

Universidad de Costa Rica

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Civil

Identificación, cuantificación y caracterización de los residuos de construcción para sistemas constructivos modulares de viviendas en serie.

Proyecto de Graduación

Para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil

Presenta:

Silvia Elena Bolaños Esquivel

Directora de Proyecto de Graduación:

Ing. Nidia Cruz Zúñiga, M.Sc.

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

COMITÉ ASESOR



Ing. Nidia Cruz Zúñiga, M.Sc.

Directora del Proyecto Final de Graduación



Ing. Berny Valverde Cubero, M.Sc.

Asesor del Proyecto Final de Graduación



Ing. Erick Mata Abdelnour, PhD

Asesor del Proyecto Final de Graduación



Silvia Bolaños Esquivel

Estudiante

Derechos de propiedad intelectual

Fecha: 2021, agosto, 12.

La suscrita, Silvia Bolaños Esquivel, cédula 1-1390-0096, estudiante de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, con número de carné A71032, manifiesta que es autora del Proyecto Final de Graduación: **Análisis, cuantificación y caracterización de residuos de construcción para sistemas constructivos modulares de viviendas en serie**, 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 Dios, que siempre me dio la fortaleza para continuar a pesar de las dificultades, y que puso en mi camino a todas las personas que de una u otra manera me ayudaron a culminar ésta etapa de mi vida.

A mis padres: Magda Esquivel y Adolfo Bolaños, que me inculcaron todo lo que soy, me apoyan incondicionalmente y a pesar de todo siempre están orgullos de mí. Por enseñarme que lo importante de la vida, ser un Rhino. A mis hermanos Luis Bolaños y Sebastián Esquivel por demostrarme su apoyo y amor incondicional en todo momento.

A mi esposo Jonathan Monge, mi amigo, compañero de aventuras, mi porrista personal y el amor de mi vida, por ser mi bastón, mi roca y pañuelo de lágrimas. Gracias infinitas por no dejarme caer.

A mi hija Samantha Monge, que me dio el título más hermoso que podría alcanzar, el de mamá, gracias por iluminar mi vida, y mostrarme que la belleza de la vida está en lo más simple.

A mis amigos, Katherine Quirós, Josué Rodríguez, Jordy Lara y Juan Machuca por hacer de mis días en la universidad inolvidables, por apoyarme y hacerme reír, por esos tíos de corazón para Sammy. Porque cuando sentí que ir a clases embarazada era una pesadilla, ustedes los convirtieron en días llenos de alegrías.

Al profesor Berny Valverde, a quien admiro como educador e ingeniero, por motivarme a ser mejor profesional, alentarme en la pasión por la construcción y guiarme en ese balance entre el amor a la ingeniería y la familia.

A mi directora Nidia por el apoyo, la paciencia y la comprensión, por compartir la pasión de la ingeniería y la maternidad. De igual manera a mi asesor Erick, quien admiró como padre, profesional y por esa humildad que todos sus estudiantes admiramos.

Finalmente, a Traisy Baquero, a todos los compañeros y profesores que compartieron mi aventura de estudiante y mamá, que nos dieron la oportunidad a Sammy y a mí de culminar la carrera sintiéndonos queridas y apoyadas.

Dedicatoria

En primer lugar, se lo dedico a Dios, porque todo lo hace en su tiempo, el cual es perfecto.

En segundo lugar, a mi familia que me ha apoyado de manera incondicional y son mi mayor orgullo.

A mi abuelo Edgar Bolaños, su legado y amor es eterno.

A todas las mujeres que dudan de sus cualidades y valor, para que sigan adelante hasta alcanzar sus sueños.

Bolaños Esquivel, Silvia

Identificación, cuantificación y caracterización de residuos de construcción para sistemas constructivos modulares de viviendas en serie.

Proyecto de Graduación – Ingeniería Civil – San José. C.R.

S. Bolaños E., 2021

v, 82, [6]h; ils. col. – 22 refs.

RESUMEN

El sector construcción representa una de las industrias con mayor impacto sobre el medio ambiente, debido a la extracción de materias primas y a la gran cantidad de residuos que genera. Para realizar un adecuado manejo de los residuos, es indispensable cuantificarlos y caracterizarlos.

El objetivo de esta investigación fue analizar, cuantificar y caracterizar la composición de los residuos sólidos producidos durante la etapa constructiva de obra gris y acabados, para proyectos de viviendas en serie, con sistema constructivo modular Armabloque e Integra.

Se realizó la caracterización y cuantificación de la totalidad de los residuos encontrados en los cuatro proyectos analizados (dos proyectos por sistema constructivo). Los residuos se acumularon en zonas establecidas en cada uno de los proyectos y los pesajes se realizaron semanalmente. Se comparó la cantidad de material de compra versus la cantidad de residuo generado por cada material, con estos datos se logra determinar el índice de residuo sólido para cada material. De igual manera se calculó la tasa de generación de residuos sólidos de construcción para este tipo de proyectos.

Como parte de los resultados se logra comparar las tasas de generación de los proyectos estudiados en el presente trabajo, además, se comparan con otros estudios realizados en sistemas constructivos modulares y no modulares. Se concluye que efectivamente los sistemas modulares en los últimos años han contribuido en la disminución de los residuos sólidos en la construcción.

Palabras claves: residuos sólidos de construcción, tasa de generación de residuos sólidos, índice de residuos sólidos, sistema constructivo modular Armabloque, sistema modular Integra, obra gris.

Ing. Nidia Cruz Zúñiga, M.Sc – Directora de proyecto

Escuela de Ingeniería Civil

Tabla de contenidos

1. Introducción	1
1.1 Problema específico	1
1.2 Importancia	2
1.3 Antecedentes teóricos y prácticos del problema	4
1.2 Objetivo.....	7
1.2.1 Objetivo General.....	7
1.2.2 Objetivos Específicos.....	7
1.2.3 Delimitación del problema.....	7
2. Marco teórico.....	9
2.1 Definiciones	9
Residuos Sólidos	9
Tasa de generación e índice de residuos.....	11
Mampostería integral modular	12
Mampostería confinada.....	13
2.2 Sistemas constructivos modulares	14
Sistema de bloques modulares Integra.....	14
Sistemas de bloques modulares Armabloque.....	14
2.3 Legislación Vigente	15
Plan de Residuos Sólidos (PRESOL): Plan de Acción estratégica del programa de Competitividad y Medio Ambiente (CYMA)	15
Ley para la Gestión Integral de Residuos Sólidos (Ley No. 8839).....	15
Reglamento General a la Ley para la Gestión Integral de Residuos (Decreto No. 37567-S-MINAET-H).....	16
Reglamento para la declaratoria de residuos de manejo especial (Decreto No. 38272-S) ..	17
Resolución de la SETENA: Guía Ambiental de la Construcción (Res. No. 479-2014)	18
3. Metodología.....	19
3.1 Etapa 1: Revisión bibliográfica.....	20
3.2 Etapa 2: Caracterización y cuantificación de residuos.....	20
Método de análisis de muestra	20
3.3 Etapa 3: Análisis y resultados.....	22
4. Descripción general del objeto de estudio.....	23
4.1 Proyectos en estudio	23
4.1.1. Ubicación geográfica y temporal.....	23
4.2 Adquisición de materiales	26
4.3 Proceso constructivo	28

4.3.1	Concreto Premezclado	28
4.3.2	Madera para encofrado	28
4.3.3	Armadura de acero	28
4.3.4	Contrapiso y entrepiso.....	29
4.3.5	Paredes de mampostería	30
4.3.6	Acabado de paredes.....	31
4.3.7.	Colocación de la cubierta de techos	32
4.3.8	Estructuras livianas	33
4.3.9	Revestimientos cerámicos y porcelanatos.	33
4.4	Toma de datos	34
4.4.1	Disposición de los residuos en los proyectos.	34
5.	Resultados y análisis	38
5.1	Caracterización de los residuos sólidos	38
5.1.1.	Concreto premezclado	38
5.1.2.	Residuos de block	38
5.1.3.	Residuos de varilla	40
5.1.4.	Escombros.....	42
5.1.5.	Residuos de mortero de pega.....	42
5.1.6.	Residuos de repello grueso	43
5.1.7.	Residuos de PVC.....	45
5.1.8.	Residuos de madera.....	45
5.1.9.	Residuos de estereofón	46
5.1.10	Residuos de hierro galvanizado.....	46
5.1.11	Residuos de láminas de zinc galvanizadas.....	47
5.1.12	Residuos de perfiles de aluminio y láminas de yeso.....	48
5.1.13	Residuos de revestimientos cerámicos y porcelanatos	48
5.2.	Cuantificación de residuos sólidos.....	49
5.2.1	Residuos de concreto premezclado	52
5.2.2	Residuos de bloques para paredes de mampostería.....	53
5.2.3.	Residuos de varilla	54
5.2.4	Escombros.....	56
5.2.5	Residuos de mortero de pega block	57
5.2.6	Residuos de repello grueso	58
5.2.7	Residuo de PVC	59
5.2.8	Residuos de madera.....	60

5.2.9 Residuos de estereofón	61
5.2.10 Residuo de hierro galvanizado	63
5.2.11 Residuos de perfiles de aluminio y láminas de yeso.....	63
5.2.12 Residuos de revestimientos cerámicos y porcelanato	64
5.2.13 Residuo de teja asfáltica	66
5.3 Índice de residuo global y tasa de generación global	66
5.5 Comparación de resultados con otras investigaciones	71
Capítulo 6. Conclusiones y Recomendaciones	76
6.1. Conclusiones	76
6.2. Recomendaciones	80
7. Bibliografía	82
8. Anexos	84
8.1 Anexo A: Planos estructurales armabloque	84
8.1.2 Planos con detalles de vigas.....	84
8.1.3 Distribución de bloques y refuerzo en paredes	85
8.2 Anexo B: Entradas de varillas	86
8.3 Anexo C: Entradas de PVC	87
8.3.1 Tubería mecánica	87
8.3.2 Tubería eléctrica	88
8.4 Anexo D: Ficha técnica tubería estructural.....	89
8.5 Anexo E: Entradas de tubería estructural por proyecto.....	90
8.6 Anexo F: Ficha técnica perfiles de aluminio.....	90

Índice de Figuras

Figura 1. Residuos comunes generados por las empresas entrevistadas	6
Figura 2. Metodología Modular	12
Figura 3. Elavación de pared mampostería con refuerzo integral.....	13
Figura 4. Elevación de pared mampostería confinada	13
Figura 5. Detalle de bolque integra PC.....	14
Figura 6. Detalle de bloque Armabloque.....	15
Figura 7. Esquema metodológico.....	19
Figura 8. Báscula utilizada para pesaje de residuos.	21
Figura 9. Distribución arquitectónica proyecto 1A.....	24
Figura 10. Distribución arquitectónica proyecto 2A.	25
Figura 11. Distribución arquitectónica de los proyectos 1B y 2B.	26
Figura 12. Armadura suministrada por Armabloque.	28
Figura 13. Losa flotante proyectos 1B y 1A, respectivamente.	29
Figura 14. Contrapiso proyecto 2B.....	29
Figura 15. Sistema de entrepiso empresa A y empresa B, respectivamente.....	30
Figura 16. Mortero de pega utilizado en la empresa A y B.	31
Figura 17. Repello grueso empresa A y repello grueso proyectable empresa B.	32
Figura 18. Estructura de techos proyecto 1B y 2A, respectivamente.....	32
Figura 19. Uso de estructura liviana en los proyectos 2B y 1A, respectivamente.	33
Figura 20. Revestimiento para piso y cocina, proyecto 2A.	34
Figura 21. Rotulación para disposición de residuos.	35
Figura 22. Disposición de los residuos en los proyectos 1A y 2A	35
Figura 23. Disposición de residuos en los proyectos 1B y 2B.	36
Figura 24. Residuo de concreto premezclado de la etapa de contrapiso, proyecto 2B.....	38
Figura 25. Separación de residuos de block del escombro.	39
Figura 26. Separación de residuos de block del escombro.	39
Figura 27. Cortes en pared de mampostería para colocación de tubería, proyecto 1A.	40
Figura 28. Sobrante de armadura proyecto 2A.....	41
Figura 29. Muestras de varillas en los proyectos 1A y 1B.	41
Figura 30. Muestra de escombro proyecto 1 A.	42
Figura 31. Mortero de pega block proyecto 1B.....	43
Figura 32. Restos de repello empresa A.	44
Figura 33. Residuo de repello empresa B.	44
Figura 34. Tubería eléctrica proyecto 1A.	45
Figura 35. Madera proyecto 1A.	45
Figura 36. Residuo de estereofón proyecto 2A.	46
Figura 37. Residuos de acero, estructura de techo proyecto 1B.	47
Figura 38. Residuo de lámina galvanizada, proyecto 2B.	47
Figura 39. Diferentes perfiles de aluminio para elaboración de estructura liviana.....	48
Figura 40. Residuos de revestimiento, proyecto 2B	49
Figura 41. Tasa de generación de bloques de concreto (Kg/m ²).	54
Figura 42. Composición de entrada de los diferentes tipos de varillas.....	55
Figura 43. Volumen de estereofón proyectos empresa A.....	62
Figura 44. Pesaje de revestimientos usados en la empresa B	65
Figura 45. Homologación de la tasa de generación (Kg/m ²) entre construcciones modulares y no modulares (confinada).	75

Figura 46. Detalle estructural de vigas	84
Figura 47. Planta de distribución de paredes Armabloque.	85
Figura 48. Especificación técnica: Peso de la tubería estructural	89
Figura 49. Perfiles livianos: Stud y Track.	90

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Caracterización basada en las categorías generales de residuos comunes en la construcción.....	10
Cuadro 2. Resumen de adquisición de materiales.....	27
Cuadro 3. Caracterización basada en las categorías generales de residuos comunes en la construcción.....	49
Cuadro 4. Índice de residuos	51
Cuadro 5. Cuantificación de los residuos de concreto premezclado.....	52
Cuadro 6. Cuantificación del residuo: Bloques de concreto	53
Cuadro 7. Cuantificación del residuo de varilla.	55
Cuadro 8. Generación de escombros	56
Cuadro 9. Diferencias entre la tasa de generación del escombros y el resto de materiales que conforman el escombros.	57
Cuadro 10. Cuantificación de los residuos: Mortero de pega	58
Cuadro 11. Cuantificación de residuo: Repello grueso.....	59
Cuadro 12. Cuantificación de los residuos de PVC (Mecánico y eléctrico)	60
Cuadro 13. Cuantificación de residuos de madera	61
Cuadro 14. Cuantificación de residuo de estereofón	62
Cuadro 15. Cuantificación de residuos de acero	63
Cuadro 16. Cuantificación de residuos perfiles de aluminio.....	64
Cuadro 17. Cuantificación de los residuos de láminas de yeso	64
Cuadro 18. Cuantificación de los residuos de revestimiento cerámico y porcelanato	65
Cuadro 19. Cuantificación de los residuos de teja asfáltica	66
Cuadro 20. Pesos de entrada y salida de los materiales para los cuatro proyectos en estudio.....	67
Cuadro 21. Índice global de residuos para cada uno de los proyectos.	68
Cuadro 22. Cálculo de la tasa de generación (kg/m ²) para cada proyecto	69
Cuadro 23. Comparación de resultados con otros estudios de residuos en viviendas modulares y no modulares (confinada).....	72
Cuadro 24. Cálculo de varilla de entrada para los proyectos de la empresa A.	86
Cuadro 25. Varilla de entrada para los proyectos 1B y 2B.	86
Cuadro 26. Entradas de tubería mecánica empresa A	87
Cuadro 27. Tubería eléctrica de entrada empresa B	87
Cuadro 28. Entrada de tubería eléctrica empresa A	88
Cuadro 29. Tubería eléctrica de entrada empresa B	88
Cuadro 30. Tubería estructural de entrada en cada proyecto.....	90

1. Introducción

1.1 Problema específico

Según se menciona en la Guía de manejo eficiente de materiales de construcción (Abarca & Leandro, 2016), el sector construcción genera gran cantidad de residuos debido a varios factores tales como: variedad de medidas, ordenes de cambio, mala manipulación de los materiales o mano de obra poco calificada. Esto representa no solo un costo adicional en el proyecto, sino un impacto ambiental directo, pues estos materiales están compuestos por materia prima extraída directamente de la naturaleza, además de que implican un elevado consumo de energía y agua para su producción y transporte.

La industria de la construcción es relevante para la economía del país. Para el año 2018 se presentó un crecimiento del 9.0% según el IMAE ¹(índice mensual de actividad económica). Por tanto, analizar sus impactos específicamente en consumo de recursos y generación de residuos es primordial, por la presión que el sector ejerce sobre los servicios eco sistémicos de generación de materias primas y asimilación de residuos. (CCC, 2018)

Algunas constructoras inmobiliarias han implementado nuevas prácticas constructivas con la finalidad de disminuir costos y tiempos de producción, y en algunos casos, como los sistemas modulares, estos cambios también repercuten en la disminución de residuos que se generan en el proceso constructivo. La construcción modular consiste en adaptar el diseño de las viviendas a la longitud de los bloques de mampostería evitando que se realicen cortes innecesarios en los bloques.

Existen diferentes sistemas constructivos modulares que buscan garantizar una mayor eficiencia en la construcción de viviendas, sin embargo, se cuentan con pocos estudios realizados por estudiantes de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica que hayan realizado la cuantificación de residuos para este tipo de construcción, el más recientes es el realizado por Marín (2021), en el cual lleva a cabo la cuantificación de los residuos para viviendas modulares con el sistema Armabloque, las cuales consta de aproximadamente 100 m², anteriormente se cuenta con el análisis realizado por Delgado en el 2010, en el cual realiza la toma de datos para

¹ Indicador mostrado por la Cámara Costarricense de la Construcción en los informes económicos del sector

casas modulares, de un nivel con áreas entre los 100 m² y los 150 m², donde se utilizaban bloques Integra y Masterblock.

Con los datos obtenidos en el presente estudio se realiza una comparación entre los dos sistemas modulares (Arma bloque e Integra) que permita identificar las principales diferencias en la tasa de generación y el índice de residuos para los principales residuos generados. De igual manera se realiza una comparación con los datos registrados para construcciones no modulares, como lo son los datos obtenidos por Rímolo (2021), Castro (2019) y Leiva (2011), con este análisis se pretende identificar cual sistema constructivo presenta la menor tasa de generación e índice de residuo. Posteriormente, se realizan recomendaciones que permitan a las futuras construcciones mejorar su gestión de residuos sólidos y a su vez disminuir los residuos generados en el proceso constructivo.

1.2 Importancia

Años atrás se tenía la concepción de que algunos recursos naturales eran inagotables, sin embargo, existe evidencia de las consecuencias de esta forma de pensar en cuanto a la afectación a los ecosistemas, de ahí que los recursos son cada vez más limitados y su explotación compromete más el ambiente. Por otro lado, la construcción es fundamental para el desarrollo de los países, es ahí donde se debe replantear de manera más eficiente. Esto encierra no solo la construcción en sí, sino como se valorizan los recursos en el proceso y cómo cuantificar los residuos, para caracterizarlos y encontrar usos alternativos.

En Costa Rica se pretende lograr una adecuada jerarquía de disposición de los residuos, donde evitar y reducir son las estrategias más deseables. Esto se reflejó desde el Plan Nacional de Residuos Sólido (PRESOL, 2016) donde se hablaba de alcanzar una gestión de los residuos sostenible e integral. Dicho plan estableció el orden jerárquico en que deben realizarse las diferentes etapas del manejo de residuos, al establecer con claridad la prioridad que deben tener las medidas de prevención que eviten y reduzcan la generación de residuos, así como su reutilización. Para lograr alcanzar estas metas en el área de la construcción es indispensable crear estrategias que permitan esclarecer las principales problemáticas que enfrenta el sector con la finalidad de establecer soluciones. Para ello se deben cuantificar y caracterizar los residuos generados en diferentes tipos de obra, ya que este es el primer paso entender la magnitud de la problemática. Estos datos serán luego utilizados para determinar el correcto tratamiento, disposición u alternativas constructivas menos impactantes para el ambiente.

La principal premisa de la presente investigación se basó en que los sistemas modulares disminuyen el desperdicio y por ende la tasa de generación de residuos tipo escombros. Sin embargo, al iniciar esta investigación no se contaban con suficientes registros numéricos que comparen esta disminución de los residuos en las construcciones donde se implementan los sistemas Intrega y Armablock. En cuanto al sistema Armablock se cuenta con los datos de Marín (2020) y respecto al sistema modular con bloques Intrega se cuenta con los datos de Delgado (2010). Por otro lado, es importante analizar diferentes tipologías constructivas, porque estas pueden influir también en la cantidad y tipo de residuos que se generan. Así como otras variables más humanas, como la calidad de la mano de obra y las costumbres de trabajo de cada cuadrilla, estas dos últimas difíciles de dimensionar en el presente estudio.

En Costa Rica no es una práctica común entre las empresas constructoras el cuantificar y clasificar los residuos, por tanto, estas iniciativas de investigación también contribuyen a que las empresas involucradas valoren la importancia de realizar estas prácticas, con estos datos las empresas pueden invertir en la capacitación del recurso humano, mejorando la calidad de los proyectos y disminuyendo los residuos generados a raíz de una mano de obra poco calificada, también, se pueden implementar mejoras en el sistema constructivo que disminuya los desperdicios, toda disminución en los residuos se traduce en un ahorro de material y por ende económico para las empresas. Esta investigación también aporta a cuantificar las tasas reales totales y compara los residuos generados con este sistema constructivo con los generados con los métodos tradicionales, para evaluar el verdadero aporte de un sistema sobre otro.

Esta investigación recopila datos de los residuos sólidos generados en dos proyectos de construcción de vivienda unifamiliar en serie y con sistemas modulares diferentes, los cuales se caracterizaron y compararon entre sí. Esto permitió plantear medidas para la reducción de las tasas de generación de los residuos.

No es posible realizar una generalización de los datos obtenidos solo con cuatro casos de estudio, se buscó una homologación en la recolección de datos, basado en que las mediciones se realizaron en desarrolladoras inmobiliarias con características similares, en proyectos con la misma tipología constructiva, con una delimitación similar en cuanto a metros cuadrados construidos por casa y ubicados dentro de la GAM. Este último punto es relevante, pues en la calidad de la mano de obra puede existir una diferencia en cuanto a la que están disponible en la GAM y la que existen en zona rural.

