup>2</sup>. Se obtuvo que, para la construcción de las viviendas con el sistema de mampostería confinada estudiadas, se generaron 5,66 kg de residuos por cada metro cuadrado construido. Además, por cada metro cuadrado de construcción se generaron 2,41 kg de residuos de madera, siendo el residuo con mayor tasa de generación, como se ilustra a continuación:

Cuadro 7. Tasa de generación de residuos por proyecto, según tipo de material

Tipo de residuo	Tasa de generación de residuos [kg/m <sup>2</sup> ]			
	Proyecto A	Proyecto B	Proyecto C	Promedio
Madera seca	4,24	1,29	1,70	2,41
Cementicios	1,90	3,08	0,62	1,87
Láminas livianas	0,74	0,94	0,99	0,89
Metales	0,39	0,09	0,51	0,33
Plástico	0,24	0,00	0,24	0,16
<b>TOTAL</b>	<b>7,51</b>	<b>5,40</b>	<b>4,06</b>	<b>5,66</b>

De la información anterior se puede inferir también que, dependiendo del proyecto y sin importar su área, la tasa de generación por tipo de material varió entre las viviendas. Es decir, no por estar construidas con el mismo método constructivo, las

tasas de residuo se comportan de la misma manera. La cantidad de residuos de construcción generados depende de muchas variables más involucradas en la edificación de las viviendas, como se explicaron en la sección anterior. Esta conclusión se suma a la importancia de realizar un muestreo para estimar las cantidades de residuos generados a nivel nacional, pues la variación entre viviendas se debe tomar en cuenta.

Además, se obtuvieron los valores de tasa de generación según las categorías de residuos de la Ley para la Gestión Integral de Residuos, y según se asignó cada tipo de residuo identificado en los proyectos estudiados. Del total de 6,55 kg/m<sup>2</sup> generados, 5,50 kg/m<sup>2</sup> serán residuos de manejo especial, es decir, más del 97 % de los residuos generados en construcciones de viviendas de mampostería confinada podrían implicar riesgos significativos a la salud o degradación de ecosistemas por su composición, necesidad de transporte, almacenaje, uso o valor de recuperación. Este último indicador denota que para el establecimiento de políticas sobre gestión integral de residuos de construcción y la preparación de un sistema adecuado para el país, se debería priorizar la gestión de los residuos categorizados como de manejo especial en este proyecto. Nuevamente, estos son: madera, cementicios, láminas livianas y residuos metálicos. Es importante aclarar que hoy en día estos residuos no están explícitamente contemplados dentro de las regulaciones de residuos de manejo especial, pero por sus características y composición, se podrían considerar parte de esta categoría.

Una última observación importante sobre las cantidades obtenidas es que para el presente proyecto no se cuantificó ningún residuo peligroso, lo anterior debido a que para la etapa de obra gris no se adquiere materiales de este tipo. Sin embargo, en la etapa de acabados si es usual la compra de materiales potencialmente peligrosos.

### **6.3. Índice de residuos de construcción: Proyecto A**

Otro indicador útil para comprender las cantidades de residuos generadas en proyectos de construcción es el índice de residuos. Como se explicó en la sección 2.3, este indicador muestra qué proporción de los materiales adquiridos para la construcción de la vivienda se convierten en residuos que necesitan gestión. Este dato es valioso, especialmente para los encargados de los proyectos de construcción, pues brinda una noción de cuántos de los materiales adquiridos terminan desechándose. A partir de esta información, se puede hacer cambios desde el diseño de la vivienda, en la adquisición de materiales o también se puede verificar el manejo de los materiales dentro del proyecto, para daños por mal transporte, manipulación, almacenaje, etc. La principal ventaja de estas prácticas podría ser la optimización de costos de adquisición de materiales y de gestión de residuos.

Para la etapa de obra gris del proyecto A se pudo estimar los índices de los residuos de madera, bloques de mampostería, metal y plásticos, utilizando la información de las listas semanales de pedido de materiales que alistaba el maestro de obras y de los pesajes realizados en campo. Para las láminas livianas no se obtuvo la información de las cantidades adquiridas en el proyecto, por lo que no se calculó el índice de residuo respectivo ni el índice global. En los demás proyectos, por decisión de las empresas, no se facilitaron las listas de proveeduría, por lo que no se pudo realizar el cálculo de los índices de residuo.

En el caso de la madera se debió realizar una corrección por humedad, ya que el peso de los materiales adquiridos se calculó en estado seco y la mayoría de los residuos de madera cuantificados en el proyecto se encontraron húmedos. El valor del porcentaje de humedad para esta corrección se extrae de los datos obtenidos por Castro (2019) en su proyecto de cuantificación de residuos de construcción para viviendas de gran tamaño. El autor reporta, a partir del ensayo de piezas de madera en laboratorio, un porcentaje de humedad promedio de 26,74 %.

Cuadro 8. Índice de residuos según material, Proyecto A

<b>Tipo de residuo</b>	<b>Residuos generados [kg]</b>	<b>Material adquirido [kg]</b>	<b>Índice de residuos</b>
Madera húmeda	596,25	1 423,94	30,68 %
Madera seca	436,81		
Bloques de mampostería	196,00	16 830,00	1,16 %
Metal	40,35	9 169,01	0,44 %
Plástico	25,20	552,66	3,66 %

Considerando las tasas de generación presentadas en la sección 6.2 y los índices de residuo del proyecto A, se puede deducir que el caso de la madera es el más importante en términos de la gestión que requieren estos residuos, por la cantidad que se genera. Como se mencionó anteriormente y reflejado con más de un 30 % de residuos generados respecto al material adquirido en la etapa de obra gris, la madera representa un residuo utilizado para la construcción de viviendas de mampostería confinada que se adquiere como material desechable, pues no forma parte de la estructura de la vivienda y su potencial de reutilización es relativamente bajo, comparado a otras alternativas de formaleta reutilizable. Se debe recordar que la cuantificación se realizó únicamente en la etapa de obra gris del proyecto, por lo que solo se pesaron los residuos desechados en esta etapa. Si se realizara un análisis de todas las etapas de construcción, el índice de residuo de este tipo de material sería mucho mayor, posiblemente cercano al 100 %, pues al finalizar la construcción toda la madera se debe desechar, si no se va a utilizar en otro proyecto a futuro.

En cuanto a los datos de los bloques de mampostería, residuos metálicos y plásticos, se tiene valores bajos, si se compara con los valores comunes utilizados para establecer porcentajes de desperdicio en la adquisición de materiales (5 % - 10 %).