1.3 Antecedentes teóricos y prácticos del problema

En la actualidad se cuenta con varios estudios que incluyen datos teóricos y cuantitativos sobre la generación y manejo de los residuos sólidos, entre ellos se encuentran:

Análisis teórico de Leandro (2005) sobre administración y manejo de los desechos en proyectos de construcción o sobre la situación actual de la gestión de los materiales de construcción en Costa Rica. Estas investigaciones buscan visualizar la problemática de los residuos generados por la industria de la construcción, con el objetivo de buscar alternativas que ofrezcan una disminución de los residuos. Sin embargo, se observaron diferentes limitantes en dichas investigaciones, como por ejemplo el faltante de datos en pesos o volúmenes generados en cada caso. En la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica se han realizado diferentes proyectos de graduación relacionados con los desechos sólidos generados en la construcción de viviendas que contemplen los diferentes métodos constructivos, o diferentes tipologías constructivas. Es ahí donde este proyecto contribuye con la línea de investigación en Residuos de Construcción que se está trabajando desde el área ambiental de la carrera, pues aporta un eslabón más para ir comprendiendo el universo de la construcción en Costa Rica y los residuos asociados.

Delgado (2010) elaboró un diagnóstico de la generación de desechos sólidos en la construcción de viviendas que utilizan mampostería integral, comparándolo con la mampostería confinada. Este proyecto tuvo como alcance los residuos generados en obra gris (bloques, madera, papel, acero, plástico y PVC) para las viviendas de únicamente un nivel. Además, se basó en construcciones que utilizaban dos tipos de bloques: Integra PC y Masterblock, los cuales pesó de manera semanal, obteniendo como resultado una tasa de generación correspondiente a los bloques Integra de 5.45 Kg/m² y un índice de residuo global para bloques (Integra y Masterblock), madera, acero y PVC de: 2.83%, 6.23%, 2.10% y 8.83%, respectivamente.

El ingeniero Berny Valverde declaró recientemente que el proceso constructivo analizado por Delgado (2010), en uno de los proyectos de vivienda ha cambiado en los últimos diez años, a pesar de utilizar el mismo block Intrega PC. (B. Valverde, comunicación personal, septiembre 23, 2019).

Leiva (2011) basó su estudio en una vivienda de mampostería confinada de 190 m² constituida en la planta baja por dos casas pequeñas y una tercera en la planta alta, para llevar a cabo el

control de residuos, realizó pesajes semanales de tres materiales: madera, acero y concreto, de los cuales obtuvo una tasa de generación global de 11.4 Kg/m^2 , sin embargo, no realizó una comparación entre las entradas de los materiales de cada vivienda con los pesos obtenidos de los residuos, por lo que no determina dentro de su análisis el índice de residuos sólidos. Castro (2019) desarrolló la investigación: "Cuantificación y caracterización de residuos sólidos de construcción para viviendas unifamiliares de gran tamaño del Gran Área Metropolitana", donde define la tasa de generación de residuos sólidos para obtener un indicador de eficiencia en proyectos de vivienda de gran tamaño (mayores a 200 m^2) con un valor global de 142.08 Kg/m^2 , y un índice de residuos de global de 15.65% , mediante su caracterización y cuantificación, cabe destacar que las viviendas de este estudio no corresponden a construcción modular.

Dentro de los últimos estudios se encuentran los de Rímolo (2021) y Marín (2021), este último cuantifica los principales residuos sólidos generados por la construcción de viviendas modulares con el sistema Armabloque, y compara la tasa de generación obtenida por Castro (2019), Leiva (2011) y Delgado (2010). En el análisis realizado por Marín (2021), no considera el escombros segmentado como parte de su análisis, y los datos obtenidos son del acumulado de residuos de tres viviendas. De los cuales obtiene una tasa de generación global y un índice de residuos de global de: 9.98 Kg/m^2 y 1.54% , respectivamente.

Rímolo (2021), basa su análisis en tres viviendas de mampostería confinada con áreas menores a los 200 m^2 , de las cuales pesó los residuos de madera, cementicios, láminas livianas, cerámica, metales y plásticos, obteniendo una tasa de generación de residuos promedio de 6.55 Kg/m^2 y un índice de residuos para los bloques de concreto de 1.16% .

De los estudios mencionados anteriormente que incluyen cuantificación de los residuos sólidos en diferentes tipos de construcciones, se considera los resultados obtenidos para el residuo de bloques de concreto, siendo el más significativo para el presente estudio, por ser la principal variable entre los diferentes métodos constructivos. También se compara con otros residuos como: acero, escombros, madera, repello y mortero de pega block.

En el año 2016 el Tecnológico de Costa Rica desarrolló la Guía Manejo Eficiente de Materiales de Construcción (Abarca & Leandro, 2016). Esta guía muestra los resultados sobre generación de residuos ordinarios y peligrosos de un grupo de 52 empresa constructoras (30 micro y pequeñas, 15 medianas y 7 grandes), en la Figura 1 se aprecian los residuos más comunes.

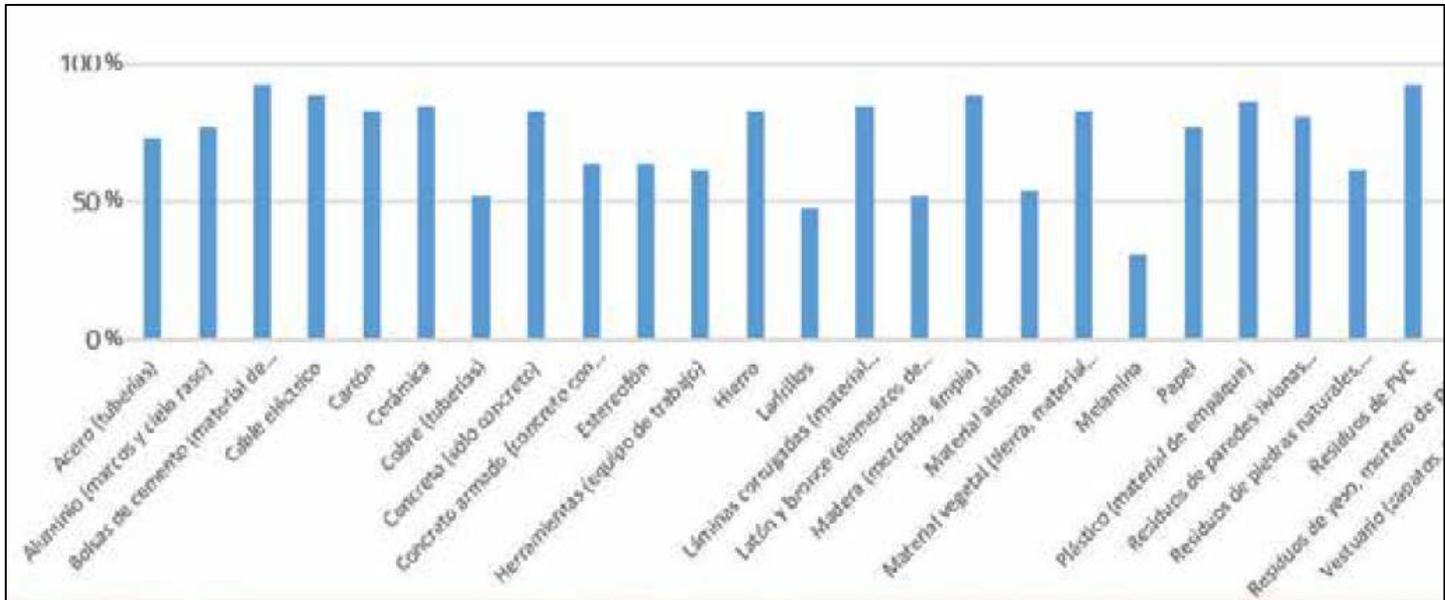


Figura 1. Residuos comunes generados por las empresas entrevistadas

Fuente: Guerrero, Leandro, 2015.

Sin embargo, los resultados de dicha guía se basan en el método de entrevistas para recabar la información y no mide datos directos en campo en cuanto a pesos o volúmenes de los residuos. Tampoco hace diferenciación entre los residuos generados para los diferentes métodos constructivos, ni por el tipo de empresa o de tipología constructiva. Lo anterior no permite comparar las tasas de generación entre los diferentes métodos constructivos o tipos de empresa, limitando el estudio a un panorama muy general de la situación actual del país en cuanto a residuos de construcción.

Por otro lado, las investigadoras Abarca y Leandro (2016), hacen referencia a la limitante literaria sobre estudios relacionados con la composición de los residuos de construcción, el índice de generación y las causas de ello, utilizando reportes de generación muy antiguos realizados por Ramírez (1995) y Villalobos (1995) con valores muy disímiles de entre 300-700 Kg/m² el primero y 11-25 kg/m² para el segundo, dando un promedio de 115 Kg/m². Dentro de la metodología utilizada por dichas autoras está la utilización de encuestas al personal de empresas constructoras, entrevistas estructuradas, visitas a sitios de construcción y discusión con un panel de expertos. De igual forma, el informe "Situación actual de la gestión de los materiales de construcción en Costa Rica" (Abarca & Leandro, 2017), presenta manera general la información

y no se realiza la toma de datos por peso o volumen de los residuos, es por ello que se recomienda realizar un proyecto para analizar la composición de los residuos y su cuantificación.

1.2 Objetivo

1.2.1 Objetivo General

Cuantificar la generación de residuos sólidos de construcción en proyectos residenciales con diseño modular y construcción en serie, así como la caracterización de dichos residuos por tipo.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar los residuos más comunes que se generan en proyectos inmobiliarios con diseño modular en vivienda, separándolos de acuerdo a su composición.
- Establecer las principales diferencias de generación de residuos en construcciones modulares con diferentes sistemas constructivos (específicamente mampostería integral con Armabloque e integra).
- Estimar la potencial diferencia en el uso de recursos que presenta una construcción modular en comparación con una no modular, basado en registros documentales de este último sistema.

1.2.3 Delimitación del problema

1.2.3.1 Alcance

- La investigación se basó en comparar dos tipos de construcciones modulares en viviendas unifamiliares y con la misma tipología constructiva.
- Los proyectos en estudio se ubican dentro del Gran Área Metropolitana (GAM), y pertenecen a dos empresas diferentes, cada una de las cuales utiliza un tipo distinto de mampostería modular en sus diseños.
- Para el estudio se seleccionaron viviendas en etapa inicial (trazado) y con un tiempo aproximado de conclusión de seis meses, con la finalidad de evaluar la mayor cantidad de materiales posibles, abarcando como mínimo los residuos generados desde el inicio hasta finalización de la obra gris.
- La caracterización y cuantificación de los residuos se extendió a dos viviendas por cada uno de los métodos en estudio.
- El seguimiento de los materiales se dio desde que fueron adquiridos por las empresas constructoras hasta que son dispuesto para una posterior recolección por parte de una

fuentes externas en forma de residuos. No se dio seguimiento a la disposición que se le den a los mismos posterior a la salida del proyecto.

- La cuantificación de la totalidad de los materiales que ingresaron se realizó a través de listas de materiales proporcionadas por las desarrolladoras, en el caso de la empresa B los totales de bloques y armadura fueron proporcionados directamente por el proveedor.

1.2.3.2 Limitaciones

- Las pautas y prácticas constructivas diferenciadas en cada empresa son una variable intrusora al comparar cual sistema constructivo modular genera más residuos, sin embargo, como esto depende de muchos factores sociales, no es una variable a detallar dentro del análisis, sino que se aborda de manera general.
- Por temas de Covid-19 las construcciones presentaron atrasos, debido a la disminución de personal, sin embargo, se extiende el tiempo de investigación y se logra recolectar los datos para la totalidad de las construcciones hasta su etapa final.
- Se maneja un grado de incertidumbre en la toma de datos proporcionados por la balanza, pues esta es de uso industrial. Además, se dependió de la disposición de la empresa para realizar las mediciones de los residuos generados debido a las restricciones generadas por la pandemia de Covid-19.
- Es importante aclarar que, no hay certeza de que los residuos encontrados en los diferentes proyectos en estudio no contuvieran residuos de otras viviendas excluidas del análisis, a pesar de mantener una separación delimitada para los residuos. Esto debido a que no existió un monitoreo continuo de la separación de los residuos, por ejemplo, como se mencionó anteriormente en la empresa A existió una rotación constante del personal, lo que dificultó que el personal nuevo estuviera informado de la dinámica de separación de residuos. Esta situación no es exclusiva de los residuos de block, sino que se repite para el resto de residuos.

2. Marco teórico

2.1 Definiciones

Residuos Sólidos

Se consideran desechos o residuos de construcción y demolición aquellos que se generan en el entorno urbano y no se encuentran clasificados dentro de los comúnmente conocidos como Residuos Sólidos Urbanos (residuos domiciliarios y comerciales), ya que su composición es cuantitativa y cualitativamente distinta. Por lo que cuantificar y caracterizar los residuos propicia una adecuada gestión y permite que se desarrolle una disminución y manejo correcto de los mismo, contribuyendo a minimizar el impacto negativo de la construcción en el ambiente (Leandro, 2007)

Por otro lado, en el informe sobre el manejo de los desechos de construcción se establece que la composición y cantidad de desechos generados por las actividades de construcción dependen directamente de varios aspectos; del proceso donde provengan, es decir, si son de demolición o estructuras nuevas y de la tecnología utilizada en los procesos. (Leandro, 2007)

Si bien no se menciona el método constructivo como una variable se puede generar una diferencia, para esta investigación si se contempla como tal, es por ello que se debe cuantificar para determinar qué tan determinante puede ser este aspecto para ser considerado como un parámetro directo de medición.

Cruz (2015), menciona un listado en el cual se clasifican los residuos de construcción más comunes, los cuales se presentan en el siguiente cuadro.

Cuadro 1. Caracterización basada en las categorías generales de residuos comunes en la construcción

Tipo de residuo	Categoría	Razonamiento
Asfaltos, restos de membranas aislantes, pinturas asfálticas impermeabilizantes, mezcla bituminosa	Peligroso	Son productos inflamables, pueden además contaminar el suelo con trazas de metales pesados y otras sustancias
Bloques: restos de ladrillos rotos, descartes, losetas cerámicas	Inerte	No reacciona, pero generan grandes volúmenes
Hormigón simple sin acero, restos de mezclas de cemento y cal	Inerte	No reacciona pero generan grandes volúmenes
Teja cerámica	Inerte	
Vidrio: Espejos, ventanas, decorativos	Inerte	No reacciona pero su manipulación debe seguir normas de seguridad
Tierra, polvo y suelo	Inerte	No reacciona, orgánicos en pequeñas cantidades
Porcelanas	Inerte	No reacciona
Metales ferrosos: hierro	Inerte	Susceptible al óxido
Metales no ferrosos: perfiles de bronce, cables de cobre, tubos galvanizados, aluminio, entre otros	Inerte	Si se oxidan pueden producir compuestos que se incorporan al suelo y lo contaminan
Madera; restos de encofrados, restos de pisos entabladas, machimbres, restos de vigas, marcos, puertas	No inertes en algunos casos y potencialmente peligroso en otros	Para el caso de maderas tratadas con productos químicos se deben separar del resto
Plásticos; cañerías, guardacantos, láminas de polietileno, pisos de vinilo	Potencialmente peligrosos	En caso de algunos plásticos que al quemarse pueden librar toxinas
Envoltorios, envases	Inertes algunos y potencialmente peligrosos otros	Si han estado en contacto con sustancias químicas como pinturas, solventes, agroquímicos o similares
Techados; aislantes (polietileno expandido, lana de vidrio, membranas)	Inertes y algunos potencialmente peligrosos	Algunos de estos residuos si se incineran pueden emitir gases tóxicos
Revestimientos cerámicos y calcáreos	Inerte	No reacciona
Papel, cartón corrugado, envoltorio de papel	Inerte	Siempre y cuando estén libres de otros residuos químicos peligrosos

Fuente: Cruz, 2015

Según Abarca y Leandro (2016), es común que la mayoría de las empresas no guarden registros de la cantidad total de residuos que generan y alrededor de un 22% de las empresas desconozcan el destino final que se les da. Este desconocimiento es una de las causas que propicia la generación de residuos, pues no son conscientes de la situación y no toman medidas al respecto. El conocer el problema permite implementar prácticas que aumenten la productividad al generar un aprovechamiento de los recursos. Además, disminuir la cantidad de desechos no solo genera un menor impacto al ambiente, sino que propicia un ahorro económico, debido a un mejoramiento en el manejo de cantidades compradas y utilizadas, se incentiva la reutilización y el reciclaje y disminuye la factura por disposición de residuos en el proyecto.

Tasa de generación e índice de residuos

Con el peso de los residuos generados por cada proyecto y la lista total de material adquirido para cada vivienda, se pretende obtener la tasa de generación de residuos sólidos y el índice de los materiales, para ello se utilizarán las siguientes fórmulas.

Tasa de generación: Corresponde a la cantidad de residuos sólidos generados entre el número de metros cuadrados de área construida.

$$Tasa\ de\ generación = \frac{Cantidad\ de\ residuos\ sólidos\ generados}{Área\ de\ construcción} \quad (1)$$

Conocer la tasa de generación es de importancia para el país, ya que permite definir estrategias para el manejo de los residuos sólidos del Ministerio de Salud y reglamentos o normas ambientales para las municipales.

Índice de residuos: Corresponde a la cantidad porcentual de residuos sólidos generados en relación a la cantidad total de material adquirido.

$$Índice\ de\ residuos = \frac{Cantidad\ de\ residuos\ sólidos\ generados}{Cantidad\ total\ de\ material} * 100 \quad (2)$$

El índice de residuos sólidos es de importancia para la política pública del país, pues permite desarrollar guías de manejo de los residuos, tanto para instituciones públicas, sector privado y organizaciones sociales y comunales.

De esta manera se podrán comparar los resultados para cada una de las cuatro viviendas seleccionadas. De igual manera se podrá analizar la diferencia entre la tasa de generación y el índice de residuos, entre viviendas modulares y no modulares.

Mampostería integral modular

Según indica Fernández (2015), los sistemas modulares se implementan en Costa Rica a partir del año 1991, con el fin de disminuir el desperdicio y fomentar la productividad constructiva y económica. Además, define la mampostería modular como el principio de que el ancho del bloque sea múltiplo de su longitud, para ajustarse a los distintos diseños arquitectónicos sin comprometer la calidad estructural de la obra. Este sistema permite realizar intersecciones con los mismos bloques sin necesidad de fragmentarlos, lo que reduce la cantidad de residuos de bloques de concreto generados en la mampostería tradicional.

El concepto modular se maneja utilizando una longitud conocida como módulo base M , con cuyos múltiplos se realiza el diseño, es decir, las longitudes de las paredes se diseñan como múltiplos de M . El módulo M es de 10 cm.

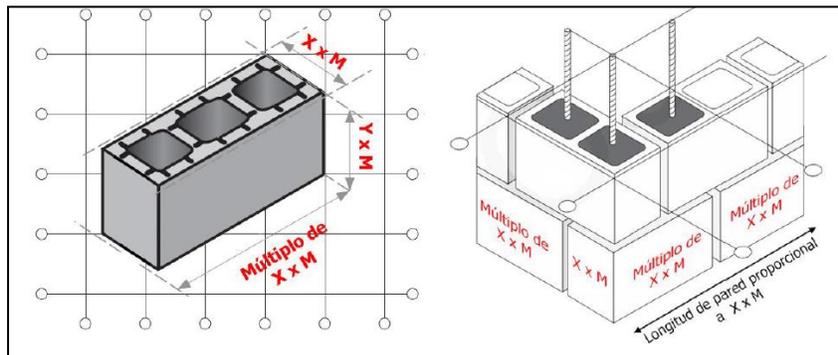


Figura 2. Metodología Modular

Fuente: Fernández, 2015

En la Figura 2, se observa como el ancho es de "X" número de veces el módulo base M y su longitud es proporcional al valor de "X x M".

El espesor de las paredes que resisten las cargas de sismo no deben ser inferior a 12 cm. En paredes que soportan entrepisos, el espesor mínimo es 15 cm. Las paredes de mampostería integral pueden incluir columnetas de concreto para soportar cargas verticales, para lograr confinamiento o para otros objetos, estos elementos deben tener una dimensión mínima de 12x15 cm, con al menos cuatro varillas longitudinales #3 y aros #2 cada 20 cm. (CSCR, 2010)

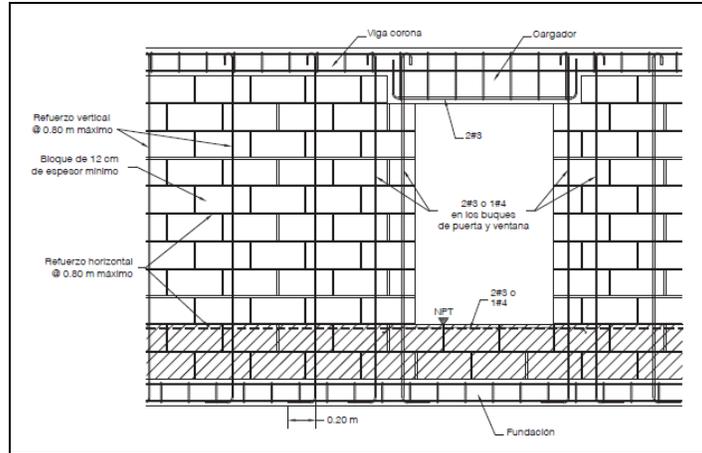


Figura 3. Elevación de pared mampostería con refuerzo integral

Fuente: Código Sísmico de Costa Rica, 2010

Mampostería confinada

La mampostería confinada es aquella donde los bloques son confinados perimetralmente por elementos de hormigón armado, acero estructural o madera (Poveda, 2014)

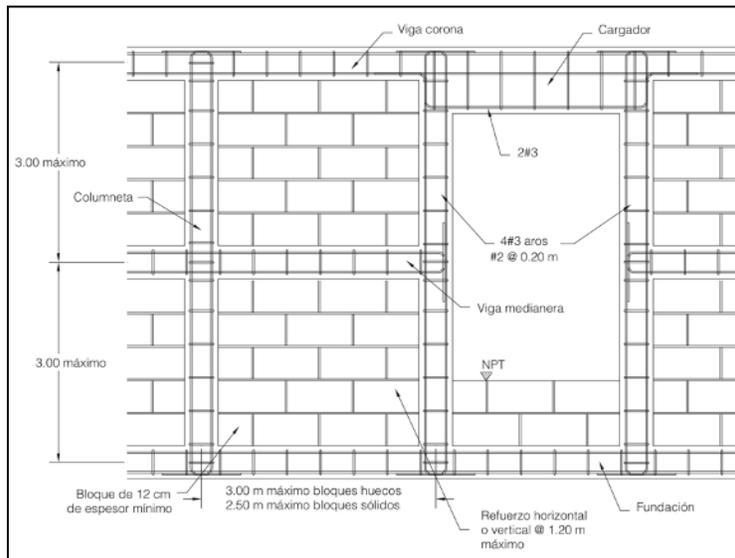


Figura 4. Elevación de pared mampostería confinada

Fuente: Código Sísmico de Costa Rica, 2010

2.2 Sistemas constructivos modulares

Sistema de bloques modulares Integra

Los bloques tipo Integra PC presentan bloques de una, dos y tres cavidades, todos con un ancho de 12 cm y una altura de 18.6 cm. Los bloques con una cavidad tienen 12 cm de largo, los de dos cavidades tienen 25.33 cm de largo y los de tres celdas poseen un largo de 38.66 cm.