#### **6.4. Comparación de generación por metodología constructiva**

Como se explicó en la sección 1.1.2, por parte de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, se han llevado a cabo varios proyectos recientes similares al presente, mediante los cuales se obtuvo también indicadores de generación de residuos para viviendas construidas con otros métodos constructivos. Repasando estos documentos:

- Delgado (2010) realizó un diagnóstico de desechos de construcción para tres viviendas en residencial construidas con mampostería integral, con áreas entre los 100 m<sup>2</sup> y los 150 m<sup>2</sup> ubicadas en la Gran Área Metropolitana. El autor genera datos para los residuos generados de bloques de mampostería, madera, papel, acero, plástico y PVC, materiales característicos de la etapa de obra gris.
- Leiva (2011) llevó a cabo la cuantificación de residuos de acero, concreto y madera para la etapa de obra gris de una construcción tradicional de 190 m<sup>2</sup>, para valorar su manejo dentro de la construcción de las viviendas.
- Castro (2019) calculó las tasas de generación y los índices de residuo como indicadores de eficiencia en la etapa de obra gris de la construcción de dos viviendas unifamiliares con áreas mayores a los 200 m<sup>2</sup>, ubicadas en la Gran Área Metropolitana.
- Marín (2020) estimó las tasas de generación y el índice de residuo como indicadores de eficiencia en la etapa de obra gris de tres proyectos de viviendas individuales en condominio con sistema constructivo modular tipo Armabloque.
- Bolaños (2020) realiza la misma metodología para proyectos residenciales con diseño modular (Armabloque e Integra) y calcula los índices de residuo y tasas de generación para todas las etapas de la construcción.

Los datos de estos trabajos se resumen a continuación:

Cuadro 9. Indicadores de generación de residuos, métodos constructivos varios

Indicador	Tipo de mampostería	Modular (Delgado, 2010)	Confinada (Leiva, 2011)	Confinada (Castro, 2019)	Modular (Marín, 2021)	Modular (Bolaños, 2021)	Confinada (Rímolo, 2021)
Tasa de generación [kg/m <sup>2</sup> ]	Total	6,57	11,4	*26,51	9,99	21,33	5,66
	Cementicios	-	10,01	5,01	7,83	14,11	1,87
	Madera seca	-	0,87	22,48	0,81	0,38	2,41
	Metales	-	0,53	2,73	*1,12	1,00	0,33
	Láminas livianas	-	-	-	-	0,39	0,89
	Cerámica	-	-	-	-	1,26	0,38
	Plástico	-	-	0,06	0,21	1,22	0,16
Índice de residuo	Total	-	-	15,65 %	1,54 %	1,6 %	-
	Bloques	2,83 %	-	-	2,95 %	1,73 %	1,16 %
	Madera seca	6,23 %	-	100 %	11,79 %	20,92 %	30,68 %
	Metales	2,10 %	-	5,76 %	5,72 %	2,33 %	0,44 %
	Plástico	8,83 %	-	2,64 %	7,60 %	2,78 %	3,66 %

(\*) datos ajustados para comparación con el presente proyecto

Como se ilustra en el cuadro, los valores de tasa de generación de residuos obtenidos en los seis proyectos se reportan en kg/m<sup>2</sup>, esto permite comparar la cantidad de residuos que su construcción genera. Si se debe aclarar que no todos los datos son estrictamente comparables, pues algunos consideran solo la etapa de obra gris y los demás la totalidad de la construcción, por lo que sería esperable que en los últimos se haya obtenido mayor cantidad y variedad de residuos. Sin embargo, y según indica Delgado (2010), la mayoría de los residuos de construcción se generan en la etapa de

obra gris, por lo que se procede con las comparaciones. Otra restricción es que cada autor agrupó sus residuos de diferentes maneras, por lo que en este documento se ajustan para que sean comparables con los datos obtenidos en este trabajo.

Delgado (2010) obtiene en su proyecto solamente los índices de residuo para los materiales característicos de la obra gris. Comparando sus datos con los calculados en el presente proyecto se tiene que, en el caso de las construcciones de mampostería integral, se desecha un poco más de bloques (1,67 % más), pero mucha menos madera (24,45 % menos), respecto al material adquirido. El autor menciona que este material se emplea para formaleta en elementos que no están del todo modulados, que, por el tipo de método constructivo, serían muchos menos que los colados en las viviendas de mampostería confinada. Además, menciona que además de la poca madera empleada para encofrado, se utilizan también paneles de bambú.

El índice de desperdicio obtenido por Delgado para los materiales plásticos es casi tres veces mayor que en el encontrado en esta investigación, lo que se podría deber a la variación en la habilidad de la mano de obra, a la modulación de dimensiones, previa a su instalación (tubería PVC y similares) y la limitante de cuantificación de residuos eléctricos presentada para este tipo de materiales en el presente trabajo.

Leiva (2011) generó datos de tasas de generación para una vivienda construida con el método "tradicional". Este último es un término empleado para construcciones con mampostería confinada por elementos de concreto, como las estudiadas en el presente trabajo, por lo que la comparación de los datos permite realizar un análisis temporal de generación de residuos para este método constructivo. Comparando con sus datos, la tasa de generación de residuos total es casi dos veces mayor que la obtenida este año en viviendas de mampostería confinada. A diferencia de los datos del presente proyecto, el residuo más cuantioso fueron los cementicios, con 10 veces más para el caso de Leiva. El autor explica en su trabajo que esta cantidad reportada se debe principalmente al mal manejo de los bloques de mampostería en los proyectos. Al contrario, para los residuos de madera, se cuantificó más de tres veces más residuos en el presente proyecto.

El tipo de construcción que genera mayor cantidad de residuos, según los datos reportados, son las viviendas de mampostería tradicional de gran tamaño (Castro,

2019), con una tasa más de cuatro veces mayor a la obtenida en este trabajo para la obra gris. Resalta el valor obtenido para la madera, en las viviendas de gran tamaño se produce casi 10 veces más que en el caso de las viviendas más pequeñas. Castro aclara que, al igual que en este proyecto, la mayoría de la madera se empleó para encofrado de elementos a colar, que en las viviendas de gran tamaño fueron más cuantiosos pues se encofró también una cantidad considerable de elementos arquitectónicos. Los residuos de materiales cementicios y metálicos generados en los proyectos de gran tamaño también son mucho mayores.

Por último, comparando con los datos generados por Bolaños y Marín para viviendas construidas con mampostería modular, se puede ver que, en ambos casos, la tasa de generación de residuos totales es mayor que la obtenida para las viviendas de mampostería confinada. En el trabajo de Marín se realizó la toma de datos únicamente en la etapa de obra gris, por lo que sus datos son más comparables y, aun así, las viviendas moduladas generaron más residuos de en esta etapa. Como se ilustra en el cuadro, el residuo más cuantioso en estos proyectos fueron los denominados cementicios que dan mucho peso al total de residuos. Como es de esperarse, la madera generada en estos proyectos es menor que para la mampostería confinada, puesto que los elementos a colar son menos.

En general se tiene que, para todos los métodos constructivos analizados en estos estudios, los residuos con mayores tasas de generación son los cementicios y la madera, por lo que para la gestión de residuos de construcción estos deberían llevar la mayor atención.

## **6.5. Proyecciones anuales para construcciones similares**

A partir de las tasas de generación recabadas en los tres proyectos de construcción analizados en este trabajo, se realizó una proyección anual para estimar la cantidad de residuos de construcción totales y por tipo de material que se generarían dentro del Gran Área Metropolitana en construcciones de viviendas que siguen la metodología constructiva de mampostería confinada, si estas siguieran un comportamiento de generación de residuos similar a las viviendas estudiadas en la presente investigación.

Para lograr lo anterior se debió conocer el promedio de metros cuadrados construidos anualmente en viviendas con mampostería confinada dentro de la GAM, sin embargo, la información existente no es lo suficientemente específica: el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) recaba estadísticas de construcción derivadas de registros administrativos de permisos otorgados a construcciones privadas nuevas por municipalidades. Brindan la información sobre el número, área, valor, destino y uso de la obra, por provincia y cantón; pero no especifican el método constructivo empleado. Por otra parte, el Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos (CFIA) brinda datos sobre los metros cuadrados de construcción anuales por mes, tipo de obra, provincia y cantón, pero tampoco contienen una categorización por método constructivo.

Dado lo anterior, se parte de la información oficial de metros cuadrados de construcción en los cantones de la GAM, publicada por el INEC (años 2011 hasta 2020, ver Apéndice A) y se estima la proporción de viviendas construidas con mampostería confinada, con los datos obtenidos de una encuesta realizada a profesionales que trabajan en el área de la construcción, adjuntos en el Apéndice C. Se debe destacar que estas cantidades dejan por fuera viviendas que se construyen sin permisos o planos y que los datos del INEC no son específicos para un tipo o tamaño de vivienda.

Con la encuesta se consultó a 60 profesionales qué porcentaje del total de viviendas consideran que, según su experiencia, se construye utilizando mampostería y qué porcentaje del anterior corresponde al método de mampostería confinada. A partir de esta se obtuvo que los metros cuadrados anuales de construcción de viviendas que emplean cualquier tipo de mampostería son el 74 % del total de la construcción anual de viviendas y que de esa porción 75 % emplea el método de mampostería confinada

específicamente. Se obtiene entonces un área estimada de 647 447 metros cuadrados anuales de construcción de viviendas de mampostería que emplean el método de mampostería confinada, como se resume a continuación en el Cuadro 10:

Cuadro 10. Área aproximada de construcción anual de viviendas (GAM)

<b>Año</b>	<b>Área de construcción anual de viviendas en la GAM [m<sup>2</sup>]</b>
2011	1 065 618
2012	1 107 277
2013	1 060 999
2014	1 280 638
2015	1 414 080
2016	1 548 621
2017	1 147 668
2018	908 729
2019	1 086 490
2020	1 088 328
<b>Promedio</b>	1 170 845
<b>Mampostería (74 %)</b>	864 044
<b>Mampostería confinada (75 %)</b>	647 447

Ahora, con de la tasa de generación promedio obtenida a partir de la toma de datos en las tres viviendas de mampostería confinada, se obtiene una estimación gruesa de la cantidad de residuos de construcción que se podrían generar anualmente en la edificación de viviendas similares a las estudiadas en este proyecto. Esta tasa calculada incluye solamente los residuos identificados (madera, cementicios, láminas livianas, cerámica, metales y plásticos), por lo que sería esperable que el valor real de residuos de construcción generados anualmente sea mayor al de esta estimación. Aun así, se considera un aporte conveniente, pues esta cantidad puede fijar un mínimo del cual partir para la planificación de la gestión de residuos de construcción a nivel nacional.

Como se muestra a continuación, se obtiene un estimado de 4 240,8 toneladas de residuos de construcción generados anualmente por los proyectos de construcción de viviendas con mampostería confinada, según los registros del INEC y basado en la

toma de datos en las tres viviendas de mampostería confinada estudiadas en esta investigación.

Cuadro 11. Residuos anuales de construcción, viviendas de mampostería confinada

<b>Tasa generación promedio obtenida</b>	6,55 kg/m <sup>2</sup>
<b>Área anual de construcción en mampostería confinada</b>	647 447 m <sup>2</sup>
<b>Residuos de construcción generados anualmente</b>	4 240 778 kg
	4 240,8 ton

Ahora, empleando las tasas de generación para los residuos más cuantiosos obtenidas en esta investigación (2,93 kg/m<sup>2</sup> de madera y 1,87 kg/m<sup>2</sup> de cementicios), se estima que dentro de la GAM se deben generar aproximadamente 1 897 toneladas de madera y 1 210,7 toneladas de cementicios al año, solamente en la construcción de viviendas individuales con mampostería confinada.

## **Capítulo 7. Conclusiones y recomendaciones del proyecto**

### **7.1. Conclusiones sobre generación de residuos de construcción**

A partir de la presente investigación, se llega a las siguientes conclusiones respecto a la generación de residuos de construcción para esta tipología constructiva:

- Tras la toma de datos en campo se concluye que los residuos de construcción se gestionaron de manera inapropiada en los tres proyectos estudiados: no se llevó control de cantidades o índices de desperdicio, no se separaron los residuos para su disposición, no se priorizó la reutilización dentro o fuera de los proyectos y todos los residuos se gestionaron en conjunto: almacenamiento, recolección y transporte. Se podría presentar este comportamiento en otros proyectos de construcción de vivienda en el país, puesto que, al menos en las empresas estudiadas, no hubo procedimientos, interés o conocimiento para poner en práctica la correcta gestión de sus residuos.
- A partir del pesaje realizado en campo de los residuos generados en los tres proyectos de construcción de las viviendas de mampostería confinada, se logró clasificar un total de 6 tipos principales de residuos de construcción. Los residuos de tipo cementicios encontrados se compusieron principalmente por bloques de mampostería y cantidades pequeñas de restos de concreto y mortero de relleno y pega. Los residuos de madera fueron principalmente piezas de madera utilizadas para encofrado de elementos estructurales. Los residuos de tipo metálico incluyeron en su mayoría varillas de acero, perfiles de hierro y restos de láminas de zinc. Las láminas livianas como gypsum, durock, densglass y plyrock se agrupan aparte porque se pueden gestionar en conjunto; al igual que los cerámicos, como las piezas para acabado de piso encontradas en el proyecto C. Los residuos de tipo plástico son en su mayoría tubería de PVC utilizada para instalación mecánica y eléctrica.
- El análisis por pesada total, metodología empleada para la cuantificación de residuos en este proyecto, resultó útil y práctica para cuantificar los residuos en las construcciones elegidas. Sin embargo, se debe destacar que, debido a las condiciones de los proyectos (como el manejo interno de los residuos, el avance o paro de los trabajos, la disposición de las empresas y su personal, la

comunicación con los encargados, la disponibilidad de la información y la coordinación de cronogramas) no fue posible cuantificar la totalidad de los residuos generados, sino solo los encontrados en campo en las visitas. En una ocasión solicitaron el retiro de residuos sin pesar y también fue frecuente el relleno de celdas vacías de las paredes o cimentaciones con materiales varios. Por consiguiente, los datos obtenidos a partir de este tipo de análisis no son resultados exactos de la generación total de residuos de las construcciones.

- Relacionado a lo anterior, se determinó que una porción de los residuos generados en la etapa de obra gris de los proyectos no pudo ser cuantificada porque, por directivas de los encargados de cada construcción, se desecharon como residuos ordinarios y se recolectaron por el camión municipal residuos. Éstos incluyeron empaques de diversos productos de construcción como sacos de cemento o bolsas para embalaje de materiales, herramientas y otros; estos materiales fueron generados directamente por la edificación de las viviendas y para su correcta gestión deberían disponerse junto al resto de residuos de construcción. Se concluye que en los proyectos aprovechan las facilidades existentes para gestión de residuos ordinarios para manejar una porción de los residuos de construcción similares a los ordinarios, ya que reduce la cantidad de residuos a gestionar y el costo de su manejo, y que lo anterior afecta parte de la tasa de generación total de cada proyecto.
- Para la construcción de viviendas de mampostería confinada, y en general para cualquier tipo de vivienda, se adquiere una amplia variedad de materiales, herramientas y equipos adicionales a los mencionados anteriormente. Los datos reportados en este proyecto brindan una estimación basada en una muestra de los residuos más comunes y cuantiosos que se podrían generar en la etapa de obra gris de proyectos de construcción de viviendas de mampostería confinada específicamente. Los demás residuos que podrían generarse serían característicos de otras etapas como por ejemplo residuos orgánicos o vegetales generados en el movimiento de tierra o residuos de pintura o vidrio generados en la etapa de acabados.