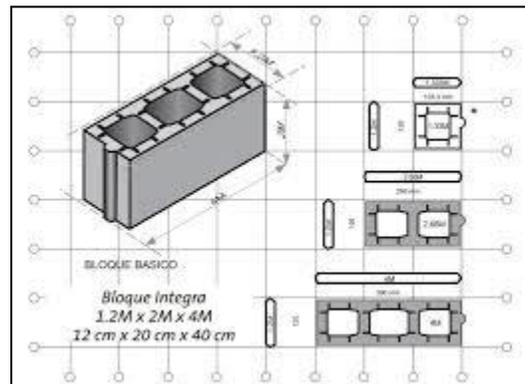


Figura 5. Detalle de bloque integra PC

Fuente: Manual Técnico PC, Productos de Concreto S.A, 2019

Estos bloques pertenecen a la mampostería modular debido a que, las proporciones del bloque permiten hacer esquinas o intersecciones en "T" sin tener que cortar los bloques o engrosar las sisas reduciéndose así el desperdicio (PC, 2019)

Sistemas de bloques modulares Armabloque

El sistema Armabloque cuenta con tres tamaños de bloques modulares de concreto los cuales presentan medidas de 15cmx20cmx15cm, 30cmx20cmx15cm y 45cmx20cmx15cm, cuentan con una resistencia superior a 133 Kg/cm³. Cualquier pared se puede construir con una modulación previa, desde la planificación del proyecto.

A diferencia del sistema modular con bloques Integra, este sistema entrega al desarrollador todos los elementos de la etapa gris del proyecto, como lo son vigas de fundación, columnas y entrepisos. El material está diseñado para sostener edificios de hasta cinco pisos.

ARMABLOQUE 15		BLOQUE MODULAR 15CM																			
<p>La mampostería utilizando bloques de concreto es el sistema constructivo más utilizado en nuestro medio para todo tipo de proyectos. Entre las razones principales de su amplia aceptación en el mercado de la construcción están la facilidad y práctica constructiva, así como su resistencia y buena conformación estructural. Los bloques modulares Armabloque son fabricados con la más alta tecnología. Los tres tamaños de bloques aseguran la reducción de desperdicios ya que no requieren ser cortados para colocarlos en la construcción.</p>																					
<p>COLOR</p> <p>- GRIS.</p> <p>*Otros colores están disponibles por pedido especial. Puede presentarse una ligera variación de color y acabados entre piezas de una misma producción o diferentes producciones.</p>		<p>DATOS TÉCNICOS</p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Tamaño pieza nominal</td> <td>13.5 x 20 x 15 cm</td> </tr> <tr> <td>Tamaño pieza real</td> <td>13.5 x 19 x 13.5 cm</td> </tr> <tr> <td>Peso por unidad</td> <td>4.6 Kg</td> </tr> <tr> <td>Peso por cubo</td> <td>1,449 Kg</td> </tr> <tr> <td>Unidades por cubo</td> <td>-- Unidades</td> </tr> <tr> <td>Piezas por m²</td> <td>33.3 Unidades</td> </tr> <tr> <td>Resistencia mínima a la compresión</td> <td>133 kg/cm²</td> </tr> <tr> <td>Tolerancia medidas</td> <td>± 3 mm</td> </tr> <tr> <td>Normas técnicas aplicables</td> <td>INTE C90 (INTE 06-03-01) ASTM C90 INTE C50 (INTE 06-02-13) ASTM C140</td> </tr> </tbody> </table>		Tamaño pieza nominal	13.5 x 20 x 15 cm	Tamaño pieza real	13.5 x 19 x 13.5 cm	Peso por unidad	4.6 Kg	Peso por cubo	1,449 Kg	Unidades por cubo	-- Unidades	Piezas por m ²	33.3 Unidades	Resistencia mínima a la compresión	133 kg/cm ²	Tolerancia medidas	± 3 mm	Normas técnicas aplicables	INTE C90 (INTE 06-03-01) ASTM C90 INTE C50 (INTE 06-02-13) ASTM C140
Tamaño pieza nominal	13.5 x 20 x 15 cm																				
Tamaño pieza real	13.5 x 19 x 13.5 cm																				
Peso por unidad	4.6 Kg																				
Peso por cubo	1,449 Kg																				
Unidades por cubo	-- Unidades																				
Piezas por m ²	33.3 Unidades																				
Resistencia mínima a la compresión	133 kg/cm ²																				
Tolerancia medidas	± 3 mm																				
Normas técnicas aplicables	INTE C90 (INTE 06-03-01) ASTM C90 INTE C50 (INTE 06-02-13) ASTM C140																				
																					

Figura 6. Detalle de bloque Armabloque

Fuente: Armabloque, 2020

2.3 Legislación Vigente

Plan de Residuos Sólidos (PRESOL): Plan de Acción estratégica del programa de Competitividad y Medio Ambiente (CYMA)

Acción estratégica de residuos de la construcción y escombros: Se crea con el objetivo que los residuos provenientes de la construcción y escombros sean reducidos, manejados, reciclados o dispuestos en sitios autorizados.

Plantea estrategias como capacitaciones para la reducción y reciclaje, crear una normativa actual mejorada que fomente el reúso y reciclaje de estos residuos, además de construir sitios de disposición final y centros de acopio y reciclaje específicos para residuos del sector, entre otras. Con estas estrategias pretende sensibilizar a los constructores, arquitectos y desarrolladores de proyectos acerca de los impactos ambientales, materiales peligrosos y conceptos de separación en la fuente, reducción y reciclaje.

Ley para la Gestión Integral de Residuos Sólidos (Ley No. 8839)

Esta ley rige en Costa Rica desde 24 de julio de 2010, esta Ley tiene por objetivo 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. Esta Ley define que la que la autoridad rectora para la gestión de los residuos es el Ministerio de Salud.

Para los efectos de esta Ley y los reglamentos que de ella se deriven, la gestión integral de residuos debe hacerse según el artículo 4 de la Ley No. 8839 (2010) de acuerdo con el siguiente orden jerárquico:

- Evitar la generación de residuos en su origen como un medio para prevenir la proliferación de vectores relacionados con las enfermedades infecciosas y la contaminación ambiental.
- Reducir al máximo la generación de residuos en su origen.
- Reutilizar los residuos generados ya sea en la misma cadena de producción o en otros procesos.
- Valorizar los residuos por medio del reciclaje, el co-procesamiento, el resamblaje u otro procedimiento técnico que permita la recuperación del material y su aprovechamiento energético. Se debe dar prioridad a la recuperación de materiales sobre el aprovechamiento energético, según criterios de técnicos.
- Tratar los residuos generados antes de enviarlos a disposición final.
- Disponer la menor cantidad de residuos, de manera sanitaria, así como ecológicamente adecuada.

Reglamento General a la Ley para la Gestión Integral de Residuos (Decreto No. 37567-S-MINAET-H)

Entró en vigencia el 19 de marzo de 2013, tiene como objetivo regular la gestión de los residuos a nivel nacional, reglamentando para ello en forma general la ley No. 8839 "Ley para la Gestión Integral de Residuos", a fin de asegurar el trabajo articulado en la gestión integral de residuos para prevenir riesgos sanitarios, proteger y promover la calidad ambiental, la salud y el bienestar de la población. (Decreto No. 37567, 2013, art. 1)

En el artículo 3 de este reglamento se menciona que el Ministerio de Salud emitirá las directrices para el proceso de la formulación, ejecución, evaluación y actualización periódica de la Política Nacional y el Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos. La aplicación de este proceso se hará en coordinación con el Ministerio de Ambiente, Emergía y Telecomunicaciones (MINAET), el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) y los representantes de las organizaciones que conforman la Plataforma consultiva. La anterior, estará conformada por un representante de cada una de las siguientes organizaciones: Ministerio de Educación Pública (MEP), Instituto de Fomento y Asesoría Pública (IFAM), Unión Nacional de Gobiernos Locales (UNGL) en representación de las

municipalidades, y un representante del sector de las Organizaciones no gubernamentales a la gestión de residuos que trabajen a nivel nacional.

Además, señala que las municipalidades, como responsables de la gestión integral de residuos generados en su cantón, deben elaborar e implementar en forma participativa un Plan Municipal de Gestión Integral de Residuos, en concordancia con las políticas nacionales afines y el Plan Nacional para la Gestión Integral de Residuos. Para lograr lo anterior, está disponible el Manual para la Elaboración de Planes Municipales de Gestión Integral de Residuos Sólidos, que orienta paso a paso en la elaboración de dicho instrumento de planificación, el cual será utilizado a conveniencia de las municipalidades y puede ser consultarse en la página electrónica del Ministerio de Salud. (Decreto No. 37567, 2013, art. 20)

Reglamento para la declaratoria de residuos de manejo especial (Decreto No. 38272-S)

Entró en vigencia en marzo del 2014. Este reglamento tiene como objetivos establecer criterios generales y el procedimiento general para la gestión de los residuos declarados como residuos de manejo especial; establecer los diferentes niveles de responsabilidad y proponer formas de organización y participación en el manejo de los residuos de manejo especial por parte de los productores, importadores, distribuidores, comercializadores, generadores, y gestores; así como de las municipalidades. Además, promueve a través de los Planes de Cumplimiento y los Planes Municipales de Gestión Integral de Residuos Sólidos, la reducción de los residuos de manejo especial enviados a tratamiento y a sitios de disposición final. (Decreto No. 38272-S, 2014, art. 1)

En dicho reglamento se declaran los residuos que son catalogados de manejo especial entre ellos se encuentran llantas usadas, baterías ácido plomo, pilas, aires acondicionados, refrigeradoras, transporte de frío y equipos de refrigeración industrial, aceite lubricante usado, envases plásticos para contener aceites lubricantes, envases metálicos, plástico y vidrio para contener agroquímicos (después del triple lavado), artefactos eléctricos (línea blanca), artefactos electrónicos, fluorescentes y bombillos compactos, refrigerantes, colchones, poliestireno (estereofón) y la chatarra.

Resolución de la SETENA: Guía Ambiental de la Construcción (Res. No. 479-2014)

Vigente desde el 12 de Marzo de 2014, este es un instrumento "técnico de referencia para la planificación y ejecución ordenada y sistemática de medidas ambientales de prevención, corrección, mitigación, minimización o compensación para aquellas acciones de la actividad constructiva que puedan causar efectos significativos en el medio ambiente y a su vez, servir como medio de estandarización de la gestión ambiental dentro de un proceso de consenso y mejoramiento de la eficiencia del trámite de la Evaluación Ambiental". (Res. No. 479-2014, 2014, art. 1)

En ella se encuentran las medidas a considerar durante cada una de las fases constructivas de un proyecto. Presenta dos grandes partes: las medidas ambientales para acciones específicas y las de gestión ambiental por temas.

En su artículo 17 menciona; "que el proyecto debe desarrollar toda una gestión ambiental de los residuos sólidos encaminada a prevenir impactos en el paisaje del área del proyecto, así como de su entorno inmediato, o bien efectos en el suelo y las aguas debido a que se entierran o se disponen en un cauce cercano o contaminación del aire por quema de la basura ".

Es necesario desarrollar buenas prácticas ambientales a fin de impulsar una actividad constructiva en armonía con el ambiente, para lo cual se deberá tener en cuenta:

- Transportar los escombros a sitios previamente autorizados en el permiso de construcción.
- Tratar los escombros conforme lo establece la legislación vigente en el país en materia de residuos sólidos ordinarios y peligrosos.
- Remover los escombros de la zona a la mayor brevedad y llevarlos a sitios de acopio o sitios de disposición final. Está prohibido establecer sitios de acopio en las zonas de riesgo y en las áreas de protección de los cauces y cuerpos de agua.
- Evitar la quema de basura.
- Almacenar los desechos peligrosos separados de los desechos sólidos ordinarios.

3. Metodología

En esta sección se explica cada una de las etapas llevadas a cabo para la realización de la presente investigación. En la figura 2, se aprecia el orden en que se realizó cada una de las etapas.

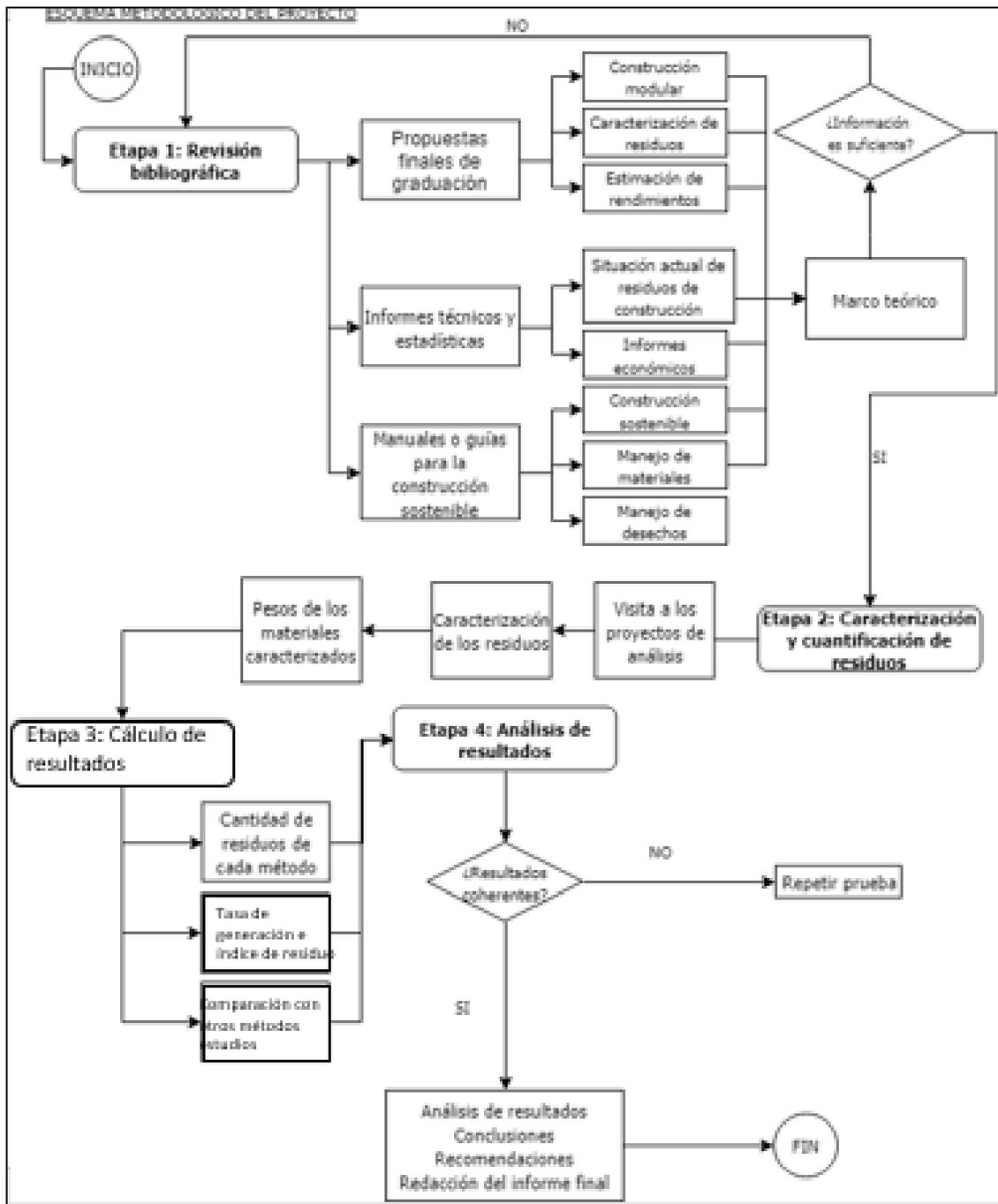


Figura 7. Esquema metodológico

3.1 Etapa 1: Revisión bibliográfica

En esta primera etapa se recopiló información asociada a investigaciones posteriores relacionadas con el abordaje que se le han dado a los residuos de construcción. Se verificó la calidad de la documentación, basado en el lugar de publicación. A partir de esta información se elaboró una estrategia metodológica que permite abordar los objetivos que se han planteado.

3.2 Etapa 2: Caracterización y cuantificación de residuos

Basados en los resultados de la etapa anterior, se establecen los parámetros y métodos más eficientes para la recopilación de datos en campo. Esto permite caracterizar y cuantificar los residuos de manera tal que aporten los datos primarios necesarios para generar el informe sobre los principales residuos y su cuantificación.

Se realizaron visitas de reconocimiento a los proyectos que permitieron establecer un primer canal de diálogo con los encargados del proyecto y establecer estrategias para la ubicación de los residuos a caracterizar y pesar, así como de la báscula. Además, se solicitaron documentos como planos arquitectónicos y listados de materiales, para conocer los tipos de residuos a clasificar y que exista una homologación entre ambas empresas en cuanto a las categorías y generar una comparación directa entre los dos métodos de estudio.

La caracterización de residuos se llevó a cabo en dos proyectos inmobiliarios a cargo de empresas diferentes, por motivos de confidencialidad de las empresas de ahora en adelante se hará referencia a las empresas como empresa A y B, respectivamente. En cada una de las empresas se estudiaron dos casas, las cuales se denominarán 1A, 2A, 1B y 2B respectivamente.

Método de análisis de muestra

Según Díaz (2015), existen diferentes metodologías para el estudio de las muestras de residuos derivadas de la construcción, entre ellos:

- Análisis de pesada total: Consiste en pesar la totalidad de las muestras de los residuos, implica el pesaje en báscula de un número de cargas.
- Análisis peso-volumen: Se determina tanto el peso como el volumen de las muestras de residuos, consiguiendo las densidades sueltas y compactadas.
- Análisis por muestreo estadístico: Implica la toma de un número de muestras de residuos sólidos, durante un tiempo, determinándose los pesos totales y de sus componentes. Determinando la tasa de generación y su composición.

Para este proyecto se realizó el análisis de pesada total, ya que las visitas de campo consistían en el pesaje total de los residuos de cada una de las casas. En la empresa A el primer pesaje se realizó el 27 de febrero del 2020 y culminando el 28 de agosto del mismo año, en la empresa B se iniciaron las mediciones el 24 de enero del 2020 y se culminó el 26 de noviembre del 2020, para un total de diez meses. En promedio para ambas empresas la ejecución de los proyectos se realiza en un tiempo de cinco a seis meses, sin embargo, a raíz de la pandemia del COVID-19 se presentaron atrasos en los tiempos de ejecución, en este período de medición (2020) el gobierno decretó dos semanas en las cuales únicamente se podían desarrollar actividades de primera necesidad, por lo que el sector construcción presentó afectaciones. En el caso particular de la empresa B, hubo una disminución del personal en la obra, lo que aumento los tiempos de ejecución de los proyectos. La pandemia ocasionó un proceso desacelerado del sector construcción, paralizando las construcciones.

Los registros de generación se realizan por medio de listas que contienen la clasificación de los materiales, el peso registrado, la etapa constructiva en que se generaron y la cantidad de material que se solicitó para la vivienda en estudio, esto permite comparar la tasa de generación. Se utilizó una báscula marca Sonic para una capacidad máxima de 180 Kg, esta cuenta con una base metálica, en la cual se colocaban los materiales más grandes o se utilizaban baldes para colocar los residuos más pequeños, el balde se taraba previo a colocarle el material a pesar.



Figura 8. Báscula utilizada para pesaje de residuos.

3.3 Etapa 3: Análisis y resultados

A partir de los datos obtenidos, se comparan los pesos de entrada con los pesos de salida de los materiales de cada casa. Este análisis se realizará por tipos de residuos generados en cada etapa constructiva, logrando una comparación más directa y así determinar cuál método es más eficiente en cada proceso en cuanto a tasas de generación de residuos, para ello se utilizó como herramienta de cálculo el programa Excel.

Este análisis permite evidenciar las causas de generación de residuos, lo que conlleva a establecer soluciones que integren los procesos constructivos más eficientes en cada etapa del proyecto. Finalmente, se plantean las principales diferencias entre los dos métodos constructivos en estudio.

Para la obtención de datos, se realizaron visitas semanales en el proyecto A las cuales se realizaban los días miércoles o viernes según lo indicara el ingeniero residente o el maestro de obras, consecuencia de la pandemia por el COVID-19 la empresa presentó una alta rotación del personal, esto influyó directamente en la recolección de datos, pues cada semana se debía explicar a la cuadrilla la dinámica de almacenamiento de los residuos, y en ocasiones algunos desechos habían sido trasladados al acopio general del proyecto.

4. Descripción general del objeto de estudio

El objeto de estudio para la presente investigación comprende las fases de obra gris y acabados de manera completa para un total de 4 viviendas, de las cuales dos corresponden a la empresa A, la cual utiliza el sistema Armabloque y las otras dos pertenecen a la empresa B que utiliza sistema modular con bloques de concreto Integra. Ambos proyectos se localizan dentro del Gran Área Metropolitana, específicamente en la provincia de Heredia, poseen la similitud de ser desarrollos urbanísticos de viviendas unifamiliares en serie.

4.1 Proyectos en estudio

4.1.1. Ubicación geográfica y temporal

Ambas empresas tienen sus proyectos en la provincia de Heredia, cantón de Heredia, el proyecto en estudio de la empresa A se ubica en el distrito de Ulloa mientras que el proyecto de la empresa B se ubica en el distrito Mercedes.

En cuanto a la ubicación temporal para la empresa A la medición de los residuos sólidos se realizó entre los meses de febrero y septiembre del 2020, para una duración aproximada de 6 meses. Por otro lado, para la empresa B la toma de datos se realizó desde finales de enero hasta noviembre del 2020, es importante recalcar que el promedio de construcción de las viviendas de la empresa B es de 5 a 6 meses, sin embargo, por el recorte de personal debido a la pandemia, la empresa B enviaba al personal a otro desarrollo urbanístico pertenecientes a la misma empresa, por lo que provocó parálisis temporales en los proyectos 1B y 2B.

4.1.1.2. Distribución arquitectónica

4.1.1.2.1. Proyecto 1A

El proyecto está constituido de dos niveles con un total de 134.20 m² de construcción

- El primer nivel cuenta con un garaje para dos vehículos, un baño de visitas, sala, cocina, comedor, área de lavado y patio.
- El segundo nivel consta de una habitación principal con su respectivo walk in closet, un baño completo y dos habitaciones secundarios.

En la parte de acabados se cuenta con:

- Pisos de porcelanato importado.

- Muebles de cocina, closet y baños son de melanina de 15 mm texturizada, el color es a elegir por el cliente. Estos vienen con las medidas listas para instalar.
- Sobre de cocina en granito natural.
- Sobre de baños son en mármol.



Figura 9. Distribución arquitectónica proyecto 1A.

Fuente: Empresa A, 2020

4.1.1.2.2. Proyecto 2A

Este proyecto posee un área de construcción de 118.54 m² constituidos de la siguiente manera:

- Un primer nivel con cochera para dos vehículos, medio baño, cocina, área de lavado, comedor, sala y patio.

- El segundo nivel cuenta con una habitación principal con baño y walk in closet, un baño completo y una habitación secundaria.

Este proyecto presenta las mismas características en acabados que el proyecto 1A.



Figura 10. Distribución arquitectónica proyecto 2A.

Fuente: Empresa A, 2020

Cabe destacar que en el caso de ambos proyectos los acabados de muebles, sobres y puertas son realizados por el mismo contratista, siendo este quien retira del proyecto todos los sobrantes de material por lo que no se realizan los pesajes ya que estos son reutilizados por el mismo contratista.

4.1.1.2.3. Proyecto 1B y 2B

Los proyectos 1B y 2B poseen la misma distribución arquitectónica para un área por proyecto de 128 m², constituidos de la siguiente manera:

- El primer nivel cuenta con una cochera para dos vehículos, sala, cocina, comedor, área de pilas y medio baño.
- El segundo nivel está conformado por una sala de TV, un dormitorio principal con un vestidor y baño completo, dos dormitorios secundarios y un baño completo.

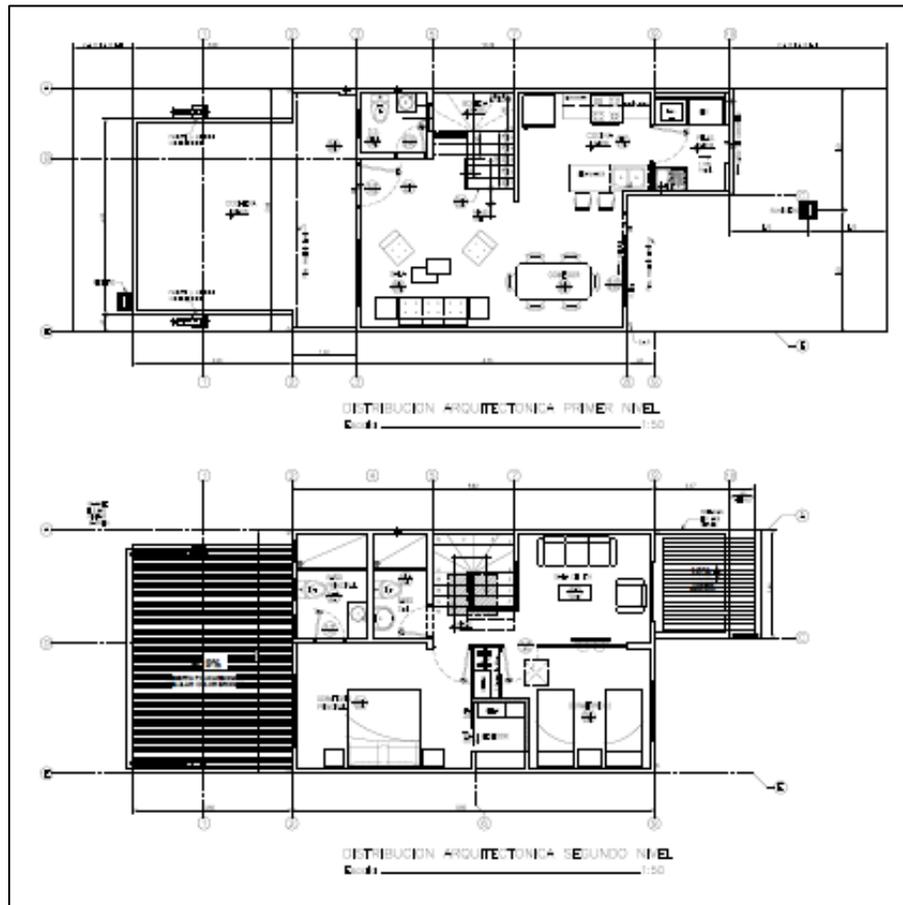


Figura 11. Distribución arquitectónica de los proyectos 1B y 2B.

Fuente: Empresa B, 2020

4.2 Adquisición de materiales

En este apartado se describe de manera general las principales actividades del proceso constructivo en las cuales se generan residuos.

En el Cuadro 1, se presenta un resumen de las cantidades de materiales adquiridos por parte de las empresas para cada uno de los proyectos. Las cantidades son definidas según el diseño de vivienda a desarrollar, los materiales se almacenan en una bodega destinada para la totalidad de los proyectos, y se despachan según avances de cada uno de los proyectos.

Cuadro 2. Resumen de adquisición de materiales

Material	Cantidad (Kg)		
	Proyecto 1A	Proyecto 2A	Proyectos 1B- 2B
Concreto premezclado	41760	39000	58800
Block	30557.4	30644.4	29472.55
Acero	3208.74	3852.09	3923.19
Mortero de pega	5600	6000	4720
Repello grueso	5200	6000	7583.6
PVC	187.79	162.78	263.21
Madera	440.54	440.54	110.2
Hierro	230.8	243.01	345.32
Revestimiento cerámico y porcelanto	2418.92	3835.75	3539.42
Teja asfáltica	-	-	220.16
Lámina de yeso	1084.59	1269.84	1290.57
Perfiles de aluminio	100.31	73.44	52.18

Fuente: Presupuestos empresa A y B, 2020.

En el caso específico de la empresa A, donde el acero es suministrado por la empresa Armabloque, se desconoce la cantidad de acero que ingresa al proyecto. Para el cálculo del acero de ingreso, la empresa Armabloque proporcionó los planos estructurales de los cuales se calculan las cantidades de acero por diseño, ver 8.1 Anexo A: Planos estructurales armabloque. Según indica la ingeniera Tatiana Hidalgo de Armabloque, la empresa desconoce las cantidades de acero utilizados en la elaboración de los diseños estructurales, (T. Hidalgo, comunicación personal, abril 27, 2021).

4.3 Proceso constructivo

4.3.1 Concreto Premezclado

En ambas empresas se utilizó concreto premezclado de la concretera AMCO, con las siguientes especificaciones: una resistencia de 210 Kg/cm² a los 28 días. Este material se utilizó para la etapa de fundaciones y entrepiso. En todos los casos el producto es trasladado directo de la planta de producción, para la etapa de losa flotante (fundaciones) en los cuatro proyectos la descarga es directa, en la etapa de entrepiso la descarga se da mediante bombeo con un brazo telescópico.

4.3.2 Madera para encofrado

Las empresas utilizan paneles de hierro con lámina fenólica, esto permite reutilizarlos ya que su vida útil es mayor a la formaleta elaborada con tabla. Sin embargo, se utilizan tablas de madera suave, sin cepillar para el encofrado de las gradas, como puntales en los marcos de ventanas, así como codales. La madera utilizada para este tipo de actividades no se puede reutilizar para actividades posteriores.

4.3.3 Armadura de acero

Para la adquisición del acero la empresa A contrata a la empresa Armabloque la cual suministra la armadura, aros, varilla para la construcción de mochetas y varilla para refuerzo vertical y horizontal de paredes.



Figura 12. Armadura suministrada por Armabloque.

En la empresa B se realiza la solicitud de varilla por unidades de la lista de materiales según el diseño y las armaduras son elaboradas en sitio.

4.3.4 Contrapiso y entrepiso

Finalizada la colocación de la armadura de acero, las previstas eléctricas y mecánicas se procede con la chorrea del contrapiso como parte del sistema de losa flotante, implementado por ambas empresas. Una vez colado el contrapiso se puede iniciar con la colocación de los bloques de mampostería.



Figura 13. Losa flotante proyectos 1B y 1A, respectivamente.



Figura 14. Contrapiso proyecto 2B.

En la conformación del entepiso, la empresa A utiliza un sistema de viguetas prefabricadas y láminas de estereofón, todos los elementos son proporcionados por la empresa Armabloque, las viguetas deben orientarse con el lado rugoso hacia arriba, para obtener adherencia con el concreto. La empresa B utiliza un sistema de viguetas pretensado y bloques de concreto.



Figura 15. Sistema de entepiso empresa A y empresa B, respectivamente.

4.3.5 Paredes de mampostería

Para el levantamiento de las paredes, ambas empresas utilizaron bloques de concreto tipo A, en el caso de la empresa A utiliza tres dimensiones de bloques diferentes: la empresa B utiliza los bloques Integra de PC tipo Patarrá con las dimensiones de 12x20x40 cm y de 12x20x26 cm.

Ambas empresas utilizan mortero de pega block preempacados, en ambos casos las empresas utilizan pega block tipo S de INTACO.



Figura 16. Mortero de pega utilizado en la empresa A y B.

Para el relleno de las celdas de los bloques con refuerzo vertical, utilizan concreto hecho en sitio, en el caso particular de la empresa A se observó que disponían los empaques de mortero de pega y cemento en las celdas de los bloques.

4.3.6 Acabado de paredes

En ambas empresas se realiza un mismo proceso de acabado de paredes en mampostería, iniciando con un repello grueso de aproximadamente 1 cm de espesor, seguidamente una capa de pasta extra fina; ambas empresas utilizan productos preempacados, que únicamente requieren de la adición de agua.

En los proyectos 1A y 2A el proceso de aplicación del repello grueso se hace con llaneta, en los proyectos 1B y 2B se utiliza una monomix para proyectar el repello. En todos los proyectos del estudio se utilizan codales como guía para la colocación del repello, de igual manera el repello que cae sobre el piso se descarta en ambos casos, ya que puede presentar contaminación y afectar el acabado final.



Figura 17. Repello grueso empresa A y repello grueso proyectable empresa B.

4.3.7. Colocación de la cubierta de techos

La colocación de la cubierta de techo es la etapa final para dar por concluida la obra gris del proyecto. En la empresa A la mano de obra para realizar la estructura y colocación de las láminas de zinc es subcontratada, la empresa B cuenta con mano de obra propia para llevar a cabo la estructura de techo.

En el caso particular de las láminas de zinc no se cuantificaron residuos, ya que las cubiertas se fabrican e instalan a la medida requerida por el proyecto, de manera que se utilicen completas. Para la estructura de techo la empresa A utiliza perfil C de 70x50x1.5mm galvanizado, perlín 2x3" y tubo de 4x4", por otro lado, la empresa B utiliza perfil C de 50x100x1.5mm y tubo de 50x100x1.5 mm galvanizados. Como parte de los residuos generados en la empresa B se cuenta con un desperdicio de teja asfáltica, material que no es utilizado en la empresa A.



Figura 18. Estructura de techos proyecto 1B y 2A, respectivamente.

4.3.8 Estructuras livianas

Para las estructuras livianas ambas empresas utilizan el stud o el furring como soporte entre láminas y el track como perfil de anclaje en estructuras de paredes partición o cielo rasos y las láminas de yeso como cerramiento. La empresa A construye la totalidad de sus paredes en mampostería, por lo que este tipo de sistema es utilizado solamente en cielo rasos y precintas. Por otro lado, la empresa B lo utiliza tanto para cielo raso del segundo nivel como para la construcción de las paredes internas en la bodega bajo las gradas y en el segundo nivel.



Figura 19. Uso de estructura liviana en los proyectos 2B y 1A, respectivamente.

4.3.9 Revestimientos cerámicos y porcelanatos.

En ambas empresas el revestimiento cerámico es utilizado en los pisos, rodapiés y paredes de baños. En el caso de la empresa A, el revestimiento también es utilizado en las paredes de cocina, en las áreas entre los sobres y los muebles aéreos. Los revestimientos utilizados en ambos proyectos para el área de pisos y gradas tienen dimensiones aproximadas de 40cm x 40cm.



Figura 20. Revestimiento para piso y cocina, proyecto 2A.

4.4 Toma de datos

Para iniciar con la toma de datos se realizan visitas previas a los proyectos para coordinar la logística para la disposición de los residuos en los diferentes proyectos, iniciar canales de comunicación con los principales encargados de las cuadrillas con el fin de explicar la metodología a seguir para la separación y disposición de los residuos. También se establece la frecuencia y días de las visitas.

4.4.1 Disposición de los residuos en los proyectos.

4.4.1.1. Empresa A

En el desarrollo urbanístico de la empresa A la construcción de viviendas no se genera por etapas, por el contrario, se maneja el concepto de inicio de construcción contra venta de la casa, lo que representa una disminución en el área de almacenamiento de los residuos pues las casas aledañas a los proyectos de estudio se encuentran habitadas. Para la disposición de los residuos se coordinó con el maestro de obras y el ingeniero residente el almacenamiento de los residuos en la parte trasera de cada uno de los proyectos, área donde se ubicará posteriormente el jardín trasero de la vivienda, esta área es la última en terminarse por lo que el almacenamiento de los residuos no interfiere con el resto de trabajos, se colocó un rótulo para identificar el área de disposición y número de proyecto.



Figura 21. Rotulación para disposición de residuos.

Debido al poco espacio de almacenamiento, la toma de datos se realizó de manera semanal, con la finalidad de retirarlos y así disminuir el volumen de residuos en los proyectos 1A y 2A. Otro aspecto a considerar fue la rotación de personal, al personal nuevo no se le informaba la dinámica para la disposición de los residuos. Esto ocasionó que muchos de ellos dispusieran los residuos en el sitio donde se originaban y no en el área prevista para su colocación temporal.



Figura 22. Disposición de los residuos en los proyectos 1A y 2A

Lo anterior, implicó que se tuvieron que recoger los residuos a lo largo de los proyectos en estudio y realizar su posterior separación según su caracterización, dicha rotación también influyó, pero en menor cantidad que algunos de los operarios dispusieran los residuos en los sitios de

almacenaje común para la totalidad del desarrollo inmobiliario o los mezclaban con los de otras viviendas.

Esta empresa realiza las construcciones bajo dos modalidades. En el proyecto 2A se le paga a un subcontratista que realiza la entrega llave en mano a la empresa y en el proyecto 1A se trabaja con personal directo de la empresa. Este aspecto se considerará en la fase de análisis como posible factor en la diferencia de generación de residuos de cada uno de los proyectos.

4.4.1.2. Empresa B

El desarrollo urbanístico de la empresa B se realiza por etapas por lo que se disponía de mayor espacio para la disposición de los residuos de los proyectos 1B y 2B, estos se colocaron de manera separada en diferentes bateas. Para ambos proyectos se pesó la totalidad de los residuos generados, esto debido a que el personal en las obras se mantenía constante y conocían la dinámica de recolectar los residuos posteriores a cada limpieza y colocarlos en las bateas de forma separada según el tipo de material.



Figura 23. Disposición de residuos en los proyectos 1B y 2B.

Para estos proyectos se coordinó con el maestro de obras para realizar los pesajes cuando existiera una acumulación significativa de residuos, es decir que al llenar las bateas con material se coordinaba la visita para el pesaje del material. Como se mencionó anteriormente esto fue posible por el espacio disponible y porque las bateas se colocaron en una zona previamente

establecida que no interfieran con las operaciones de la construcción ni se dispongan residuos que no correspondan a los proyectos en estudio.

De manera general ambas empresas durante el desarrollo de sus proyectos, almacenan los residuos de manera provisional en un área designada del proyecto. En la empresa A estos residuos son dispuestos en el relleno sanitario, según indica el ingeniero residente, algunos proveedores con acuerdos previos disponen de algunos residuos, como en el caso de Armabloque que se retira los residuos de polietileno, Protecto los residuos de pintura y SUR los envases de pintura. En la empresa B, todos los residuos de materiales cementicios son dispuestos en contenedor y posteriormente se retiran al relleno sanitario, el encargado de retirar estos residuos debe presentar un recibo o certificado del relleno sanitario. Los residuos de metal se entregan a un tercero que se dedica a la recolección y venta de metal, con él se llega a un acuerdo en el cual debe retirar también los residuos de madera. Los demás residuos: gypsum, perfiles de aluminio, etc, se disponen en el contenedor de EBI. Se cuentan con piletas especiales, exclusivas para la limpieza de herramientas con residuos de químicos como la pintura, estas piletas conducen el agua a baldes que son retirados posteriormente por la empresa SUR. Por último, las bolsas de repello y mortero de pega que se encuentren limpias son devueltas a la empresa INTACO.

5. Resultados y análisis

En este capítulo se describe la caracterización y cuantificación de los residuos encontrados en el proceso constructivo de los cuatro proyectos en estudio. Así como los resultados de la investigación a partir de los datos recolectados, calculando la tasa de generación de residuos por metros cuadrados de construcción y el índice de residuos de cada uno de los proyectos.

5.1 Caracterización de los residuos sólidos

5.1.1. Concreto premezclado

El proyecto 1B es el único donde se logra cuantificar residuo del concreto premezclado perteneciente a la etapa de la losa flotante. En los otros proyectos no se logró determinar que los residuos encontrados pertenecieran exclusivamente dichas etapas constructivas y que pertenecieran únicamente al concreto premezclado, por tal motivo se consideran escombros.



Figura 24. Residuo de concreto premezclado de la etapa de contrapiso, proyecto 2B.

Al tratarse de empresas que han construido los mismos modelos con anterioridad, los metros cúbicos de concreto son conocidos, por lo tanto, los residuos de este material son muy bajos o como en la mayoría de los casos de este estudio son nulos.

5.1.2. Residuos de block

Para la cuantificación de los residuos de block de la empresa A, fue necesario la separación con respecto a otros residuos, ya que se encontraban mezclados, este tipo de separación se debió realizar en cada una de las visitas para cerciorarse de contabilizar la mayor cantidad de residuos

de block. Tal y como se muestra en la Figura 25, donde fue necesaria la separación de los residuos de block de los residuos de mortero de pega, repello y concreto.



Figura 25. Separación de residuos de block del escombros.

En la empresa B, los residuos de block eran dispuestos en bateas tal y como se muestra a continuación.



Figura 26. Separación de residuos de block del escombros.

Mucho de los residuos son generados al realizar cortes en los bloques, para la colocación de cajas eléctricas de los tomacorrientes, los interruptores de luz y en algunos de los casos colocación de tuberías, tal y como se observa en la Figura 27. Los residuos de mayor tamaño se debieron a

bloques quebrados en alguna esquina o que se fracturaban al momento de su manipulación, ya sea en el momento de su traslado o colocación.



Figura 27. Cortes en pared de mampostería para colocación de tubería, proyecto 1A.

5.1.3. Residuos de varilla

Para el acero de refuerzo en los elementos de concreto se utilizaron barras corrugadas de 6 metros de longitud. En los proyectos 1A y 2A las varillas poseen diámetros desde los 5.25 mm a los 9 mm, grado 60 para las varillas de 9.5 mm (#3) en refuerzos horizontales y verticales de las paredes y grado 70 para el resto de acero colocado en fundaciones, columnas y vigas. Como parte de los residuos generados en los proyectos de la empresa A, se pesaron restos de armaduras de las vigas de fundación, entrepiso, corona y tapichel. En los proyectos 1B y 2B, el acero utilizado corresponde a varilla lisa #2 y #4, y varilla corrugada #3 y #4 grado 60.

En las mediciones realizadas en la empresa A se presentaron dos panoramas diferentes, en el proyecto 1A los residuos correspondían a cortes de varillas o secciones pequeñas de armadura, mientras que en el proyecto 2A se pesaron restos significativos de armadura, lo que corresponde a un cambio en el modelo del proyecto, el cual pasa de tres a dos dormitorios, el residuo generado por el cambio de modelo se contempla dentro de los datos, sin embargo, se debe tener presente que este valor no representativo para este tipo de proyecto.



Figura 28. Sobranante de armadura proyecto 2A.

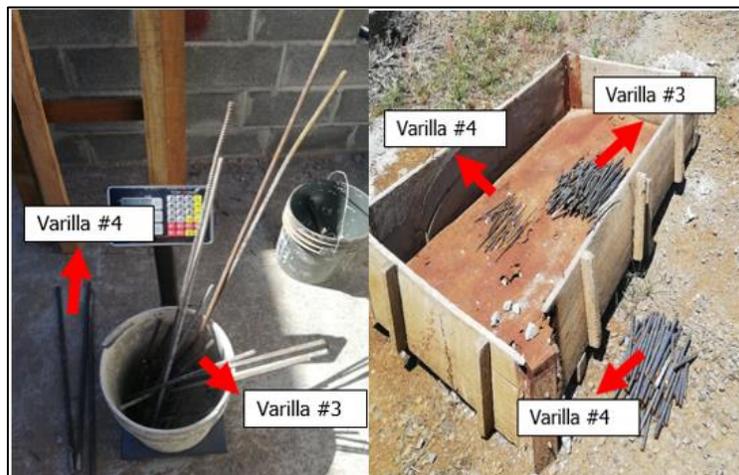


Figura 29. Muestras de varillas en los proyectos 1A y 1B.

En los cuatro proyectos los residuos de varillas que no se utilizan posteriormente se colocaban en los lugares destinados para su pesaje, sin embargo, en los proyectos 1A y 2A se encontraron cabos de varilla en diferentes áreas de la construcción. Por otro lado, la empresa B retiraba previo al pesaje los cabos de varilla de mayor longitud que son reutilizados en otras viviendas.