- Otro factor que alteró las cantidades recabadas en campo y significaron la reducción de las tasas de generación fueron las llamadas prácticas de reducción de residuos, como el relleno de celdas de mampostería con varilla o restos de bloques y concreto. Se debe aclarar que estos hábitos no son adecuados, porque afectan la construcción desde un punto de vista estructural; sin embargo, se presenciaron en los tres proyectos estudiados por lo que la tasa de generación también se ve afectada.
- Los residuos se agrupan, a partir de las categorías establecidas en la legislación nacional (Ley para la Gestión Integral de Residuos, N° 8839), las características de los residuos encontrados y sus posibilidades de gestión, para términos del presente proyecto, en residuos de manejo especial, residuos ordinarios y residuos peligrosos. La mayoría de los residuos generados (los cementicios, la madera, los metálicos, las láminas livianas y los cerámicos) caen en la categoría de residuos de manejo especial, y una minoría (residuos plásticos) en la de ordinarios, para la etapa de obra gris ningún residuo encontrado se categoriza como peligroso. La categorización de las cantidades de residuos generados permite concluir que, como lo indica la ley N° 8839, la mayoría de los residuos de construcción requieren salir de la corriente de residuos ordinarios porque implican riesgos significativos a la salud o degradación de ecosistemas, debido a su composición, transporte, almacenaje, uso o valor de recuperación. Además, estos deberían gestionarse separadamente para reducir el espacio que toman en los rellenos sanitarios para ordinarios.
- A partir del pesaje de los residuos de construcción generados en los tres proyectos estudiados se obtiene una tasa de generación promedio de 5,66 kg/m<sup>2</sup>. Este dato es valioso para establecer un compendio de información sobre la generación de residuos en este tipo de viviendas. Se encontró que el material que genera mayores residuos de construcción en las viviendas construidas con mampostería confinada analizadas es la madera. Este tipo de residuo se genera principalmente por las piezas utilizadas para el encofrado de elementos de concreto, como vigas y columnas, que después del colado son desechadas, muchas veces después del primer uso. Se obtuvo una tasa de generación promedio de 2,93 kg/m<sup>2</sup>, que corresponde a un 44,73 % de todos los residuos

cuantificados en la etapa de obra gris. Considerando que hacia la culminación de la obra toda la madera podría ser desechada, este valor aumentaría considerablemente. Basado en lo anterior, la actividad de encofrado de elementos de concreto se considera entonces la principal fuente generadora de residuos para este tipo de proyectos y por lo que debería priorizarse las estrategias para propiciar su valorización.

- El índice de residuo obtenido para los residuos de madera cuantificados en la etapa de obra gris del proyecto A es del 30,68 %, lo que quiere decir que ese porcentaje de todo el material adquirido para la construcción es desechado en esta etapa. Sin embargo, se concluye que para el final de la construcción prácticamente toda la madera sería desechada, porque no formaba parte de la estructura de la vivienda y los encargados no tenían intención de reutilizarla en futuros proyectos, según comentaron, por lo que el índice de residuo para este material sería cercano al 100 % al finalizar la obra.
- El segundo tipo de residuo más cuantioso encontrado son los cementicios, compuestos casi en su totalidad por restos de bloques de mampostería. La tasa de generación estimada es de 1,87 kg/m<sup>2</sup>. Este material es, en peso, el más cuantioso adquirido en la construcción de este tipo de viviendas, dado a la gran cantidad de bloques requeridos para el levantamiento de los muros y a su gran peso. El índice de residuo obtenido para los bloques de mampostería es del 1,16 %. Aunque este valor es mucho menor que en el caso de los residuos de madera, el peso de residuos cementicios que se generan es importante respecto al total, por lo que estos residuos requieren consideración primordial en el planeamiento de la gestión de residuos de construcción. Si se compara con el porcentaje que se emplea frecuentemente para la adquisición de materiales (5 % - 10 % de desperdicio), en promedio los proyectos resultaron tener índices más bajos para los bloques de mampostería específicamente.
- Respecto a los bloques de mampostería la generación de este residuo se relaciona directamente con la calidad del material y su correcto manejo durante el transporte, almacenamiento y uso dentro de los proyectos. Se concluyó, a partir de los resultados de otras investigaciones y lo observado en el campo,

que, si se da un correcto uso de las piezas y estas son de buena calidad, la cantidad de residuos será considerablemente menor, de lo contrario, una parte importante de los residuos cementicios se deberá a material dañado por mala calidad o mal manejo. El factor anterior no aplica solamente para las piezas de mampostería, sino para la totalidad de los materiales adquiridos para una construcción. El manejo y calidad de los materiales es un factor determinante de la generación de residuos dentro del proyecto.

- Los demás residuos (de láminas livianas, metálicos y plásticos) se generaron en tasas bastante menores, entre los 0,16 kg/m<sup>2</sup> para el plástico y 0,89 kg/m<sup>2</sup> para los residuos de láminas livianas. Se concluye que las actividades generadoras de estos últimos materiales suman cantidades de residuo mucho menores que para los demás, por lo que la atención para establecer una gestión de residuos de construcción adecuada no debe centrarse en ellas, sino en las mencionadas anteriormente.
- Los índices de residuo para los metálicos y plásticos son 0,44 % y 3,66 % respectivamente, estos valores, comparados con los porcentajes de desperdicio que se suman para la adquisición de materiales, son menores, por lo que se puede deducir que en los proyectos se emplearon valores adecuados para el desperdicio, considerando únicamente las cantidades desechadas durante la obra gris.
- A partir de lo anterior se puede deducir que algunas posibilidades de manejo para la adecuada gestión de residuos de construcción, como los estudiados en este trabajo, serán los tratamientos comunes que se utilizan en los residuos de madera y de concreto: la reutilización de materiales en actividades de construcción y para producir otros productos no relacionados a la construcción y el reciclaje de materiales para posterior fabricación de otros.
- La cerámica se genera solamente en el proyecto B por el avance de la obra y la manera en que adquieren y colocan los materiales. Aunque es un material de acabados, sus residuos se comenzaron a generar en la etapa de obra gris del proyecto. Lo anterior argumenta nuevamente la variación en la generación y

variedad de residuos dentro de cada proyecto, por más similares que estos puedan ser en cuanto a área, método constructivo y ubicación.