5.1.4. Escombros

El escombros está compuesto principalmente de residuos de concreto, restos de mezcla para pega de mampostería, repello grueso y tierra que se adhiere a los restos de los residuos mencionados anteriormente. En la Figura 30 se aprecia un ejemplo de lo que se caracteriza como escombros. Algunos de los restos de concreto son producto de las picas que se realizan para la colocación de tuberías.



Figura 30. Muestra de escombros proyecto 1 A.

5.1.5. Residuos de mortero de pega

Dentro de las etapas constructivas que más residuos generó se encuentran las paredes de mampostería, pues no solo generó residuos de bloques de concreto, sino que se contabilizó gran cantidad de residuos de mortero de pega. La frecuencia de las visitas a los proyectos permitió cuantificar la mayoría de los residuos de mortero de pega antes de que éste se contaminara con tierra u otros residuos como el concreto.



Figura 31. Mortero de pega block proyecto 1B.

En esta etapa, el almacenaje y cuadrillas de cada empresa influyó directamente en la recolección de datos, en la empresa A las cuadrillas variaban constantemente, esto ocasionaba que en ocasiones el personal no supiera como disponer de los residuos, para el mortero de pega se reflejó más este tipo de situación en los resultados, ya que se combinaba con restos de concreto para el relleno de celdas, con repello grueso de otras paredes del proyecto y con tierra, pues eran dispuestos unos sobre otros, de ahí que los valores difieran grandemente con los obtenidos en la empresa B, donde la cuadrilla se mantuvo constante a lo largo del desarrollo del proyecto y recolectaban los residuos para colocarlos posteriormente en las bateas asignadas para su posterior pesaje, una vez pesados eran retirados de las bateas.

5.1.6. Residuos de repello grueso

En el proyecto 1A se contaba con alrededor de 4 personas realizando el proceso de repello, los residuos generados se tuvieron que recoger en las diferentes áreas del proyecto conforme el personal iba avanzando con el proceso, mientras que en el proyecto 2A solamente una persona se encargó del proceso de repello de la vivienda, de igual forma en las diferentes visitas se recolectaban los residuos de repello.



Figura 32. Restos de repello empresa A.

La empresa B recolectaba los restos de repello y al igual que el resto de residuos los disponía en las bateas para realizar el pesaje. En la empresa B, se cuenta con una persona encargada del manejo de la máquina lanzadora de repello (mono-mix) y dos personas encargadas de pasar el codal y la plancha para dar un acabado más fino.



Figura 33. Residuo de repello empresa B.

5.1.7. Residuos de PVC

En todos los proyectos se contabilizaron residuos de PVC, estos están conformados por restos de tubería conduit tipo A UL, tubería de presión, tubería para agua caliente CPVC y tubería de drenaje. En la Figura 34



Figura 34. Tubería eléctrica proyecto 1A.

5.1.8. Residuos de madera

Tal y como se mencionó con anterioridad la madera corresponde a la formaleta de las gradas, codales y puntales para marcos de ventanas, ya que los paneles de formaleta son de estructura de hierro con lámina fenólica, estos poseen una vida útil mayor a las formaletas elaboradas a únicamente con tabla, ya que estas se deforman con facilidad lo que ocasiona que deban desecharse.



Figura 35. Madera proyecto 1A.

5.1.9. Residuos de estereofón

Los residuos de estereofón son los que se generan en la empresa A como parte del sistema de entrepiso, estos residuos se almacenaban en el cuarto de pilas de los proyectos o en una bodega exclusiva para este tipo de material, tal y como se observa en la Figura 36. Algunos de los residuos de estereofón presentan contaminación, ya sea de tierra o residuos de algún material cementicio como concreto, repello o mortero de pega.

Es importante mencionar que en este residuo en particular se considera tanto el peso como el volumen del residuo, ya que el peso no es significativo en comparación con el volumen generado.



Figura 36. Residuo de estereofón proyecto 2A.

5.1.10 Residuos de hierro galvanizado

El hierro galvanizado corresponde a las estructuras de techos, los residuos de los proyectos 1A y 2A para los tubos de 4x4" son de 2.61 m y los de 2x3" poseen una longitud de 2.58 m. En la empresa B las longitudes de los residuos de los diferentes residuos de hierro eran muy variables, sin embargo, estos no excedían los 2 m y la mayoría corresponde a perfiles C galvanizados.



Figura 37. Residuos de acero, estructura de techo proyecto 1B.

5.1.11 Residuos de láminas de zinc galvanizadas

La lámina de zinc galvanizada representa uno de los materiales que genera menor cantidad de residuo, de los cuatro proyectos solo en uno de ellos se logró cuantificar residuos. En los proyectos de la empresa A, las láminas son colocadas de manera completa, por lo que no se presentaron residuos para caracterizar ni cuantificar.

En la empresa B solo se registró residuo en el proyecto 2B, en la Figura 38 se muestra la totalidad de material pesado.



Figura 38. Residuo de lámina galvanizada, proyecto 2B.

5.1.12 Residuos de perfiles de aluminio y láminas de yeso

En los cuatro proyectos se identificaron tres tipos diferentes de perfiles de aluminio: stud, track y furring, se pesaron como parte de una misma categoría, la cual se denomina perfiles de aluminio. Esto mismo se replicó para las láminas, las cuales están compuestas por yeso, esto permite simplificar las mediciones y de igual manera mantener una separación según la composición básica del material. En la Figura 39 se puede apreciar parte de los perfiles que se pesaron en el proyecto 1B.



Figura 39. Diferentes perfiles de aluminio para elaboración de estructura liviana.

5.1.13 Residuos de revestimientos cerámicos y porcelanatos

Este tipo de residuo se genera principalmente por cortes que se realizan para a las piezas para la colocación del rodapié, este proceso se realiza en las dos empresas. Otro porcentaje del residuo se debe a fracturas que sufren las piezas en su manipulación a la hora de realizar el corte o en el momento de la instalación.



Figura 40. Residuos de revestimiento, proyecto 2B

Tal y como se observa en la Figura 40, muchos de los residuos presentan cortes rectangulares, lo que indica que la pieza fue cortada y generó dichos residuos.

En los cuatro proyectos se realizó el pesaje de la totalidad de residuos generados por los revestimientos, tanto para pisos como otras áreas como baños, rodapié y cocina. Para este tipo de material se cuantificó como un todo, es decir, no se separó por área o diseño.

En una de las mediciones del proyecto 2A se pesaron los residuos generados a la fecha, a la semana siguiente se tuvieron que pesar de nuevo pues no retiraron los residuos generados anteriormente y colocaron los nuevos sobrantes sobre los que ya estaban pesados, con el objetivo de tener una mayor precisión en los datos, posteriormente se retiraron los residuos.

5.2. Cuantificación de residuos sólidos

En el Cuadro 3, se presenta el resumen de resultados de las tasas de generación de residuos sólidos pesados para la totalidad de metros cuadrados de cada proyecto.

Cuadro 3. Caracterización basada en las categorías generales de residuos comunes en la construcción

Residuo Sólido	Tasa de generación (kg/m ²)					
	Proyecto 1A	Proyecto 2A	Promedio empresa A (Armabloque)	Proyecto 1B	Proyecto 2B	Promedio empresa B (Integra)
Concreto premezclado	0	0	0	0.78	0	0.39
Block paredes de mampostería	8.07	2.91	5.49	3.32	1.90	2.61
Block de entrepiso	-	-	-	3.58	3.52	3.55
Varilla	0.39	1.45	0.92	0.65	0.15	0.4

Residuo Sólido	Tasa de generación (kg/m ²)					
	Proyecto 1A	Proyecto 2A	Promedio empresa A (Armabloque)	Proyecto 1B	Proyecto 2B	Promedio empresa B (Integra)
Escombro	14.04	6.62	10.33	0.19	0.27	0.23
Mortero de pega	0.23	0.27	0.25	8.52	8.35	8.43
Repello grueso	2.43	0.07	1.25	2.68	2.98	2.83
PVC	0.07	0.05	0.06	0.034	0.02	0.03
Madera	0.53	0.52	0.52	0	0.46	0.23
Hierro galvanizado	0.21	0.18	0.19	0.24	0.50	0.37
Estereofón	2.24	0.14	1.19	-	-	-
Revestimiento cerámico y porcelanato	0.47	1.67	1.07	1.57	1.34	1.45
Teja asfáltica	-	-	-	0.062	0.11	0.09
Lámina de yeso	0.5	0.45	0.47	0.37	0.23	0.3
Perfiles de aluminio	0.08	0.08	0.08	0.03	0.03	0.03
Tasa de generación total (Kg/m²)	29.24	14.41	21.83	22.04	19.63	20.84

Del Cuadro 3 se puede apreciar como la tasa de generación para el proyecto 1A presenta un valor de 14.83 kg/m² de diferencia con respecto al proyecto 2A, considerando que ambos proyectos pertenecen a la misma empresa y se desarrollan bajo el mismo sistema constructivo, llama la atención que la diferencia sea casi del doble. La única diferencia entre los proyectos es la mano de obra, recordemos que el proyecto 1A cuenta con mano de obra que forma parte de la planilla de la empresa, y el proyecto 2A lo desarrolla un contratista, bajo la modalidad llave en mano.

En cuanto a los proyectos de la empresa B, la diferencia entre ellos es menor con un valor de 2.41 kg/m², esto se debe principalmente a la tasa de generación de los bloques de concreto, la cual es casi del doble en el proyecto 1B.

Analizando los cuatro proyectos en estudio se obtiene un promedio de 21.33 kg/m² en la tasa de generación total, siendo el proyecto 1A el de mayor tasa de generación con respecto al resto de proyectos, esta diferencia está marcada por los residuos de block de mampostería y el escombro.

En el Cuadro 4 se muestra el índice de residuos resultado de las mediciones realizadas. Es importante aclarar que las variaciones en los índices de residuos de mortero de pega, repello grueso y escombro se debe al tipo de almacenamiento de los residuos que se presentó en cada

proyecto. Como se mencionó anteriormente en la caracterización de los residuos en la empresa A no hubo una separación por parte del personal para cada uno de los residuos, esto generó una combinación entre residuos de concreto, block, mortero de pega y repello grueso, estos se clasificaron como escombros. Por otro lado, la empresa B realizó la separación por actividades lo que facilitó la clasificación de los residuos, esto se refleja en un mayor índice de residuos de concreto, mortero de pega y repello grueso pero un menor índice correspondiente al escombros no segmentado, el cual se generó cuando se daba una combinación entre los residuos de concreto, mortero de pega y repello.

Cuadro 4. Índice de residuos

Residuo Sólido	Proyecto 1A	Proyecto 2A	Promedio empresa A (Armabloque)	Proyecto 1B	Proyecto 2B	Promedio empresa B (Integra)
Concreto premezclado	0	0	0	0.17	0	0.09
Block paredes de mampostería	3.54	1.12	2.37	1.44	0.82	1.13
Varilla	1.35	5.36	3.35	2.13	0.49	1.31
Escombros	2.23	0.97	1.6	0.025	0.034	0.03
Mortero de pega	0.51	0.58	0.54	23.11	22.66	22.77
Repello grueso	5.43	0.15	2.79	4.52	4.64	4.58
PVC	5.17	3.45	4.31	1.69	0.83	1.26
Madera	16.03	14.04	15.03	0	53.63	26.81
Hierro galvanizado	11.38	9.40	10.39	8.82	18.71	13.76
Revestimiento cerámico y porcelanato	1.65	8.19	4.92	5.68	4.88	5.28
Teja asfáltica	-	-	-	3.63	6.15	4.89
Lámina de yeso	5.52	4.96	5.24	3.72	2.29	3.01
Perfiles de aluminio	11.02	12.73	11.87	6.52	7.09	6.80

Para este caso el índice de residuo total con mayor valor lo presenta el proyecto 1A, con una diferencia de 1% con respecto al proyecto 2B, el cual posee el menor valor de índice de residuo. Estas diferencias entre los índices de residuo totales son bajas, por lo tanto, los resultados son comparables entre sí.

Además, se pueden apreciar índices de residuos mayores a 10% para la madera, el hierro galvanizado y en el caso particular de la empresa A para los perfiles de aluminio. En el caso de la madera es de esperar valores tan elevados ya que solo forma parte del proceso constructivo y no de proyecto como tal, en caso de los otros materiales es importante considerar los factores que influyen en su alto valor.

5.2.1 Residuos de concreto premezclado

En el siguiente cuadro se muestra la cantidad de concreto premezclado adquirido para cada uno de los proyectos, así como los residuos generados para cada etapa constructiva donde se utilizó este tipo de concreto.

Cuadro 5. Cuantificación de los residuos de concreto premezclado

Proyectos		1A	2A	1B	2B	
Mediciones en cada proyecto	Concreto premezclado solicitado	Contrapiso (m ³)	7.5	8.75	14.5	14.5
		Entrepiso (m ³)	9.9	7.5	10	10
		Contrapiso (kg)	18000	21000	34800	34800
		Entrepiso (kg)	23766	7500	24000	24000
	Pesaje residuo de concreto premezclado	Contrapiso (kg)	0	0	99.7	0
		Entrepiso (kg)	0	0	0	0
		Índice de residuos (%)	0	0	0.17	0
		Tasa de generación del concreto premezclado (kg/m ²)	0	0	0.78	0
Fecha de recolección de datos: 18 de febrero del 2020						

Al tratarse de casas desarrolladas en serie, es decir que el mismo modelo se ha construido posteriormente, se conoce la cantidad de metros cúbicos de concreto requeridos para las chorreas del contrapiso y entrepiso. En el proyecto 1B, el pesaje que se registró es el correspondiente al bloque de concreto mostrado en la Figura 24, en el resto de proyectos no se encontraron restos de concreto premezclado.

5.2.2 Residuos de bloques para paredes de mampostería

Para el pesaje de los bloques en la empresa A se acumulaban en la parte trasera de los proyectos, sin embargo, se mezclaban con otros residuos por lo que fue necesario realizar la separación de la mayoría de los residuos de block. En la empresa B se logró contabilizar la totalidad de los residuos de bloques para cada uno de los proyectos en estudio, en este último los restos de block de entrepiso se contabilizaron de manera separada para evitar incongruencias entre los residuos generados por etapas constructivas de ambas empresas.

Cuadro 6. Cuantificación del residuo: Bloques de concreto

Proyectos		1A	2A	1B	2B	
Mediciones en cada proyecto	Bloques por proyecto	Cantidad (unidades)	2395	2389	2449	2449
		Peso (kg)	30644.4	30557.4	29472.5	29472.5
	Pesaje residuo de bloques	Peso (kg)	1082.45	344.5	425.4	242.85
		Índice de residuos (%)	3.54	1.13	1.44	0.82
		Tasa de generación de bloques (kg/m ²)	8.07	2.91	3.32	1.90
Fecha de recolección de datos:		Enero-abril 2020	Enero- abril 2020	Febrero- junio 2020	Abril- julio 2020	

Como se observa en el Cuadro 6, la cantidad de entrada de bloques es similar entre los cuatro proyectos, sin embargo, se aprecia una notable diferencia entre los residuos generados en entre ellos. Tanto la tasa de generación como el índice de residuos para el proyecto 1A, supera significativamente los valores obtenidos para el resto de proyectos, siendo aproximadamente tres veces mayor. Los proyectos 2A y 1B presentan un comportamiento similar, mientras que el proyecto 2B posee los valores más bajos. Lo que más llama la atención es la diferencia entre los proyectos de la empresa B, ya que ambos poseen los mismos metros cuadrados de construcción, materiales y mano de obra, aun así, presentan una diferencia en la tasa de generación de 1.42 kg/m².

En Figura 41 se muestra de manera más clara la diferencia entre la tasa de generación de los cuatro proyectos, el proyecto 1A presenta una tasa de generación casi del triple con respecto a los proyectos 2A y 1B, y casi un 80% más con respecto al proyecto 2B. Las diferencias entre proyectos pueden deberse a factores como la mano de obra, un traslado inadecuado de los

bloques a al sitio del proyecto ocasionando que estos se quiebren, así como las practicas constructivas, como cortes en los bloques para la instalación de tuberías o previstas eléctricas.

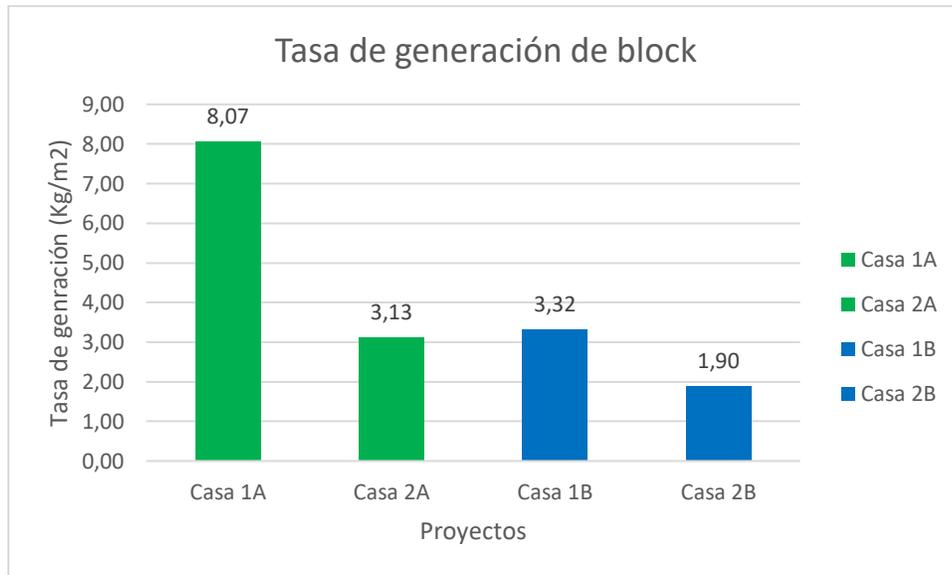


Figura 41. Tasa de generación de bloques de concreto (Kg/m²).

5.2.3. Residuos de varilla

En la empresa A, la mayor parte de los residuos de las varillas corresponden a restos de armadura, esto se debe a que la empresa Armabloque entrega las vigas, columnas y demás elementos listos para colocar, los cabos de varilla corresponden a cortes realizados a los refuerzos verticales y horizontales en las paredes de mampostería. En el 8.2 Anexo B: Entradas de varillasse muestran las cantidades de varillas de entrada según los planos estructurales brindados por la empresa Armabloque.

En el Cuadro 7 se aprecia una diferencia de 0.80 Kg/m² en la tasa de generación del proyecto 2A con respecto al proyecto 1B y de 1.30 kg/m² con respecto al menor valor correspondiente al proyecto 2B. Esta diferencia tan marcada puede deberse a los cambios realizados en el modelo original de la casa, pues como ya se indicó en este caso específico el cambio de diseño de un modelo de tres a dos cuartos.

Cuadro 7. Cuantificación del residuo de varilla.

Proyectos			1A	2A	1B	2B
Mediciones en cada proyecto	Varillas por proyecto	Cantidad (unidades)	1378	1124	1045	1045
		Peso (kg)	3852.09	3208.74	3923.19	3923.19
	Pesaje residuo de varilla	Peso (kg)	51.9	171.9	83.75	19
		Índice de residuos (%)	1.35	5.36	2.13	0.48
		Tasa de generación de varilla (kg/m ²)	0.39	1.45	0.65	0.15
Fecha de recolección de datos:			Enero-abril 2020	Enero- abril 2020	Febrero- junio 2020	Abril- julio 2020

Tal y como se mencionó en la sección 4.3.3 Armadura de acero, la empresa B cuenta con una lista de materiales para cada modelo de vivienda, los dos proyectos estudiados de esta empresa son iguales por lo que la entrada de materiales es la misma (Ver 8.2 Anexo B: Entradas de varillas). En la Figura 42 se muestra como está constituida la entrada para los tipos de varillas utilizadas en el los proyectos de la empresa B. En el caso de la empresa A, no se puede realizar este tipo de separación por tipo de varilla, como se ha mencionado anteriormente los elementos se entregan armados, por tal motivo no se puede realizar una comparación más directa entre los cuatro proyectos, según el número de varilla.

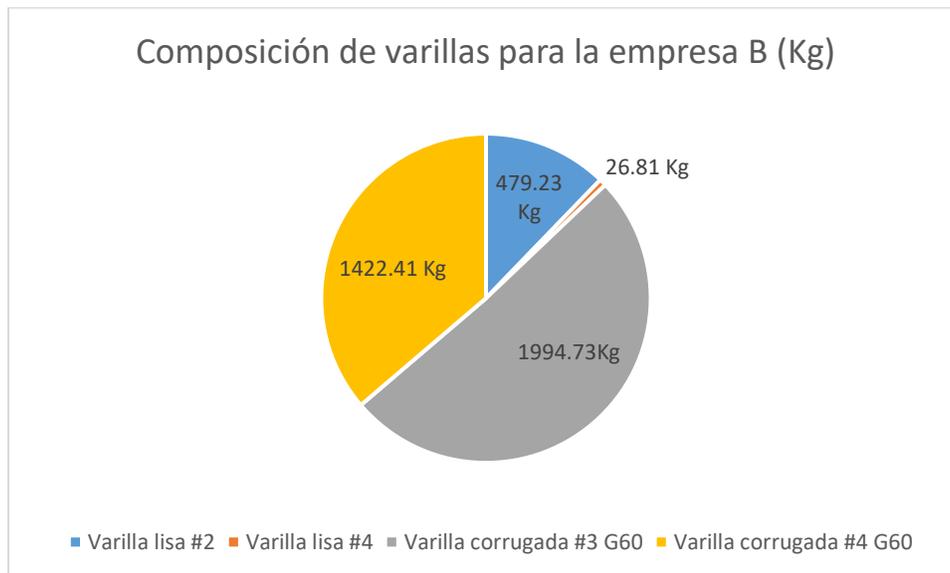


Figura 42. Composición de entrada de los diferentes tipos de varillas

5.2.4 Escombros

Para esta investigación se consideró escombros todo aquel residuo que no pudiera identificarse como: caracterizarse concreto, mortero de pega, bloques de mampostería, repello grueso, que se encontraran mezclados entre ellos o contaminados con tierra.

Por lo tanto, para determinar la tasa de generación y el índice de residuo se toma como entrada el concreto premezclado, el mortero de pega, bloques de mampostería y el repello grueso.

Cuadro 8. Generación de escombros

Proyectos		1A	2A	1B	2B	
Mediciones en cada proyecto	Entradas	Concreto (Kg)	41760	39000	58800	58800
		Mortero de pega (kg)	6000	5600	4720	4720
		Block (Kg)	30640	30560	29470	29470
		Repello (Kg)	6000	5200	7580	7580
	Pesaje de escombros	Peso (kg)	1885	785	24.75	33.95
		Índice de residuos (%)	2.23	0.98	0.025	0.034
		Tasa de generación de escombros (kg/m ²)	14.04	6.62	0.19	0.27
Fecha de recolección de datos:		Febrero- julio 2020				

Como se mencionó en el apartado anterior, las diferencias en la tasa de generación y el índice de residuos se deben a la separación de los residuos generados en los diferentes proyectos de parte de las cuadrillas. En el Cuadro 9 se aprecia esta diferencia de manera más clara, donde el total representa la suma de los residuos generados por el escombros (concreto, mortero de pega, bloques de concreto y repello grueso), concreto premezclado, bloque de concreto, mortero de pega y repello grueso.

Cuadro 9. Diferencias entre la tasa de generación del escombros y el resto de materiales que conforman el escombros.

Tasa de generación (Kg/m²)	Proyecto 1A	Proyecto 2A	Proyecto 1B	Proyecto 2B
<ul style="list-style-type: none"> • Concreto premezclado • Block • Mortero de pega • Repello grueso 	10.72	3.25	15.30	13.00
Escombros	14.04	6.62	0.19	0.26
Total de residuo	24.76	9.87	15.49	13.26

5.2.5 Residuos de mortero de pega block

La recolección de los residuos de mortero de pega block presentaron mayor dificultad de recolección en la empresa A, esto debido a la rotación de personal que interfería en la dinámica planteada con el ingeniero residente para la recolección y acumulación de residuos en cada uno de los proyectos. En cada visita se debía explicar la metodología al nuevo personal, esto ocasionó que los residuos de este tipo se combinaran con otros tales como restos de block, concreto y repello, por lo que debían clasificarse como escombros.

Cuadro 10. Cuantificación de los residuos: Mortero de pega

Proyectos			1A	2A	1B	2B
Mediciones en cada proyecto	Sacos por proyecto	Cantidad (unidades)	150	140	118	118
		Peso (kg)	6000	5600	4720	4720
	Pesaje residuo de mortero de pega	Peso (kg)	30.5	32.5	1090.8	1069.4
		Índice de residuos (%)	0.51	0.58	23.11	22.66
		Tasa de generación de mortero de pega (kg/m ²)	0.23	0.27	8.52	8.35
Fecha de recolección de datos:			mayo 2020	mayo 2020	Febrero- julio 2020	junio- julio 2020

En el Cuadro 10 se aprecia la cantidad de sacos que entran por proyecto, así como el valor total en kilogramos obtenido de los diferentes pesajes que se realizaron en los distintos proyectos. Las diferencias entre los resultados de los proyectos de la empresa A con respecto a la empresa B, de más de 1000 kilogramos, corresponde a lo mencionado en la sección 5.1.5. Residuos de mortero de pega, donde se describe de manera detallada como la forma de disponer los residuos y las cuadrillas incidieron directamente en la separación de los residuos.

5.2.6 Residuos de repello grueso

Para el cálculo del residuo del repello grueso se pesó la totalidad de repello encontrando en los diferentes proyectos, para los proyectos de la empresa A se presenta el mismo fenómeno que en el mortero de pega, mientras que en los proyectos de la empresa B se logró pesar la totalidad del residuo generado. Con esto, se obtuvo la tasa de generación total por para los proyectos 1B y 2B, mientras que el resultado obtenido para los proyectos 1A y 2A no son representativos de la totalidad de residuos generado.

Cuadro 11. Cuantificación de residuo: Repello grueso

Proyectos		1A	2A	1B	2B	
Mediciones en cada proyecto	Empaques por proyecto	Cantidad (unidades)	150	130	190	190
		Peso (kg)	6000	5200	7583	7583
	Pesaje residuo de repello grueso	Peso (kg)	326	7.85	343.15	350
		Índice de residuos (%)	5.43	0.15	4.52	4.64
	Tasa de generación de repello grueso (kg/m ²)	2.43	0.066	2.68	2.98	
Fecha de recolección de datos:		Mayo 2020	Mayo 2020	Septiembre-octubre 2020	Octubre-noviembre 2020	

La diferencia observada en el *Cuadro 11. Cuantificación de residuo: Repello grueso* Cuadro 11 entre los proyectos 1A y 2A, corresponde a la mano de obra. En el proyecto 1B el repello estuvo a cargo de un único operario, el cual se estuvo monitoreando durante el repello de una de las paredes y el residuo generado es casi muy bajo para la totalidad del proyecto. Por otro lado, el proyecto 2A contaba con varios operarios realizando la misma labor, además, cada semana se observaba variación de personal en las cuadrillas.

Otro factor a considerar en la cantidad de residuo de repello generado en la empresa B, pues también es utilizado en el entrepiso para dar acabado al cielo raso, ya que a diferencia del segundo nivel donde el cielo raso está conformado por estructura liviana, el cielo raso del primer nivel está constituido por el sistema de entrepiso repellado.

5.2.7 Residuo de PVC

Para el pesaje de estos residuos se separaron en dos grandes categorías: tubería mecánica y tubería eléctrica. Inicialmente en cada una de las categorías se pesaban por diámetro de tubería, sin embargo, en algunos diámetros el peso de los residuos era de 0.1 gramos por lo que se tomó la decisión de mantener la división solo por las dos categorías mencionadas al inicio.

En el Cuadro 12 se muestran los materiales de entrada para cada proyecto, así como, la tasa de generación y el índice de residuo generado para cada categoría y el total global de PVC. En el 8.3 Anexo C: Entradas de PVC, se muestra el cuadro con las cantidades de entrada por diámetro nominal de tubería para cada una de las categorías.

Cuadro 12. Cuantificación de los residuos de PVC (Mecánico y eléctrico)

Proyectos		1A	2A	1B	2B	
Mediciones en cada proyecto	Tubería PVC mecánica	Cantidad (unidades)	38	31	46	46
		Peso entrada (kg)	127.79	109.38	160.61	160.61
		Peso residuo (Kg)	3.41	3.46	2.1	1.35
		Índice de residuos (%)	2.67	3.16	1.31	0.84
		Tasa de generación (Kg/m ²)	0.025	0.029	0.016	0.010
	Tubería PVC eléctrica	Cantidad (unidades)	85	77	154	154
		Peso entrada (kg)	60	53.4	102.6	102.6
		Peso residuo (Kg)	6.3	2.15	2.35	0.85
		Índice de residuos (%)	10.5	4.03	2.29	0.83
		Tasa de generación (Kg/m ²)	0.047	0.018	0.018	0.006
	Índice de residuos global PVC (%)		5.17	3.44	1.69	0.83
Fecha de recolección de datos:		Febrero-marzo 2020	Febrero-marzo 2020	Mayo- junio 2020	Mayo- junio 2020	

5.2.8 Residuos de madera

No toda la madera utilizada en cada proyecto en estudio se considera un residuo al finalizar su uso, gran parte es reutilizada en otras actividades. En la empresa A ambos proyectos presentan la misma tasa de generación, el proyecto 2A cuenta con un área de 15.66 m² menos al del proyecto 1A. En la empresa B no se registraron mediciones para el proyecto 1B, esto se debió a que inicialmente el maestro de obras a cargo únicamente separaba en las bateas los residuos de materiales como varilla, bloques, mortero de pega y repello, estos residuos que no se cuantificaron fueron dispuestos con los de otros proyectos fuera del análisis, por lo que no se puede determinar cuáles son propios del proyecto en análisis.

Cuadro 13. Cuantificación de residuos de madera

Proyectos		1A	2A	1B	2B	
Mediciones en cada proyecto	Madera por proyecto	Tabla 1x12 en 4 varas (Kg)	6.6	6.6	66	66
		Regla 1x3 en 4 varas (Kg)	2.21	2.21	44.2	44.2
		Tabla 1x6 en 4 varas (kg)	4	4	-	-
		Alfajilla 2x2 en 4 varas (Kg)	3.21	3.21	-	-
		Alfajilla 2x3 en 4 varas (Kg)	4.82	4.82	-	-
	Pesaje residuo de madera	Peso (kg)	70.6	61.85	0	59.1
		Índice de residuos (%)	16.03	14.04	0	53.63
		Tasa de generación de madera (kg/m ²)	0.52	0.52	0	0.46
Fecha de recolección de datos:		Marzo- Abril 2020	Marzo- Abril 2020	-	Junio 2020	

5.2.9 Residuos de estereofón

Para los residuos de estereofón se encontraron varias discrepancias, primeramente, se almacenaban en los cuartos de pilas de cada proyecto, posteriormente el residuo generado para los dos proyectos de la empresa A, se almacenaron en una bodega exclusiva para este residuo. Sin embargo, al realizar el pesaje de los residuos para el proyecto 1A se cuantificó un valor muy elevado, por lo que no se tiene claridad si para este caso se almacenaron residuos de estereofón de otros proyectos fuera del estudio en la misma bodega.

Un punto a considerar es que los encargados del proyecto no contabilizan las cantidades de entrada, y por parte de la empresa Armabloque no hubo respuesta de las cantidades de entrada. Debido a estas limitantes solo se realiza el cálculo de tasa de generación, ya que el índice de residuo requiere del valor de entrada del material, el cual es desconocido para este material.

Cuadro 14. Cuantificación de residuo de estereofón

Proyectos		1A	2A	
Medición en cada proyecto	Pesaje residuo de estereofón	Peso (kg)	300	16.33
		Tasa de generación de estereofón (kg/m ²)	2.24	0.14
Fecha de recolección de datos:		Marzo 2020	Marzo 2020	

Como se mencionó en la sección 5.1.9. Residuos de estereofón, este tipo de residuo genera un volumen muy alto, lo que implica que se debe considerar tanto su peso como volumen. En la Figura 43 se aprecia la diferencia de volúmenes, si bien el proyecto 1A posee un área mayor por lo que se podría esperar una mayor cantidad de residuo debido a los cortes que se realizan al estereofón para el paso de tuberías y el excedente que según indica el maestro de obras siempre envía la empresa Armabloque, estos no deberían significar una diferencia de valores tan elevada. Es importante aclarar que la empresa B no utiliza el estereofón como parte del sistema de entrepiso de sus proyectos.



Figura 43. Volumen de estereofón proyectos empresa A

5.2.10 Residuo de hierro galvanizado

En ambos proyectos los perfiles de hierro galvanizado se utilizaron para la construcción de la estructura de techo. Para conocer el peso de entrada del hierro se pesaron algunas muestras de los residuos y se midió su longitud, con estos datos se determinó el peso para los tubos de entrada, los cuales poseen 6 metros de longitud. Estos valores se corroboraron con las especificaciones técnicas de este material, según sus propiedades geométricas y acabado (hierro negro o galvanizado), en el 8.4 Anexo D: Ficha técnica tubería estructural se muestran las tablas con los valores de peso en kilogramos por unidad de la empresa Metalco.

Cuadro 15. Cuantificación de residuos de acero

Proyectos		1A	2A	1B	2B	
Medición en cada proyecto	Pesaje total de entrada	Peso total (kg)	243.01	230.83	345.32	345.32
	Pesaje residuo de hierro galvanizado	Peso total(kg)	27.65	21.7	30.45	64.5
		Índice de residuos (%)	11.38	9.40	8.82	18.71
		Tasa de generación de acero (kg/m ²)	0.21	0.18	0.24	0.50
Fecha de recolección de datos:		Mayo 2020	Junio 2020	Julio 2020	Julio-noviembre 2020	

En el 8.5 Anexo E: Entradas de tubería estructural por proyecto, se muestra la lista de material de entrada según la clasificación del acero de entrada y su peso respectivo.

5.2.11 Residuos de perfiles de aluminio y láminas de yeso

En ambos proyectos se identifican los mismos tipos de perfiles de aluminio, como se mencionó en la sección 5.1.12 Residuos de perfiles de aluminio y láminas de yeso se pesa la totalidad de los residuos. Para el cálculo de los materiales de entrada, el valor del peso se obtiene de las fichas técnicas, las cuales se encuentran en el 8.6 Anexo F: Ficha técnica perfiles de aluminio. En el Cuadro 16, se pueden observar diferencias de aproximadamente un 50 por ciento más en el índice de residuos de los proyectos de la empresa B con respecto a los de la empresa A. Este resultado es contradictorio puesto que a pesar de que la empresa B elabora las paredes internas del segundo nivel en estructura liviana, tiene más generación de residuos los proyectos de la empresa A, sin embargo, la empresa B no utiliza este tipo de sistema para el cielo raso del primer nivel

como si lo realiza la empresa A. Estas diferencias en los detalles constructivos, así como el tipo de mano de obra puede incidir en las diferencias tan marcadas en los resultados.

Cuadro 16. Cuantificación de residuos perfiles de aluminio

Proyectos			1A	2A	1B	2B
Medición en cada proyecto	Pesaje perfiles total de entrada	Peso total (kg)	100.31	73.44	52.18	52.18
		Peso total(kg)	11.05	9.35	3.4	3.7
	Pesaje residuo de acero	Índice de residuos (%)	11.01	12.73	6.51	7.09
		Tasa de generación de perfiles de aluminio (kg/m ²)	0.082	0.079	0.026	0.029
Fecha de recolección de datos:			Junio 2020	Julio 2020	Octubre 2020	Noviembre 2020

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para las láminas de yeso. El comportamiento para las láminas de yeso es el mismo que en los perfiles de aluminio, los valores obtenidos en la empresa A exceden casi al doble los de la empresa B.

Cuadro 17. Cuantificación de los residuos de láminas de yeso

Proyectos			1A	2A	1B	2B
Medición en cada proyecto	Pesaje láminas de yeso total de entrada	Peso total (kg)	1211.64	1084.59	1290.57	1290.57
		Peso total(kg)	66.95	53.77	47.95	29.55
	Pesaje residuo de las láminas de yeso	Índice de residuos (%)	5.52	4.96	3.71	2.29
		Tasa de generación de láminas de yeso (kg/m ²)	0.49	0.079	0.37	0.23
Fecha de recolección de datos:			Junio 2020	Julio 2020	Octubre 2020	Noviembre 2020

5.2.12 Residuos de revestimientos cerámicos y porcelanato

En la totalidad de los proyectos se cuantificaron los residuos de los diferentes revestimientos, tales como: pisos, enchapes de baño, rodapié y cocina. A partir de las fichas técnicas de los

revestimientos utilizados en los proyectos de la empresa A se obtuvieron los pesos de entrada, para la empresa B se pesaron las cajas completas tal y como se muestra en la Figura 44.



Figura 44. Pesaje de revestimientos usados en la empresa B

Cuadro 18. Cuantificación de los residuos de revestimiento cerámico y porcelanato

Proyectos		1A	2A	1B	2B	
Medición en cada proyecto	Pesaje revestimiento entrada	Peso total (kg)	3835.74	2418.92	3539.42	3539.42
	Pesaje residuo de revestimiento	Peso total(kg)	63.2	198.05	201	172.65
		Índice de residuos (%)	1.65	8.19	5.67	4.88
		Tasa de generación de revestimientos (kg/m ²)	0.47	1.67	1.57	1.35
Fecha de recolección de datos:		Junio 2020	Julio 2020	Octubre 2020	Noviembre 2020	

La mayoría de los residuos se deben a los cortes que se realizan en las piezas para la elaboración del rodapié o para la modulación según el diseño arquitectónico de cada proyecto. A diferencia del resto de residuos generados en los cuatro proyectos en estudio, en este caso en particular el proyecto 1A no presenta la tasa de generación e índice de residuo más alta, esto puede deberse a la mano de obra implementada para la colocación de los revestimientos, en cuanto al resto de proyectos los datos para la tasa de generación e índice de residuo presentan variaciones

pequeñas, lo que implica que este tipo de actividad está más controlada en los proyectos, ya sea por una mano de obra más calificada o un mayor control del aprovechamiento del material.

5.2.13 Residuo de teja asfáltica

La teja asfáltica corresponde al acabado de los techos de la empresa B, para el cálculo del índice de residuos se utilizó la ficha técnica del material para obtener el peso por metro cuadrado. En el Cuadro 19, se muestran los valores obtenidos para la tasa de generación e índice de residuos para este material, donde se aprecia una diferencia del doble entre los proyectos, a pesar que ambos cuentan con la misma área y distribución de techos.

Cuadro 19. Cuantificación de los residuos de teja asfáltica

Proyectos			1B	2B
Medición en cada proyecto	Pesaje teja asfáltica entrada	Peso total (kg)	220.16	220.16
	Pesaje residuo de teja asfáltica	Peso total(kg)	8	13.55
		Índice de residuos (%)	3.63	6.15
		Tasa de generación de la teja asfáltica (kg/m ²)	0.06	0.11
Fecha de recolección de datos:			Octubre 2020	Noviembre 2020

La colocación de la teja asfáltica en ambos proyectos estuvo a cargo del maestro de obras, se nota una diferencia entre el proyecto 1B y el 2B del doble. Según indica el maestro la colocación de este tipo de acabado implica un trabajo de gran precisión, lo que puede implicar que las medidas al realizar los cortes no fueran las indicadas o se cometieran errores en el proceso de colocación.

5.3 Índice de residuo global y tasa de generación global

En el Cuadro 20 se muestra la entrada de los materiales en kilogramos, así como el pesaje que se realizó para los residuos generados por estos materiales, se observa como los bloques de concreto para mampostería del proyecto 1A y el mortero de pega para los proyectos de la empresa B, representan los valores más elevados en cuanto a residuos (por peso).

Cuadro 20. Pesos de entrada y salida de los materiales para los cuatro proyectos en estudio.

Material	Entrada (Kg)			Salida (Kg)			
	Proyecto 1A	Proyecto 2A	Proyectos 1B- 2B	Proyecto 1A	Proyecto 2A	Proyecto 1B	Proyecto 2B
Concreto premezclado	41760	39000	58800	0	0	99.7	0
Block paredes de mampostería	30557.4	30644.4	29472.55	1082.45	344.5	425.4	242.85
Block de entrepiso	-	-	-	-	-	457.9	450.7
Escombros	84400	80360	100570	1884.8	785.15	24.75	33.95
Varilla	3852.03	3208.74	3923.19	51.9	171.9	8.75	19
Mortero de pega	6000	5600	4720	30.5	32.5	1090.8	1069.40
Repello grueso	6000	5200	7583.6	325.78	7.85	343.15	352.20
PVC	187.79	162.78	263.21	9.71	5.61	4.45	2.2
Madera	440.54	440.54	110.2	70.6	61.85	0	59.1
Hierro galvanizado	243.01	230.8	345.32	21.7	21.7	30.45	64.5
Estereofón	-	-	-	300	16.33	-	-
Revestimiento cerámico y porcelanato	3835.74	2418.92	3539.42	63.2	198.05	201	172.65
Lámina de yeso	1211.64	1084.59	1290.57	66.95	53.77	47.95	29.55
Perfiles de aluminio	100.31	73.44	52.18	11.05	9.35	3.4	3.7
Teja asfáltica	-	-	220.16	-	-	8	13.55
Total	178588.52	168424.21	210890.4	3924.59	1708.56	2820.7	2513.35

En el Cuadro 21, se muestran los resultados obtenidos para el índice de residuo global, donde se consideraron aquellos materiales de los cuales se poseían los datos de entrada, quedando por fuera el estereofón y el block de entrepiso, ya que las empresas no cuentan con las cantidades de entrada.

Cuadro 21. Índice global de residuos para cada uno de los proyectos.

Proyecto	1A	2A	1B	2B	Promedio
Índice de residuo global (%)	2.19	1.67	1.34	1.19	1.60

Del Cuadro 21 es importante destacar como tres de los cuatro proyectos en estudio presentan similitudes del índice de residuo global. Se obtiene una diferencia de 1% entre el valor obtenido para el proyecto 1A (mayor valor) y el proyecto 2B (menor valor), siendo una diferencia insignificante. El valor del peso para los residuos de bloques de concreto, en comparación con el resto de materiales es uno de los más alto, tomando en cuenta que los sistemas constructivos de ambas empresas se basa en sistemas modulares, es decir, que basados en el supuesto que la longitud de las paredes se modula para evitar cortes en los bloques, lo que esperaría un desperdicio mínimo. Sin embargo, como se mencionó en la sección 5.2.2 Residuos de blo, los residuos generados por este material en específico se deben a otros factores como los son malas prácticas constructivas y diferencias en la mano de obra.

Como se puede apreciar en el Cuadro 22, se determina la tasa de generación global de cada uno de los proyectos, para este cálculo al igual que para el índice de residuo sólido global se consideró el escombro (concreto, mortero de pega, repello grueso y tierra).

Cuadro 22. Cálculo de la tasa de generación (kg/m²) para cada proyecto

Proyectos	Salida (Kg)			
	Proyecto 1A	Proyecto 2A	Proyecto 1B	Proyecto 2B
Concreto premezclado	0	0	99.7	0
Escombros	1884.8	785.15	24.75	33.95
Block paredes de mampostería	1082.45	344.5	425.4	242.85
Block de entrapiso	-	-	457.9	450.7
Varilla	51.9	171.9	83.75	19
Mortero de pega	30.5	32.5	1090.8	1069.40
Repello grueso	325.78	7.85	343.15	352.20
PVC	9.71	5.61	4.45	2.2
Madera	70.6	61.85	0	59.1
Hierro galvanizado	27.65	21.7	30.45	64.5
Estereofón	300	16.33	-	-
Revestimiento cerámico y porcelanato	63.2	198.05	201	172.65
Lámina de yeso	66.95	53.77	47.95	29.55
Perfiles de aluminio	11.05	9.35	3.4	13.55
Teja asfáltica	-	-	8	0.10
Total	3924.59	1708.56	2820.7	2513.35
Tasa de generación (Kg/m ²)	29.24	14.41	22.04	19.63
Promedio	21.83		20.84	

La tasa de generación presenta variaciones de hasta 14.83 Kg/m² entre los proyectos en estudio, estas diferencias están directamente relacionadas con las técnicas constructivas y la contratación

de mano de obra. El alto valor en la tasa de generación se debe a principalmente a los siguientes residuos: bloques de concreto, escombros, mortero de pega y repello grueso.