- En cuanto a las categorías de residuo asignadas en la presente investigación, se concluye que más de un 97 % de los residuos desechados serán de manejo especial. Lo anterior permite inferir que casi la totalidad de los residuos que se generan en la construcción de viviendas individuales de mampostería confinada deberán ser separados de los residuos ordinarios y los de manejo especial, para que su gestión se dé adecuada e integralmente, disminuyendo en lo posible los daños a la salud humana o al ambiente.
- Otra observación importante es que, aunque en los datos reportados en este proyecto no se encontró ningún residuo de la categoría peligroso, porque estos materiales se adquieren principalmente para actividades de la etapa de acabados (no cuantificada en esta investigación), es muy probable que en todos estos proyectos se generará algún residuo de este tipo, porque se adquiere materiales peligrosos para dar acabados (pintura de paredes, barnices, adhesivos, entre otros).
- A partir de los datos generados por Delgado (2010) para generación de residuos de construcción de viviendas de mampostería integral, se concluye que en sus proyectos se generó  $0,91 \text{ kg/m}^2$  menos que en los analizados en la presente investigación. De los índices de residuo obtenidos por Delgado se puede determinar que esta diferencia la marcan los bloques de mampostería, los residuos metálicos y los plásticos, puesto que el autor obtiene porcentajes mayores. Se infiere entonces que las construcciones analizadas por Delgado podrían generar mayores residuos que las construidas con mampostería confinada.
- El estudio de Leiva (2011) es similar al presente, pues estudia el mismo tipo de construcciones; sus datos pueden sumarse a los aquí registrados para estimar con mayor certeza las cantidades de residuos que generan las construcciones de viviendas que emplean el método de mampostería tradicional o confinada. Los valores que obtiene Leiva son mayores a los presentados en este documento para todos los residuos menos los de madera.

- Castro (2019) analiza también viviendas construidas con el sistema de mampostería confinada, sus datos se pueden registrar en conjunto a los que aquí se brindan, para la estimación de cantidades de residuos de esta metodología constructiva, con la observación de que sus datos son específicos de viviendas de gran tamaño. Tanto las tasas de generación como los índices de residuo brindadas por Castro son mayores que el promedio de las obtenidas en el presente estudio, llevándolo a la hipótesis de que la generación de residuos podría relacionarse con el área de construcción, pero especialmente con la cantidad de elementos a encofrar en la vivienda, que podrían ser detalles arquitectónicos de la vivienda.
- Los proyectos de Marín y Bolaños permiten llegar a una conclusión: como se mencionó anteriormente, los métodos constructivos que emplean mampostería integral modulada han tomado popularidad en el mercado nacional, a partir del supuesto de que son metodologías que reducen la generación de residuos. Sin embargo, se ha demostrado con la cuantificación de residuos de construcción, que la poca atención a la modulación de los bloques de concreto con que se aplica esta metodología actualmente, no se obtiene una reducción global de generación de residuos. Si resulta una disminución en la cantidad de residuos, especialmente en el caso de los de madera que disminuyen considerablemente, pero al emplear mucha más mampostería, se registra que tanto la tasa de generación como el índice de residuos para este material aumentan.
- Por último, se concluye, a partir de la tasa de generación de residuos de construcción estimada obtenida de la medición de residuos en los tres proyectos estudiados y suponiendo que la generación de residuos de construcción es similar en todos los proyectos que emplean el método de mampostería confinada, que la cantidad de residuos de construcción generados anualmente por estos proyectos serán al menos 4 240,8 toneladas de residuos que requieren disposición actualmente, de no efectuarse mayores modificaciones en la generación o en la gestión de estos residuos a nivel nacional (considerando únicamente las viviendas cuantificadas por el INEC entre 2011 y 2020).

## **7.2. Recomendaciones**

Como fase final del presente proyecto y considerando la importancia de la correcta gestión integral de los residuos de construcción, que actualmente está desatendida a nivel nacional, se brinda una serie de recomendaciones dirigidas a investigadores, a profesionales que se desarrollan en el área de la construcción y a aquellos encargados de la planificación de la gestión de residuos a nivel nacional.

### **7.2.1. Recomendaciones para futuras investigaciones relacionadas**

A partir de las limitaciones que se enfrentaron durante la elaboración del presente proyecto de graduación y las diversas observaciones hechas en la toma de datos y en la evaluación de la información recabada, se brinda la siguiente lista de recomendaciones. Estas se pueden valorar y aplicar en la elaboración de proyectos similares que busquen aportar a la línea de investigación de gestión de residuos de construcción o contribuir a la preparación de un sistema integral de gestión de residuos de construcción que funcione adecuadamente en Costa Rica.

- Como ya se concluyó, la etapa de obra gris de un proyecto de construcción es usualmente en la que se genera la mayor parte de los residuos, sin embargo, para establecer un registro calificativo y cuantitativo de generación de residuos de construcción completo, se recomienda considerar también las cantidades generadas en las demás etapas de la construcción: limpieza de terreno, movimiento de tierras y especialmente la etapa de acabados. En estas etapas se generan diferentes cantidades y una mayor variedad de materiales desechados, por lo que surgen diversas necesidades para la adecuada gestión de estos residuos. La etapa de acabados es muy importante pues en esta se genera la mayoría de los residuos de tipo peligroso.
- Sumado a lo anterior, se recomienda también la cuantificación de los residuos ordinarios generados dentro de los proyectos de construcción, pues se notó que constituyen una porción considerable respecto a la totalidad de residuos generados y también requieren una disposición adecuada. Las construcciones no suelen tener servicio de recolección municipal de residuos, por lo que la gestión de estos residuos podría ser inapropiada y requerir atención.

- Sería útil, para asegurar la disponibilidad de los datos de proveeduría de materiales en los proyectos analizados, que los futuros investigadores que realicen proyectos similares al presente consideren como criterio de elección la disposición de los encargados de los proyectos de construcción a facilitar listas de proveeduría o incluso las facturas de compra de materiales, para poder calcular los índices de residuo sin limitantes.
- Adicional a la cuantificación por peso de los residuos de construcción generados en los proyectos de construcción, se sugiere analizar también su volumen, ya que esta característica es en ocasiones determinante de las posibilidades de gestión de este tipo de residuos, pues requieren grandes espacios de almacenamiento.
- Se recomienda también el estudio de la trazabilidad de los residuos una vez que estos salen del proyecto de construcción: examinar las prácticas de las empresas de recolección y transporte de residuos de construcción, el manejo, tratamiento y disposición final que brindan a los residuos y las necesidades que existen en este ámbito. También se tendría que llevar seguimiento a los varios subcontratistas que participan de los proyectos de construcción para verificar el manejo de sus residuos. Lo anterior, con el fin de complementar la información calificativa y cuantitativa dentro de los proyectos, con datos del paradero de estos residuos fuera de ellos para aportar a la gestión integral de los residuos de construcción.
- Se recomienda llevar un estudio para registrar el estado de los residuos y los niveles de contaminación que estos presentan al ser desechados dentro de los proyectos de construcción, para confirmar si las posibilidades de tratamiento de los materiales que los componen se mantienen a la hora de volverse residuos o si estas se dificultan, reduciendo las posibilidades de gestión de los residuos.
- Por último, se sugiere que, tanto las metodologías de cuantificación y categorización como el reporte de resultados, se apege a las investigaciones anteriores, para asegurar que estos sean comparables y puedan sumarse a los datos ya existentes.

### **7.2.2. Recomendaciones para la gestión de residuos de construcción**

Las siguientes recomendaciones surgen del análisis de la información sobre gestión de residuos a nivel nacional, de la información recabada dentro de los tres proyectos de construcción de viviendas individuales de mampostería confinada y de los trabajos anteriores de la Escuela de Ingeniería Civil relacionados con la cuantificación de residuos de construcción.