Comparando los resultados obtenidos para los dos sistemas modulares en estudio, se tiene que el índice de residuo global, es muy similar entre ambos sistemas modulares. Sin embargo, para la tasa de generación los resultados presentan mayores diferencias entre los proyectos de la empresa A, mientras que los de la empresa B son similares. Se obtiene una menor tasa de generación en empresa B con respecto a la empresa A, con un valor de 0.99 Kg/m² dicha diferencia podría atribuirse a la mano de obra, según indica el ingeniero a cargo de la empresa B, algunos cuentan con más de diez años de laborar para la empresa, esto puede incidir en una mano de obra con mayor conocimiento de las técnicas constructivas utilizadas en la empresa, a diferencia del personal de la empresa A.

Analizando los resultados puntuales obtenidos para el índice de residuos en los bloques de concreto y varilla, materiales que representan una de las mayores diferencias entre los dos sistemas. La empresa A presenta valores significativos con respecto a los obtenidos en la empresa B, esta diferencia tan marcada es importante de analizar, pues en ambos sistemas se maneja la teoría de modular las dimensiones de las paredes para evitar el residuo de bloques, por lo tanto, las diferencias deberían ser mínimas. Por lo tanto, considerando las principales diferencias observadas durante la ejecución de los proyectos se tiene que:

- La empresa A presenta una mayor rotación de personal, mientras que la empresa B cuenta con los mismos desde años atrás, lo que permite adecuar a la cuadrilla a los métodos constructivos de la empresa.
- En la empresa A se logró identificar gran cantidad de residuos de bloques provenientes de cortes en las paredes para la colocación de la tubería, contrario a la empresa B, donde esta práctica constructiva no se lleva a cabo.
- En la empresa A se logró identificar que la cantidad de bloques considerados para desperdicio (bloques que se pueden quebrar) por parte de la empresa Armabloque es mayor a los que se consideran en el caso de la empresa B. Estos bloques enteros de la empresa A no se reutilizan, ya que las cantidades para los otros proyectos ya contemplan desperdicio, por lo tanto, se consideran sobrantes.
- Para la tasa de generación de la varilla se presentan diferencias de hasta 152.9 Kg/m², entre los proyectos 2A y 2B, esta diferencia se debe principalmente al exceso de

armadura enviada por la empresa Armabloque a los proyectos. Sin embargo, al comparar los proyectos 1A y 1B, se tiene una diferencia de 31.85 Kg/m², siendo el proyecto 1B el que presenta mayor tasa de generación, por lo tanto, existen diferencias entre la generación de residuos en los proyectos que no se pueden determinar.

5.5 Comparación de resultados con otras investigaciones

Los resultados obtenidos en la presente investigación son los siguientes: una tasa de generación de residuos sólidos promedio de 21.33 kg/m² y un índice global promedio de 1.60%. Estos resultados se compararon con los de otras investigaciones, los cuales se muestran en el Cuadro 23.

Cuadro 23. Comparación de resultados con otros estudios de residuos en viviendas modulares y no modulares (confinada)

Análisis	Bolaños (2021)	Marín (2021)	Rímolo (2021)	Castro (2019)	Leiva (2011)	Delgado (2010)
Tipo de vivienda	Mampostería modular: Armabloque e Integra	Mampostería modular: Armabloque	Mampostería confinada (-200 m ²)	Mampostería confinada (+200 m ²)	Mampostería confinada (190 m ²)	Mampostería modular: Masterblock e Integra
Total tasa de generación (kg/m ²)	<p>Global: 21.33</p> <p>Excluyendo: escombros, perfiles de aluminio, láminas de yeso y revestimientos cerámicos: 11.93</p> <p>Bloques de concreto: 4.04</p> <p>Considerando únicamente los proyectos de con sistema Armabloque y excluyendo: escombros, perfiles de aluminio, láminas de yeso y revestimientos cerámicos: 9.23</p> <p>Excluyendo: perfiles de aluminio, láminas de yeso, teja asfáltica y revestimientos cerámicos: 17.21</p> <p>Concreto, madera y acero: 5.56</p> <p>Concreto y bloques de mampostería: 4.25</p> <p>Bloques Integra: 2.61</p>	Global: 9.98	Global: 6.55 Bloques: 1.87	Global: 142.08 Excluyendo: alambre negro, tejas, discos y tarros: 139.57	Global: 11.4 Concreto y bloques de mampostería: 10.01	Bloques Integra 5.45
Índice de residuos (%)	Global: 1.60 Bloques: 1.73 Madera: 20.92 Varillas: 2.33 PVC: 2.78	Global: 1.54 Bloques: 2.95 Madera: 11.79 Acero: 5.72 PVC: 7.60	Madera: 30.68 Bloques de mampostería: 1.16 Metal: 0.44 Plástico: 3.66	Global: 15.65 Excluyendo: alambre negro, tejas, discos y tarros: 15.63	-	Bloques: 2.83 Madera: 6.23 Acero: 2.10 PVC: 8.83

Considerando los resultados más recientes obtenidos por Marín (2021), para la tasa de generación y el índice de residuos sólidos para el sistema Armabloque, se tiene: 9.98 kg/m² y 1.54%, respectivamente. Para realizar una comparación directa entre los datos de Marín (2021) y los obtenidos en el presente estudio para los proyectos de la empresa A, los cuales corresponden al sistema Armabloque, se realiza una homologación de los residuos, para ello se excluyen los siguientes residuos: escombros, revestimiento cerámico, perfiles de aluminio y láminas de yeso, obteniendo una tasa de generación y un índice de residuo sólido promedio de: 9.23 kg/m² y 2.13%, respectivamente. Ahora tomando en cuenta los cuatro proyectos en análisis del presente estudio, y de igual manera excluyendo: escombros, perfiles de aluminio, láminas de yeso y revestimientos cerámicos o porcelanato, se tiene una tasa de generación e índice de residuo de: 11.93 kg/m² y 1.99%, respectivamente. Los resultados de Marín (2021), son más aproximados a los obtenidos en el presente estudio en comparación con los de Castro (2019), los cuales se analizaron más adelante. Se deben considerar los factores que en ambos estudios generan incertidumbre, como la acumulación y medición de los datos. En su análisis Marín (2021) menciona que la entrada de madera para cada proyecto se aproximó, debido a un desconocimiento por parte de la empresa del consumo real por vivienda. Para el repello según menciona, realizó el pesaje de residuo de paredes con dimensiones conocidas, estimando la generación por metro cuadrado, posteriormente se basó en planos para el cálculo de áreas repelladas, Por otro lado, en el presente estudio las empresas cuentan con la información de entrada de madera para cada proyecto, y el residuo de repello se pesó en su totalidad.

Comparando la tasa de generación global de Rímolo (2021) se tiene una diferencia de 14.78 Kg/m², siendo mayor la tasa de generación para las construcciones modulares. Analizando únicamente los bloques de concreto, Rímolo (2021) tiene un promedio para las tres viviendas analizadas de 1.87 Kg/m² y el promedio de los bloques para los cuatro proyectos de este estudio es de 4.04 Kg/m², una diferencia de aproximada del doble. Esto quiere decir, que los resultados obtenidos por Rímolo (2021) reflejan que en la actualidad las viviendas en serie construidas de manera confinada pueden generar menos residuos que las viviendas modulares.

Al realizar la comparación con el estudio realizado por Castro (2019), la caracterización y cuantificación de los residuos de obra gris presentan la misma línea de trabajo, sin embargo, dicha investigación se basó en viviendas de gran tamaño (más de 200 m²), dando como resultado para la tasa de generación e índice de residuo, respectivamente: 142.08 Kg/m² y 15.65 %. Para

ambos casos, los valores obtenidos en esta investigación son menores a los obtenidos por Castro (2019), sin embargo, estos valores consideran materiales que no fueron contemplados en la presente investigación, entre ellos: clavos, alambre negro, tejas, discos, cables eléctricos, cartón, tarros. Excluyendo los valores de los residuos mencionados anteriormente de los resultados de Castro (2019), se obtienen nuevos parámetros de tasa de generación e índice de residuos sólidos: 139.57 kg/m² y 15.63%, respectivamente. Para los datos de la presente investigación se debieron eliminar los materiales estudiados que no forman parte del análisis de Castro (2019), tales como: perfiles de aluminio, láminas de yeso y revestimientos cerámicos y porcelanatos. Con esta exclusión se obtiene una tasa de generación y un índice de residuos sólidos de: 17.21 kg/m² y 1.3%, con esto se logra homogenizar en la medida de lo posible, los materiales estudiados en cada caso, con ello se pretende que los datos sean comparables. Con la homogenización de los materiales medidos en ambos estudios, se aprecia una diferencia significativa entre las tasas de generación y el índice de residuo sólido, de los sistemas modulares y los sistemas tradicionales, lo que valida la teoría que los residuos generados en las construcciones modulares, son inferiores a los generados en las construcciones tradicionales.

Los resultados de este estudio se comparan con los obtenidos por Leiva (2011) para viviendas con sistema tradicional, sin embargo, este estudio incluyó únicamente tres materiales: concreto, madera y acero, donde se indica una tasa de generación de 11.4 kg/m², siendo este resultado menor al promedio obtenido en el presente estudio con un valor de 21.33 kg/m², con una diferencia de 9.93 kg/m², esto debido a la cantidad de materiales considerados en cada investigación. Homologando los resultados del presente estudio con los obtenidos por Leiva (2011), se obtiene para estos datos una tasa de generación de 5.56 kg/m². La diferencia constructiva del presente estudio y el de Leiva (2011) se basa en la modulación de los bloques, realizando una comparación exclusivamente del material considerado por el autor como concreto (bloques de concreto y concreto), se obtiene una tasa de generación de 10.01 kg/m², siendo mayor al promedio de tasa de generación del presente estudio para los mismos residuos, con un valor de 4.24 kg/m². Los resultados obtenidos al comparar los materiales que marcan la diferencia de los sistemas constructivos (concreto y bloques) se consolida que la generación de residuos es mayor en las construcciones tradicionales, que en las modulares.

Por último, se comparan los resultados con los de Delgado (2010), quien realizó su estudio para sistemas modulados de mampostería, específicamente para Masterblock e Integra PC, obteniendo

un índice de residuo de bloques de 2.83%, siendo mayor al promedio obtenido en el presente estudio para los residuos de bloques con un valor de 1.73%, si lo comparamos únicamente con el promedio del índice de residuo para los proyectos de mampostería modular Integra, con un valor de 1.13%, los valores se reducen alrededor de un 50%, esto puede indicar un mejoramiento en los sistemas constructivos, lo que se refleja en una disminución de los residuos, por lo tanto, un menor consumo de materias primas. De los resultados de los pesajes realizados por Delgado (2010) para cuatros viviendas modulares con un área de construcción de 82 m², donde se utilizaron bloques Integra PC, se calcula la tasa de generación promedio para los bloques de mampostería, la cual corresponde a un valor de 5.45 kg/m². Si ese resultado los comparamos con el promedio de la tasa de generación de los bloques Integra de este análisis, el cual es de 2.61 kg/m², se puede observar como el valor disminuye casi a la mitad (en 2.84 Kg/m²). Esta disminución en los residuos de bloques Integra, puede estar relacionado a las mejoras en las prácticas constructivas y manejo de los materiales.

En la Figura 45 se muestra en forma de resumen la comparación realizada para la tasa de generación del Cuadro 23, así como la diferencia en Kg/m² entre los proyectos.

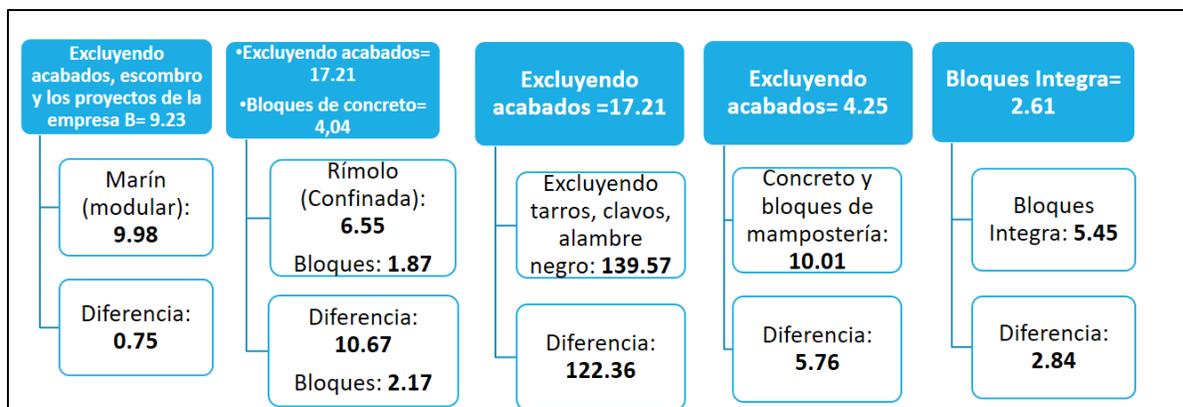


Figura 45. Homologación de la tasa de generación (Kg/m²) entre construcciones modulares y no modulares (confinada).

Capítulo 6. Conclusiones y Recomendaciones

6.1. Conclusiones

De la presente investigación, se realizan las siguientes conclusiones:

- La tasa de generación de residuos obtenida para los sistemas modulares estudiados: Armabloque e Integra, es menor a dos de los estudios realizados a viviendas con sistema tradicional (confinada), de igual manera es menor al estudio realizado en viviendas modulares de Masterblock e Integra PC y similar al estudio realizado por Marín (2021), donde estudió el sistema modular Armabloque, con esto se puede concluir de manera general, que la tasa de generación de residuos sólidos en las construcciones de viviendas con sistemas modulares es menor en más de un 50% que la generación de residuos asociada a construcciones de viviendas de mampostería tradicional. Además, para el análisis particular de residuos de bloques, se concluye la generación de este residuo es menor para los sistemas modulares.
- Se esperaba que el resultado obtenido para el índice de residuo sólido de la madera fuera alto, esto debido a que la madera forma parte únicamente del proceso constructivo. Solo se cuantificó este residuo en tres de los cuatro proyectos estudiados, en el proyecto 1B no se logró cuantificar residuos de este material debido a lo mencionado en la sección 5.2.8 Residuos de madera lo anterior pudo deberse a reutilización de la madera en otros proyectos, o que este material no fuera considerado por el primer maestro de obras, como un residuo por no tratarse de un material propio de la vivienda.
- El residuo con menor índice de residuo sólido es el concreto premezclado con un valor de 0.04%. Al tratarse de viviendas en serie, los modelos del estudio se han construido anteriormente, por lo que se cuenta con la cubicación exacta para el concreto premezclado, esto se traduce en un desperdicio casi de cero, ya que se logró pesar una sección de concreto premezclado en el proyecto 1B de la etapa de contrapiso. Para el resto de proyectos los residuos son de cero, tanto para la etapa de contrapiso como de entrapiso. En segundo lugar, está el escombros con un valor global de 0.82%, dentro de esta categoría se encuentran los residuos de bloques de concreto, concreto, mortero de pega y repello, de los cuales no se logró definir su categoría individual debido a que se encontraban combinados y su separación no fue posible. Al tratarse de sistemas modulares, es de esperar que este valor sea bajo, pues está directamente relacionado con

el concreto y los bloques de mampostería, los cuales representan valores de índice de residuos bajos en comparación al resto.

- Para los bloques de mampostería se obtiene un índice de residuo de 1.75%, es de esperar que este material presente un valor bajo, debido a la modulación de las paredes. Este porcentaje se atribuye principalmente a la etapa de transporte, almacenamiento y manipulación durante la construcción de las viviendas, sin embargo, en el campo se pudo observar que para los proyectos asociados a la empresa A, un alto porcentaje está relacionado a las prácticas constructivas, tal y como se desarrolló en la sección 5.2.2 Residuos de blo. Por lo tanto, se concluye que el residuo generado por los bloques de mampostería en construcciones modulares, no está asociado al sistema como tal, sino a factores secundarios como los mencionados anteriormente, es por esto que no se puede esperar un valor de cero en el residuo de este material.
- Los dos materiales con el índice de residuo sólido más altos son el acero y el mortero de pega, con valores de: 12.07% y 11.71%, respectivamente. Referente al acero, para los cuatro proyectos en estudio se obtiene de manera individual valores por arriba del 8% del índice de residuo, los diseños asociados a los techos generan cortes en las piezas que posteriormente no pueden ser utilizados en otros proyectos. Por su parte, el mortero de pega presenta variaciones considerables entre los proyectos de ambas empresas, en la empresa A para los proyectos 1A y 2A, se tienen los siguientes valores: 0.51% y 0.58%, respectivamente, mientras que en la empresa B se tiene para el proyecto 1B un valor de 23.11% y para el proyecto 2B un valor de 22.66%, estas diferencias tan marcadas corresponden a la manera de separación y almacenamiento de los residuos. En la empresa A, un alto porcentaje de los residuos se almacenaba de forma combinada (mortero de pega, repello, concreto y bloques), el mortero de pega que logró pesarse de los proyectos de la empresa A, corresponden a los que se recolectaban durante las visitas, previo a que se combinaran con otros, mientras que en la empresa B, los operarios recolectaban los residuos de manera que se evitaba que se mezclaran entre sí. Los residuos generados del mortero de pega se relacionan de manera directa con la mano de obra.
- El esterofón se implementó en el sistema de entepiso de la empresa A, este residuo no representa a nivel peso un valor considerable, sin embargo, en términos de volumen se torna considerable, la mayor parte de este material se contamina con tierra y restos de materiales cementicios, además, por cada vivienda la empresa Armabloque envía un lote

de estereofón, por tal motivo este material no es reutilizado en otras construcciones. Esto se traduce a un alto volumen de residuo en los rellenos sanitarios, según indica O'neal (2017), en su reportaje sobre la prohibición del estereofón en la Universidad de Costa Rica, el estereofón tarda cientos de años en degradarse.

- Entre los proyectos 1A y 2A se observaron y cuantificaron diferencias en los residuos de bloques de concreto, repello grueso y escombros, relacionados directamente a la mano de obra, la cual se explica de manera detallada en la sección 5.2.6 Residuos de repello grueso. En la empresa B, las principales diferencias se dieron en los residuos de bloques, varilla y acero, en este caso la mano de obra estuvo conformada por los mismos operarios en ambos proyectos, lo que dificulta determinar las variables que pudieron incidir en la cuantificación de los residuos.
- El espacio para el almacenamiento y las cuadrillas influyeron directamente la separación de los residuos, en el caso de la empresa A, se contaba con poco espacio de almacenamiento, no se permitió el uso de recipientes para la separación de los residuos, esto debido a que las casas aledañas estaban habitadas. La mano de obra variaba semanalmente, por lo que no conocían la dinámica de separación y almacenamiento, lo que dificultó la toma de datos, se debían recoger los residuos que se encontraban en toda el área de la construcción, no hay certeza que la totalidad de los residuos pesados sean equivalentes al total generado, esto quiere decir que se desconoce si entre las visitas realizadas se desecharon residuos que no se pudieron pesar. En la empresa B, la cuadrilla se mantuvo constante, conocían la dinámica y recogían diariamente los residuos y se disponían de forma separada en las bateas destinadas en un área cercana a los proyectos, una vez pesados se retiraban a un acopio común. La única variable, fue el cambio de maestro de obras, inicialmente el maestro de obras no almacenó los residuos de los materiales que forman parte únicamente del proceso constructivo como la madera.
- Se logró cuantificar y categorizar los residuos de la obra gris y los acabados, a pesar de que los proyectos presentaron atrasos en el cronograma a raíz de la pandemia del COVID- 19. Los materiales que generaron residuos en la etapa de acabados corresponden a, los revestimientos cerámicos colocados en: baños, cocina y pisos. Perfiles de aluminio y láminas de yeso, utilizados en la elaboración de estructuras livianas. Otros acabados como ventanería, muebles de cocina y baños, así como puertas, pasta y pintura no generaron residuos, ya que en su mayoría corresponden a subcontratos que rectifican las

medidas de los materiales una vez finalizada la obra gris. En cuanto a la pasta y pintura, en caso de sobrantes son utilizados en caso de requerir detalles finales o son utilizados en otros proyectos.

- Los resultados que se obtienen de la tasa de generación y el índice de residuo sólido a raíz de esta investigación, son indispensables para un correcto manejo de los residuos en el país, así como las distintas estrategias de manejo de residuos sólidos del Ministerio de Salud, y los Planes de Manejo de Residuos Sólidos de las municipalidades. Esta información forma parte de la política pública del país, permite al gobierno desarrollar el Plan de Acción para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos.
- El índice de residuos permite establecer el porcentaje de desperdicio que se genera de cada material, esto permite a las empresas determinar cuáles materiales están por arriba del porcentaje de residuo que se considera desde el inicio de la obra, y tomar medidas en caso que este valor sea mayor al estimado. Un exceso de residuos se implica un incremento en los gastos en disposición de los residuos.
- Este tipo de estudios es el primer paso para la reducción de los residuos, ya que identificar y cuantificar los residuos que se producen en las construcciones permite mejorar los métodos constructivos y realizar una mejor gestión de los residuos. Identificando a nivel local centros de acopio donde se puedan destinar algunos de los residuos.
- Al comparar los resultados obtenidos con desarrollos en serie que utilizan el sistema constructivo confinado, se presentan diferencias considerables en la tasa de generación, siendo de mayor valor para los proyectos con sistemas constructivos modulares. Esto genera incertidumbre en la teoría de los sistemas modulares, pues los resultados de la comparación son contrarios a los esperados. Por lo tanto, es importante continuar con este tipo de investigaciones que permita validar la eficiencia de los sistemas en materia de reducción de residuos sólidos.
- Se logró detectar que las buenas prácticas constructivas generan menos residuos, dentro de estas se puede mencionar la instalación oportuna de las tuberías eléctricas y mecánicas, lo que evita realizar picas en las paredes. También se observó la medición de presión en las tuberías, en caso de ser necesario permite realizar acciones correctivas antes de las chorreas o colocación de revestimientos.

6.2. Recomendaciones

Las siguientes recomendaciones, pretenden ayudar a la disminución en la tasa de generación de los residuos sólidos y una optimización de los materiales.

- Antes de iniciar los proyectos, se debe planificar la clasificación y disposición de los residuos dentro de la obra. Los centros de acopio facilitan una correcta disposición de los residuos, para ello deben estar bien delimitadas y rotuladas. El acceso a los centros de acopio debe ser fácil y estar cercanos a los puntos de generación.
- El plan de manejo para los residuos sólidos que se establezca en el proyecto debe ser del conocimiento de todos los involucrados en el proceso constructivo, debe estar visible para que los colaboradores tengan clara la separación de los residuos. El acompañamiento y constante refrescamiento al personal sobre la importancia de reducir, separar y reutilizar los residuos es crucial para que se comprometan con un adecuado manejo de los mismos.
- Los residuos que se encuentren en los centros de acopio deben retirarse periódicamente, para evitar que estos se acumulen y se genere una mezcla de los residuos, así como contaminación de los mismo que afecte su reutilización. El exceso de residuos puede ocasionar complicaciones para la disposición de nuevos residuos, lo que puede contribuir a que los colaboradores los dispongan en otros sitios.
- El bloque de estereofón cumple la única función de rellenar los espacios generados entre las viguetas y vigas de entrepiso, esto puede ser sustituido por bloques de concreto, este cambio en las prácticas constructivas disminuye los volúmenes de residuos.
- Establecer cuales residuos pueden ser reitegrados a la línea de producción de las empresas que los suministran y coordinar una adecuada separación de estos residuos, esta opción podría ser viable con los residuos de varilla, hierro galvanizado u otros metales.
- En países europeos y de Norte América, se lleva a cabo el reciclaje de residuos cementicios, en nuestro país se podrían reutilizar en los rellenos sanitarios o como material base de otros elementos constructivos como calles o aceras.
- Mejorar las inspecciones realizadas por los encargados de la obra, esto permite identificar a tiempo las actividades que están generando mayor desperdicio, tal es el caso de picas en las paredes de mampostería para la colocación de tubería. Una correcta inspección y

control de las etapas constructivas permite prever actividades que aumenten la generación de residuos.

- En el caso de la empresa A, se debe tener una comunicación directa y constante con el cliente que permita notificar de manera oportuna los cambios en el modelo de la vivienda. Esto permitiría a la empresa Armabloque, la cual es responsable de suministrar la mayor parte de los materiales de la obra gris, realizar las modificaciones correspondientes en las armaduras y cantidades de bloques a entregar, con esto se minimizaría el desperdicio generado a raíz de estas modificaciones.
- Ante la comparación de los resultados obtenidos en el presente estudio y los de Rímolo (2021), se deben realizar más estudios de este tipo que permitan definir de manera más clara si estas diferencias son puntuales a las empresas en estudio o se debe a modificaciones en los sistemas constructivos que han dado como resultado variación en la teoría de disminución de residuos mediante construcciones modulares.
- Se recomienda realizar estudios con casas modulares que no sean construidas en serie, para determinar si esta variante en el sistema constructivo representa un aumento o disminución de los indicadores. Además, se lograría una comparación más directa con los resultados obtenidos por Castro (2019).
- Se recomienda a la Escuela de Ingeniería Civil estandarizar la metodología para la caracterización de los materiales en trabajos con la misma línea de investigación. Esto permitiría realizar comparaciones más directas entre los resultados, sin necesidad de generar homologaciones, de igual manera incluir los residuos generados a raíz de la etapa de acabados, ya que actualmente solo este proyecto cuenta con dicha información.

7. Bibliografía

- Abarca, L., & Leandro, A. G. (2016). *Manejo Eficiente de Materiales de Construcción*.
- Abarca, L., & Leandro, A. G. (2017). Situación actual de la gestión de los materiales de construcción en Costa Rica. *Revista Tecnología En Marcha*, 29(4), 111. <https://doi.org/10.18845/tm.v29i4.3042>
- ArcelorMittal, (2019). Varilla Deformada: características técnicas. Recuperado de: <https://costarica.arcelormittal.com/varilla-deformada>
- Armabloque, (2021). Planos de diseño estructural de viviendas en estudio. Facilitado por la empresa constructora.
- Armabloque, (2020,a). *Bloque 15*. [PDF]. Ficha técnica. Recuperado de: <https://www.armabloque.com/wp-content/uploads/2019/05/FICHA-BLOQUE-15-AB.pdf>
- Armabloque, (2020,b). *Bloque 30*. [PDF]. Ficha técnica. Recuperado de: <https://www.armabloque.com/wp-content/uploads/2019/05/FICHA-BLOQUE-30-AB.pdf>
- Armabloque, (2020,c). *Bloque 45*. [PDF]. Ficha técnica. Recuperado de: <https://www.armabloque.com/wp-content/uploads/2019/05/FICHA-BLOQUE-45-AB.pdf>
- Cámara Costarricense de la Construcción. (2018). *Informe Económico del Sector Construcción*.
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA). (2010). *Código Sísmico de Costa Rica*. San José.
- Cruz, N. (2015). *Gestión Integral de Residuos de Construcción y Demolición: Análisis y propuesta de solución para el cantón de Alajuela, Costa Rica*. Trabajo de titulación para obtener el grado de Magister en Medio Ambiente con mención de Ingeniería de Tratamiento de Residuos, Universidad de Santiago de Chile.
- 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.
- Díaz, N. (2015). *Caracterización de los residuos generados en construcciones nuevas de edificios en el Área Metropolitana*. Proyecto Final de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica.
- Fernández, D. (2015). *Evaluación de un nuevo sistema constructivo de mampostería modular de concreto en Costa Rica*. Proyecto Final de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica.

- Leandro, A. G. (2005). *Administración y Manejo de los Desechos en Proyectos de Construcción Etapa 1: Evaluación y Monitoreo*.
- Leandro, A. G. (2007). *Administración y Manejo de los Desechos en los Proyectos de Construcción Etapa II Alternativas de Manejo Introducción*.
- 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.
- 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.
- Metalco, (2021). Perfil estructural tipo C: Propiedades mecánicas. Recuperado de: <https://www.metalco.net/productos/perfil-tipo-c/>
- Metalco, (2021). Tubería estructural. Recuperado de: <https://www.metalco.net/productos/tuberia-estructural/>
- Ministerio de Salud. (2011). *Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos 2010-2021*. [PDF]. 1era Edición. 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>
- Plan de Residuos Sólidos (PRESOL), (2008). *El Plan de Residuos Sólidos Costa Rica: Resumen*. [PDF]. Programa CYMA. Recuperado de: https://www.ministeriodesalud.go.cr/gestores_en_salud/presol/3PRESOL-resumen.pdf
- Rímolo, S. (2021). *Identificación, caracterización y cuantificación de residuos de construcción en viviendas de mampostería confinada*. Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica.
- O'neal, K. (2017, Mayo 05). *¿Por qué rechazamos el estereofón en la U.C.R.?* Extraído el 17 julio, 2021 de: <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2017/05/05/por-que-rechazamos-el-estereofon-en-la-ucr.html>

8. Anexos

8.1 Anexo A: Planos estructurales armabloque

8.1.2 Planos con detalles de vigas

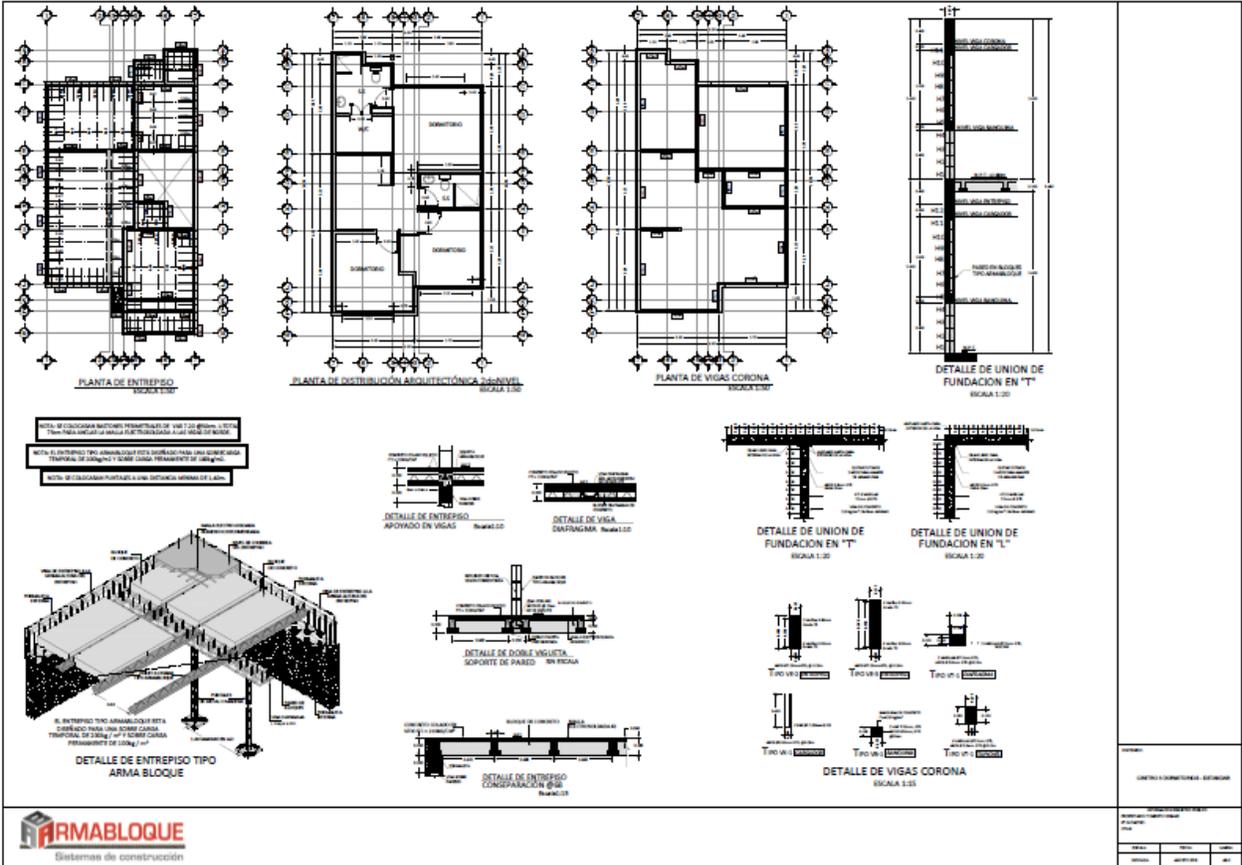


Figura 46. Detalle estructural de vigas

Fuente: Armabloque, 2021

8.1.3 Distribución de bloques y refuerzo en paredes

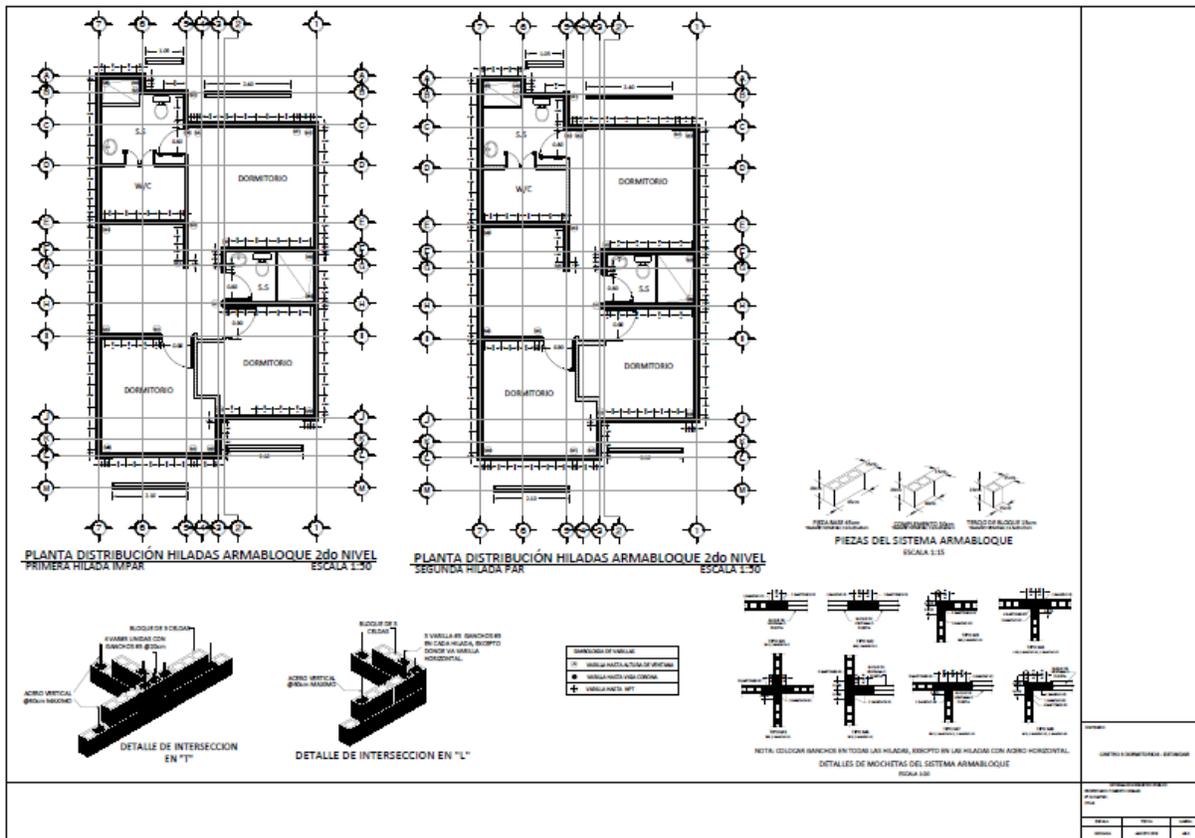


Figura 47. Planta de distribución de paredes Armablock.

Fuente: Armablock, 2021

8.2 Anexo B: Entradas de varillas

Cuadro 24. Cálculo de varilla de entrada para los proyectos de la empresa A.

Material de entrada	Unidades	Peso (Kg)
Proyecto 1A		
Varilla 5.25 mm grado 70	430	438.6
Varilla 7.2 mm grado 70	351	673.92
Varilla corrugada #3 G70	290.232	975.17952
Varilla corrugada #3 G60	292.32	1743.39648
Varilla corrugada #2 grado 60	14	21
Proyecto 2A		
Varilla 5.25 mm Grado 70	316	322.32
Varilla 7.2 mm Grado 70	311	597.12
Varilla corrugada #3 G70	242	813.12
Varilla corrugada #3 G60	245	1461.18
Varilla #2 grado 60	10	15

Cuadro 25. Varilla de entrada para los proyectos 1B y 2B.

Material de entrada	Unidades	Peso (Kg)
Varilla lisa #2	208	479.232
Varilla lisa #4	4.5	26.811
Varilla corrugada #3 G60	593.67	1994.7312
Varilla corrugada #4 G60	238.5	1422.414

Fuente: Empresa B, 2021

8.3 Anexo C: Entradas de PVC

8.3.1 Tubería mecánica

Cuadro 26. Entradas de tubería mecánica empresa A

Material de entrada	UNIDADES	Peso (Kg)
Proyecto 1A		
Tubo 38 mm SDR41 PVC	5	10.2
Tubo 50 mm SDR41 PVC	3	9.36
Tubo 75 mm SDR41 PVC	6	41.04
Tubo 100 mm SDR41 PVC	5	45.9
Tubo 12 mm CPVC	4	0.417322835
Tubo 18 mm CPVC	4	0.695538058
Tubo 25 mm SCH40 PVC	3	8.37
Tubo 12 mm SCH40 PVC	7	9.921259843
Tubo 18 mm SDR40 PVC	1	1.88976378
Proyecto 2A		
Tubo 38 mm SDR41 PVC	5	10.2
Tubo 50 mm SDR41 PVC	2	6.24
Tubo 75 mm SDR41 PVC	6	41.04
Tubo 100 mm SDR41 PVC	4	36.72
Tubo 12 mm CPVC	4	2.503937008
Tubo 18 mm CPVC	4	4.173228346
Tubo 25 mm SCH40 PVC	1	1.417322835
Tubo 12 mm SCH40 PVC	5	7.086614173

Fuente: Empresa A, 2021

Cuadro 27. Tubería eléctrica de entrada empresa B

Material de entrada	METROS	Peso (Kg)
Proyectos 1B y 2B		
Tubo 32 mm SDR41 PVC	21	3.36
Tubo 38 mm SDR41 PVC	11	3.74
Tubo 50 mm SDR41 PVC	38	19.76
Tubo 75 mm SDR41 PVC	21	23.94
Tubo 100 mm SDR41 PVC	54	82.62
Tubo 12 mm CPVC	28	2.921259843
Tubo 18 mm CPVC	25	4.347112861
Tubo 12 mm SCH40 PVC	39	9.212598425
Tubo 18 mm SCH40 PVC	34	10.70866142

Fuente: Empresa B, 2021

8.3.2 Tubería eléctrica

Cuadro 28. Entrada de tubería eléctrica empresa A

Material de entrada	Unidades	Peso (Kg)
Proyecto 1A		
Tubo 12 mm pvc	50	30
Tubo 18 mm pvc	25	15
Tubo 38 mm pvc	10	15
Proyecto 2A		
Tubo 12 mm pvc	46	27.6
Tubo 18 mm pvc	23	13.8
Tubo 38 mm pvc	8	12

Cuadro 29. Tubería eléctrica de entrada empresa B

Material de entrada	Unidades	Peso (Kg)
Tubo 12 mm pvc	117	70.2
Tubo 18 mm pvc	21	12.6
Tubo 25 mm pvc	7	6.3
Tubo 38 mm pvc	9	13.5

8.4 Anexo D: Ficha técnica tubería estructural

TUBERÍA ESTRUCTURAL CUADRADA EN HIERRO NEGRO Y GALVANIZADA (especificaciones técnicas y propiedades geométricas de las secciones)											
SECCIÓN	Largo (m)	b (cm)	t (cm)	A (cm ²)	Fy (Mpa)	Ix = Iy (cm ⁴)	Sx = Sy (cm ³)	rx = ry (cm)	Acabado y Peso (kg/unidad)		
									H.N.	H.G.	
50 X 50	1.20 mm	6	5.0	0.120	2.280	0	8.92	3.57	1.98	11.135	11.346
	1.50 mm		5.0	0.150	2.810	0	10.82	4.33	1.96	13.919	14.13
	1.80 mm		5.0	0.180	3.330	0	12.60	5.04	1.94	16.703	16.914
	2.37 mm		5.0	0.237	4.370	227	16.24	6.50	1.93	21.992	
	3.17 mm		5.0	0.317	5.506	227	19.15	7.66	1.86	28.972	
72 X 72	1.20 mm		7.2	0.120	3.340	0	27.60	7.67	2.88	15.891	16.192
	1.50 mm		7.2	0.150	4.130	0	33.80	9.39	2.86	19.864	20.165
	1.80 mm		7.2	0.180	4.915	0	39.75	11.04	2.84	23.837	24.138
	2.37 mm		7.2	0.237	6.442	227	51.39	14.28	2.82	31.385	
	3.17 mm		7.2	0.317	8.296	227	63.54	17.65	2.76	41.831	
91 X 91	1.50 mm	9.1	0.150	5.330	0	72.10	15.67	3.68	24.83	25.206	
	1.80 mm	9.1	0.180	6.355	0	85.17	18.52	3.66	29.796	30.172	
100 X 100	1.50 mm	10.0	0.150	5.813	227	93.18	18.63	4.36	27.418	27.834	
	1.80 mm	10.0	0.180	6.931	227	110.21	22.04	3.98	32.902	33.317	
	2.37 mm	10.0	0.237	9.050	227	141.65	28.33	3.95	43.32		
	3.17 mm	10.0	0.317	11.847	227	181.37	36.27	3.91	57.943		

Figura 48. Especificación técnica: Peso de la tubería estructural

Fuente: Metalco, 2021

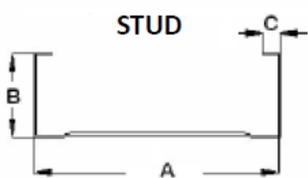
8.5 Anexo E: Entradas de tubería estructural por proyecto

Cuadro 30. Tubería estructural de entrada en cada proyecto.

Material de entrada	Unidades	Peso (Kg)
Proyecto 1A		
TUBO 2X3" EN 1,50MM	11	134.05
TUBO HN 4"X4"X1,5MM	4.00	108.97
Proyecto 2A		
TUBO 2X3" EN 1,50MM	10	121.86
TUBO HN 4"X4"X1,5MM	4.00	108.97
Proyectos 1B y 2B		
Tubo estructural 50x100x1.8 mm	36	143.04
Tubo estructural 100x100x1.8 mm	18	98.7
Tubo galvanizado 50x100x1.5 mm	9	30.255
Tubo estructural 150x150x2.38 mm	6	65.75
Tubo estructural 72x72x2.38 mm	0.5	2.615
Tubo estructural 50x75x1.58 mm	1.6	4.402666667
Tubo estructural 75x75x1.5 mm	0.17	0.5627

8.6 Anexo F: Ficha técnica perfiles de aluminio

STUD							
Tamaño	A	B	C	Tolerancia A-B-C	Peso kg/pie*		
					28	26	24
2 1/2" x 1 1/4"	2 1/2"	1 1/4"	1/4"	±1/16"	0.114	0.145	0.173
3 5/8" X 1 1/4"	3 5/8"	1 1/4"	1/4"		0.140	0.177	-
4" X 1 1/4"	4"	1 1/4"	1/4"		0.151	0.191	0.228
4" X 2"	4"	2"	1/4"		-	-	0.277
Longitud estándar de 10'				COPANIT 69-2006/ASTMA924/A924M			



TRACK							
Tamaño	A	B	Tolerancia A-B	Peso kg/pie*			
				28	26	24	
2 1/2" x 1 1/4"	2 1/2"	1 1/4"	A +1/16"	-	-	0.167	
3 5/8" X 1 1/4"	3 5/8"	1 1/4"	B ± 1/16"	-	0.167	0.200	
4" X 1 1/4"	4"	1 1/4"		-	-	0.212	
Longitud estándar de 10'				COPANIT 69-2006/ASTMA924/A924M			

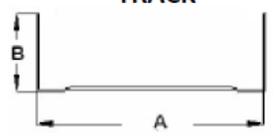


Figura 49. Perfiles livianos: Stud y Track.

Fuente: HOPSA, 2019