- Los residuos de construcción son parte de los residuos sólidos, por lo cual se deberían gestionar siguiendo las mismas estrategias ya empleadas para los demás residuos como los sólidos ordinarios, de manejo especial y peligrosos. De esta manera se recomienda que se valore, la actualización de las legislaciones relacionadas con gestión de residuos sólidos, como los Planes Municipales y guías de gestión de residuos sólidos, para que incluyan la gestión integral de residuos de construcción y aspectos relacionados con la importancia de su adecuado manejo.
- Específicamente se recomienda que dentro del Reglamento para la Declaratoria de Residuos de Manejo Especial (N° 38272-S) y Reglamento General para la Clasificación y Manejo de Residuos Peligrosos (N° 37788-S-MINAE) se examine la necesidad de incluir la categoría de residuos de construcción (o los tipos de residuo cuya gestión sea posible en el país) para que aplique la regulación a ellos, ya que actualmente no se incluye ninguno en estos reglamentos. El artículo 6 del reglamento N° 38272-S, indica que para declarar residuos como de manejo especial se tomará en cuenta la composición, necesidades de transporte, condiciones de almacenaje, formas de uso, valor de recuperación de los residuos y riesgos a la salud o degradación a ecosistemas. Adicionalmente se recomienda considerar las implicaciones económicas de cualquier nueva propuesta de gestión de residuos de construcción para los proyectos donde apliquen.
- Adicionalmente, se debería valorar la necesidad de complementar la Ley de Construcciones y su reglamento, la Guía Ambiental para la Construcción y demás documentos relativos a la construcción a nivel nacional con información

sobre la gestión de residuos de construcción, para que el tema sea abarcado integralmente, tanto en el ámbito público como privado.

- A partir de lo anterior, se sugiere valorar alternativas para fomentar la oferta de servicios de gestión de residuos de construcción por medio de políticas públicas. Incentivar la habilitación de servicios de reutilización, reciclaje, valorización manejo o tratamiento de materiales con potencial permitiría la adecuada gestión de estos residuos, liberando espacio en los rellenos sanitarios destinados a residuos ordinarios y ampliando los métodos sustentables de manejo de materiales.
- Se recomienda también que aquellos encargados de la planificación de la gestión de residuos a nivel nacional busquen instrumentos para educar y concientizar, a nivel público y privado, sobre la importancia de la adecuada gestión de residuos de construcción tanto para el ambiente como para los proyectos de construcción. Lo anterior podría implementarse desde las universidades, incluyendo a las carreras relacionadas con la construcción, cursos que abarquen temas de sostenibilidad, manejo y gestión de residuos de construcción. También desde el Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos se podría dar actividades para mantener a los miembros actualizados con la información respectiva a la gestión de residuos de construcción.

A partir de las prácticas observadas de los ingenieros y arquitectos encargados o de los trabajadores y subcontratistas de los proyectos estudiados, se pueden sugerir diversas medidas para mejorar la gestión de residuos dentro de una construcción. Para poder implementar un enfoque de reducción de generación de residuos, se debe planificar a lo largo de todas las etapas del proyecto:

- Desde el diseño de la vivienda y la gestión de compras se debe considerar las características de los materiales, herramientas y equipos a utilizar, antes de ingresar al proyecto y durante su uso, de manera que su calidad sea adecuada. También es importante llevar control de cantidades para no comprar material innecesario, verificando dimensiones y modulación en caso de que sea posible, lo que permite comparar posteriormente con los materiales desechados y

generar índices de residuos para modificar futuros diseños, compras o incluso proyectos.

- Durante la ejecución de la construcción se debe controlar el manejo de los materiales, herramientas y equipos para que estos no se dañen innecesariamente al ser utilizados o almacenados. Se recomienda establecer y mantener durante las etapas del proyecto un diseño de sitio que considere un lugar adecuado para la clasificación de los residuos generados durante la edificación de la vivienda y controlar periódicamente los planos y especificaciones técnicas para verificar cantidades de materiales, herramientas, equipo, etc. Además, es útil capacitar al personal sobre salud y seguridad ocupacional y sobre la importancia de cuidar el ambiente y las maneras en que ellos pueden aportar. Se aconseja también establecer sanciones e incentivos para mantener cualquier práctica implementada, con el fin de mejorar la gestión de los residuos, desde el inicio hasta la entrega del proyecto.
- Al finalizar las etapas del proyecto, se pueden buscar posibilidades de reutilización especialmente de materiales, pero también de equipo y herramientas dentro de la misma empresa en proyectos futuros o bien en otros proyectos que reciban el material sobrante. El uso de materiales reciclados requiere atender estudios de calidad de materiales para conocer sus propiedades, varios de estos estudios se están realizando por parte de la escuela de Ingeniería Civil y sus resultados permitirán incentivar el uso de estos materiales en el país.
- Otro aspecto importante es que se contrate únicamente servicios de recolección y transporte que ofrezcan el manejo, tratamiento y disposición adecuados que cada material requiera, con gestores autorizados.
- Se recomienda a los profesionales que se desarrollan en el sector de la construcción, investigar sobre las posibilidades de manejo y tratamiento de los materiales más utilizados en sus proyectos y también sobre materiales o métodos alternativos para reducir los residuos que generan sus proyectos. Una sugerencia que puede implicar cambios significativos en la generación de residuos de construcción es el uso de formaleta reutilizable; existe una gran

variedad de soluciones para encofrado que se pueden implementar en viviendas de mampostería confinada que reducen considerablemente el uso de la madera y, por consiguiente, la generación de residuos de este material. Estas soluciones pueden ser sistemas de paneles de formaleta alquilados o comprados o bien paneles fabricados en sitio con plywood o materiales alternativos a la madera, que aumentan la cantidad de usos que se puede dar a los paneles. En casos donde por razones su alto costo no sea viable emplear paneles reutilizables para encofrado también sería beneficioso que se consideren las posibilidades de reutilización de la madera: se puede usar para fabricación de otros productos de construcción, como combustible, para cubrir vertederos, para compost, para fabricar papel o elementos prefabricados, entre otras utilidades con beneficios económicos y ambientales.

*Página en blanco*

## Capítulo 8. Referencias bibliográficas

Los siguientes documentos fueron consultados y utilizados para la elaboración de este proyecto de investigación:

Abarca, L., Leandro, A. (2016). Guía: Manejo Eficiente de Materiales de Construcción 2016. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cámara Costarricense de la Construcción, Programa Regional Plataforma de Cooperación de América Latina del Norte. Costa Rica. Recuperado de: [https://archivo.construccion.co.cr/descargas/GUIA\\_MANEJO\\_MATERIALES\\_CONSTRUCCION.pdf](https://archivo.construccion.co.cr/descargas/GUIA_MANEJO_MATERIALES_CONSTRUCCION.pdf)

Arce, E. M. (2017). Validación de la Guía de manejo eficiente de materiales de construcción. Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Ambiental. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.

Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica. (2017). Ley N° 833. Ley de construcciones. San José, Costa Rica. Recuperado de: [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=36307&nValor3=0&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=36307&nValor3=0&strTipM=TC)

Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica. (2019). Ley N° 8839. Ley para la Gestión Integral de Residuos. San José, Costa Rica. Recuperado de: [https://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=68300](https://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=68300)

Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica. (2019). Ley N° 7554. Ley Orgánica del Ambiente. San José, Costa Rica. Recuperado de: [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=27738&nValor3=116998&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=27738&nValor3=116998&strTipM=TC)

Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica. (2021). Ley N° 5395. Ley General de Salud. San José, Costa Rica. Recuperado de: [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=6581](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=6581)

- Bolaños, S. (2021). Análisis, cuantificación y caracterización de residuos de construcción para sistemas constructivos modulares de viviendas en serie. Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Cámara Costarricense de la Construcción. (Diciembre 2019). Informe Económico del Sector Construcción. Dirección de Investigación y Desarrollo técnico. Costa Rica. Recuperado de: <https://www.construccion.co.cr/Multimedia/Archivo/8613>
- Cámara Costarricense de la Construcción. (Enero 2021). Informe Económico del Sector Construcción. Dirección de Investigación y Desarrollo técnico. Costa Rica. Recuperado de: <https://www.construccion.co.cr/Multimedia/Archivo/10261>
- Castro, J. (2019). Cuantificación y caracterización de residuos sólidos de construcción para viviendas unifamiliares de gran tamaño del Gran Área Metropolitana. Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Castro, S. (2017). Gestión integral de residuos sólidos. Fundación Universitaria del Área Andina, Bogotá, Colombia.
- Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica. (2016). Código Sísmico de Costa Rica 2010. Revisión 2014. (5.a ed.). Editorial Tecnológica de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.
- Cruz, E. (2010). Diseñar un sistema de manejo de desechos sólidos para una empresa constructora de edificios de apartamentos. (Trabajo de graduación para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil). Universidad de Costa Rica, Costa Rica.
- Delgado, A. (2010). Diagnóstico de la generación de residuos sólidos en viviendas de mampostería integral. Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2018). Estadísticas de la Construcción. Anual 2018. Número de obras, área en metros cuadrados y valor en miles de colones por clase de permiso según provincia, cantón y destino de la obra [Documento de Microsoft Excel]. Costa Rica. Recuperado de: <https://www.inec.cr/>
- Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo. (2018). Reglamento de construcciones. San José, Costa Rica. Recuperado de: <https://www.invu.go.cr/documents/20181/33489/Reglamento+de+Construcciones>
- Leandro, A. (2008). Manejo de desechos de la construcción. Tecnología en Marcha, 21(4), 6063. Recuperado de: [https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec\\_marcha/article/view/226](https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/226)
- Leandro, A. (2007). Administración y manejo de los desechos en proyectos de construcción. ETAPA 2: Alternativas de Manejo. Costa Rica. Recuperado de: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/492/Informe%20final%20Manejo%20de%20Desechos%20enla%20construcci%EF%BF%BD%EF%BF%BDn%20Etapa%20II.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Leandro, A. (2005). Administración y manejo de los desechos en proyectos de construcción. ETAPA 1: Evaluación y monitoreo. Costa Rica. Recuperado de: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/520>
- Leiva, J. (2011). Estudio de las causas de la generación de desechos (concreto, madera y acero) en la construcción de vivienda tradicional. Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Marín, F. (2021). Caracterización y cuantificación de residuos sólidos de construcción para viviendas individuales tipo apartamento en condominio con sistema constructivo modular tipo Armabloque en la Gran Área Metropolitana. Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

Mercante, I. T. (2007). Caracterización de residuos de la construcción. Aplicación de los índices de generación a la gestión ambiental. *Revista Científica de UCES*, 11(2), 86-109.

Ministerio de Ambiente y Energía, Secretaría Técnica Nacional Ambiental. (2014). Acuerdo de la comisión plenaria: Guía Ambiental para la Construcción. Costa Rica. Recuperado de: <https://setena.go.cr/documentos/Normativa/RES-479-2014.pdf>

Ministerio de Salud y Ministerio de Ambiente y Energía. (2018). Reglamento general para la clasificación y manejo de residuos peligrosos. (Nº 41527-S-MINAE). San José, Costa Rica. Recuperado de: [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=75279&nValor3=93281&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=75279&nValor3=93281&strTipM=TC)

Ministerio de Salud. (2011). Política Nacional Para la Gestión Integral de Residuos (2010 – 2021). (ed. 1), San José, Costa Rica. Recuperado de: <https://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/biblioteca-de-archivos/sobre-el-ministerio/politcas-y-planes-en-salud/politicas-en-salud/1107-politica-nacional-para-la-gestion-integral-de-residuos-2010-2021/file>

Ministerio de Salud. (2014). Reglamento sobre el manejo de residuos sólidos ordinarios (Nº 36093-S). San José, Costa Rica. Recuperado de: [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=68467&nValor3=0&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=68467&nValor3=0&strTipM=TC)

Ministerio de Salud. (2016). Plan Nacional para la Gestión Integral de Residuos 2016 - 2021 (ed. 1). San José, Costa Rica. Recuperado de: <https://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/biblioteca-de-archivos/sobre-el-ministerio/politcas-y-planes-en-salud/planes-en-salud/3025-plan-nacional-para-la-gestion-integral-de-residuos-2016-2021/file>

- Ministerio de Salud. (2018). Reglamento para la Declaratoria de Residuos de Manejo Especial. (N° 38272-S). San José, Costa Rica. Recuperado de: [https://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=76879&nValor3=0&strTipM=TC](https://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=76879&nValor3=0&strTipM=TC)
- Navas, A., J, Salazar. (2014). Propiedades geométricas de los bloques y la mampostería de concreto. Revista Ingeniería, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. Recuperado de: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/ingenieria/article/view/13929>
- Programa Competitividad y Medio Ambiente (CYMA). (2008). Plan de Residuos Sólidos Costa Rica (PRESOL). Plan de acción. San José, Costa Rica.
- Schacher, T., Hart, T. (2015). Construyendo Viviendas de Mampostería Confinada de Uno y Dos Pisos: Guía Para Constructores y Arquitectos. Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, California. Recuperado de: <http://www.confinedmasonry.org/wp-content/uploads/2018/08/ConstruyendoViviendasdeMamposteriaManualdeunoydospisos-c.pdf>
- Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales (UICN). (2011). Guía de manejo de escombros y otros residuos de la construcción. San José, Costa Rica. Recuperado de: [https://www.iucn.org/sites/dev/files/content/documents/guia\\_de\\_manejo\\_de\\_escombros.pdf](https://www.iucn.org/sites/dev/files/content/documents/guia_de_manejo_de_escombros.pdf)

*Página en blanco*

**Capítulo 9. Apéndices**

**Apéndice A.**

**Área anual de construcción de viviendas en los cantones de la GAM (INEC)**

<b>Cantones</b>	<b>Área de construcción de viviendas [m<sup>2</sup>]</b>										
	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>Prome- dio</b>
San José	72 294	84 163	32 231	88 322	139 944	56 828	57 599	77 425	29 156	113 844	75 181
Escazú	47 371	91 111	91 071	88 247	98 538	121 332	94 931	99 471	46 894	52 916	83 188
Desamparados	25 120	31 159	14 308	15 904	15 691	33 979	16 167	15 681	15 549	22 594	20 615
Aserrí	10 336	12 681	12 595	12 685	12 322	9 453	7 491	7 263	15 050	9 768	10 964
Mora	14 730	10 819	13 600	17 059	34 048	18 704	45 021	16 106	17 995	8 088	19 617
Golcochea	17 368	17 712	16 607	34 769	29 987	22 193	12 973	20 989	34 547	28 688	23 583
Santa Ana	107 698	136 315	144 621	132 577	133 141	124 634	101 751	65 627	106 604	74 101	112 707
Alajuelita	11 007	8 638	7 517	20 654	46 967	136 767	24 071	24 735	23 116	13 918	31 739
Vázquez de Coronado	14 681	9 108	10 881	7 806	9 984	8 781	9 156	5 644	12 514	6 439	9 499
Tibás	8 636	12 786	9 071	7 772	9 494	17 093	56 674	8 092	4 643	37 406	17 167
Moravia	18 281	12 422	12 817	12 808	21 442	19 469	12 958	11 614	12 063	62 755	19 663
Montes de Oca	28 514	29 218	28 975	23 770	72 704	44 373	60 499	19 544	10 025	17 910	33 553

<b>Cantones</b>	<b>Área de construcción de viviendas [m<sup>2</sup>]</b>										
	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>Prome- dio</b>
Curridabat	59 959	33 368	38 357	35 483	54 177	59 127	28 252	30 120	23 410	55 061	41 731
Alajuela	85 855	93 924	95 722	231 714	127 298	214 633	102 073	104 544	170 788	91 237	131 779
Atenas	17 918	17 858	16 604	18 587	24 773	19 363	9 224	12 305	11 626	17 139	16 540
Poás	8 538	7 923	11 796	17 112	17 255	19 633	14 209	11 484	8 549	10 505	12 700
Cartago	72 036	54 709	84 068	77 464	102 075	123 397	123 111	47 758	75 267	110 387	87 027
Paraíso	19 349	21 339	29 895	17 409	19 973	20 536	18 627	20 880	11 869	17 543	19 742
La Unión	79 660	109 623	84 642	54 255	62 423	54 178	62 425	49 976	51 750	78 212	68 714
Oreamuno	18 800	20 558	15 253	23 754	18 632	15 780	13 557	13 104	14 244	8 197	16 188
Alvarado	6 085	5 743	8 490	7 782	6 713	6 978	5 497	5 211	4 709	3 558	6 077
El Guarco	15 800	15 266	15 283	15 970	21 926	16 168	17 258	20 223	37 121	15 003	19 002
Heredia	96 463	70 059	100 101	134 611	75 074	157 419	83 215	46 494	25 371	21 385	81 019
Barva	21 131	17 044	20 069	25 499	26 105	26 744	16 498	18 385	25 260	16 292	21 303
Santo Domingo	32 035	28 627	22 479	28 634	32 693	52 848	50 364	66 486	191 774	16 209	52 215
Santa Bárbara	13 367	11 621	13 639	13 223	12 312	18 430	7 368	9 909	11 896	12 593	12 436
San Rafael	64 231	52 004	36 118	37 582	39 297	42 480	24 164	28 334	20 243	58 687	40 314
San Isidro	22 149	29 940	14 751	21 197	20 486	20 058	14 917	11 722	12 663	12 448	18 033

<b>Cantones</b>	<b>Área de construcción de viviendas [m<sup>2</sup>]</b>										
	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>Prome- dio</b>
Belén	10 908	11 588	12 216	9 689	11 420	9 666	14 021	16 515	19 206	38 720	15 395
Flores	22 609	16 026	15 782	16 494	16 156	11 833	9 652	7 226	28 890	40 033	18 470
San Pablo	22 689	33 925	31 440	31 806	101 030	45 744	33 945	15 862	13 698	16 692	34 683
<b>TOTAL</b>	1 065 618	1 107 277	1 060 999	1 280 638	1 414 080	1 548 621	1 147 668	908 729	1 086 490	1 088 328	1 170 845

## Apéndice B.

### Encuesta realizada a profesionales del área de construcción

#### Encuesta para Proyecto de Graduación Ingeniería Civil - UCR:

Esta encuesta forma parte del Proyecto de Graduación de la estudiante de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica Sofía Rímolo, cuyo objetivo principal es determinar las tasas de generación de residuos en tres proyectos de construcción de viviendas unifamiliares con mampostería confinada en la Gran Área Metropolitana, a través de la cuantificación de estos residuos en visitas de campo.

\* Required

1. Nombre: \*

---

2. Profesión: \*

---

3. Según su experiencia en el campo de la construcción, del total de las viviendas que se construyen anualmente en Costa Rica, ¿qué porcentaje (0 % - 100 %) considera que se construye utilizando algún tipo de mampostería? \*

Puede ser mampostería integral, modulada, armabloque, confinada, tradicional u otro que emplee bloques de concreto.

---

4. Según su experiencia en el campo de la construcción, del total de las viviendas que se construyen usando mampostería, ¿qué porcentaje (0 % - 100 %) se construye siguiendo el método constructivo de mampostería tradicional o mampostería confinada? (no modular) \*

Mampostería confinada: muros de bloques de mampostería de concreto reforzada y vigas/ columnas de concreto.

---

5. Comentarios adicionales:

---

---

---

---

---

## Apéndice C.

### Resultados de la encuesta realizada a profesionales del área de construcción

#	Porcentaje de construcciones en mampostería.	Porcentaje de construcciones en mampostería confinada.	#	Porcentaje de construcciones en mampostería.	Porcentaje de construcciones en mampostería confinada.
1	50 %	80 %	31	70 %	90 %
2	60 %	95 %	32	55 %	80 %
3	70 %	90 %	33	75 %	70 %
4	80 %	90 %	34	80 %	95 %
5	85 %	70 %	35	90 %	70 %
6	90 %	80 %	36	50 %	70 %
7	90 %	90 %	37	65 %	50 %
8	65 %	25 %	38	64 %	96 %
9	70 %	80 %	39	90 %	80 %
10	80 %	50 %	40	50 %	50 %
11	45 %	25 %	41	75 %	75 %
12	60 %	80 %	42	85 %	75 %
13	50 %	50 %	43	95 %	90 %
14	50 %	50 %	44	60 %	85 %
15	65 %	75 %	45	90 %	90 %
16	50 %	70 %	46	90 %	50 %
17	80 %	90 %	47	95 %	85 %
18	75 %	85 %	48	85 %	90 %
19	60 %	80 %	49	90 %	80 %
20	70 %	90 %	50	95 %	90 %
21	90 %	95 %	51	70 %	60 %
22	75 %	90 %	52	70 %	90 %
23	90 %	80 %	53	50 %	30 %
24	90 %	85 %	54	95 %	50 %
25	70 %	80 %	55	90 %	80 %
26	80 %	80 %	56	80 %	75 %
27	70 %	50 %	57	90 %	95 %
28	90 %	90 %	58	75 %	75 %
29	50 %	50 %	59	75 %	80 %
30	60 %	80 %	60	*No indica	*No indica
<b>Promedio</b>				<b>73,80 %</b>	<b>74,93 %</b>
<b>Mediana</b>				<b>75 %</b>	<b>80 %</b>
<b>Desviación estándar</b>				<b>15 %</b>	<b>18 %</b>

\* Una persona brinda comentarios, pero no especifica porcentajes