

UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
EXTENSIÓN CANTAURA  
ESCUELA DE INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL



**PROPUESTA PARA EL USO DE VIRUTA DE MADERA Y  
CARTÓN RECICLADO EN LA ELABORACIÓN DE  
PANELES PREFABRICADOS**

*Autor(a):*

**Bastidas Carrasco, Vladysbel Yackelin**

Trabajo de Grado presentado ante la Universidad de Oriente como requisito  
parcial para optar al título de:

**INGENIERA CIVIL**

Cantaura, Abril de 2019

UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
EXTENSIÓN CANTAURA  
ESCUELA DE INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL



**PROPUESTA PARA EL USO DE VIRUTA DE MADERA Y  
CARTÓN RECICLADO EN LA ELABORACIÓN DE  
PANELES PREFABRICADOS**

*Autor(a):*

**Bastidas Carrasco, Vladysbel Yackelin**

---

Prof. Jesús Álvarez

Tutor Académico

Cantaura, Abril de 2019

UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
EXTENSIÓN CANTAURA  
ESCUELA DE INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL



**PROPUESTA PARA EL USO DE VIRUTA DE MADERA Y  
CARTÓN RECICLADO EN LA ELABORACIÓN DE  
PANELES PREFABRICADOS**

El jurado hace constar que ha asignado a esta tesis la calificación de:

**APROBADO**

---

Prof. Laurimar Rojas  
Jurado Principal

---

Prof. Daniel Cabrera  
Jurado Principal

---

Prof. Jesús S. Álvarez  
Tutor Académico

Cantaura, Abril de 2019

## RESOLUCIÓN

De acuerdo al artículo 41 del Reglamento de Trabajos de Grado:

***"Los trabajos de grado son de exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y solo podrán ser utilizados a otros fines, con el consentimiento del Consejo de Núcleo quien lo participará al Consejo Universitario, para su autorización".***



## **DEDICATORIA**

A Dios Todopoderoso, por tu amor infinito, por tu guía y por estar presente en cada paso de este camino que me permitiste emprender.

A mi familia, por ser los pilares que me mantienen en pie y me acompañan en todo momento.

A todas aquellas personas que Dios puso en mi camino para llenar mi vida de aprendizaje y con los cuales compartí buenos momentos.

**Vladysbel Bastidas**

## **AGRADECIMIENTOS**

Todos los que hemos transitado este camino como estudiantes en la Universidad de Oriente, sabemos que no ha sido fácil y que el recorrido está lleno de muchos altibajos y circunstancias que muchas veces doblegan nuestra voluntad para seguir adelante. Pero lo que tenemos en común, es que tenemos a nuestro lado a personas que nos apoyan y motivan día a día a continuar, acompañándonos siempre en esta importante lucha y que merecen toda nuestra gratitud y agradecimiento.

A Dios Todopoderoso, por concederme vida, salud y las fuerzas para poder llevar a cabo cada una de mis tareas diarias y por tu infinita protección. Por brindarme las herramientas y los recursos a mí y a mi familia para estudiar y salir adelante, por cada logro alcanzado y cada minuto vivido, gracias por escuchar mis oraciones y no desampararnos.

A mis padres Vladimir Bastidas y Berki Carrasco, quienes con amor, trabajo, esfuerzo y sacrificio han contribuido en cada uno de mis logros. Gracias por acompañarme y hacerme más fácil y llevadero este (ya de por sí) difícil camino. Por sembrar en mí valores, constancia y disciplina.

A mi hermano Miguel Bastidas, por brindarme su apoyo incondicional y estar allí cuando más lo he necesitado, dándome siempre ese empujón y las palabras de aliento.

A mi asesor Prof. Jesús Álvarez, por aceptar ser mi tutor y ser participe en el desarrollo de este trabajo de Grado al compartir sus conocimientos, gracias por la orientación y ayuda que me brindo para la realización de esta tesis. Sus respuestas a mis inquietudes me permitieron ampliar aún más mis conocimientos y obtener una visión más clara de todo el proceso.

A mis amigos Yamileth Urbaez, gracias por estar allí y por tu amistad incondicional durante todos estos años de carrera que compartimos juntas y por formar parte de esos recuerdos que perdurarán por mucho tiempo, a Alfonso Cermeño por su apoyo y a Jorge Missel por brindar su apoyo, ayuda y colaboración.

A cada uno de mis profesores, quienes compartieron conmigo sus conocimientos y por ser partícipes de mi crecimiento como estudiante a lo largo de estos años. Gracias por sembrar en mí semillas de conocimiento.

A la Casa más Alta, mi amada UDO, por recibirme en su momento con los brazos abiertos y ser testigo de mi crecimiento a lo largo de estos años.

**¡A TODOS MIL GRACIAS!**

**Vladysbel Bastidas**

UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
EXTENSIÓN CANTAURA  
ESCUELA DE INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL



**PROPUESTA PARA EL USO DE VIRUTA DE MADERA Y CARTÓN  
RECICLADO EN LA ELABORACIÓN DE PANELES  
PREFABRICADOS**

**Tutor:**

Álvarez, Jesús S.

**Autor:**

Bastidas C., Vladysbel Y.

Fecha: Mayo 2018

**RESUMEN**

La presente investigación tuvo como objetivo proponer el uso de desechos como el aserrín y el cartón para la elaboración de elementos constructivos, todo esto como una manera de impulsar el reciclaje de los mismos, evitar su acumulación en vertederos, promover el cuidado del ambiente y elaborar elementos más livianos y económicos al usar pocas cantidades de cemento. Los mismos se utilizaron en la elaboración de paneles prefabricados que cumplirán la función de tabiquerías en viviendas. Para evaluar su comportamiento fue necesario realizar diversos ensayos según las normas ASTM E514, D695, E84 y ACI 216.1-97 para medir sus propiedades impermeabilizantes, resistencia al impacto, dispersión de la llama, resistencia al fuego y coeficiente térmico respectivamente. Al analizar los resultados se concluyó que los paneles elaborados con los materiales ya mencionados (reforzados con fibras de coco y utilizando como aglutinantes cemento y almidón) cumplen con los criterios mínimos establecidos en las normas correspondientes, lo que lo convierte en ideal para su uso como tabiques en viviendas sociales, además de presentar una reducción de los costos de fabricación de los mismos y bajo impacto ambiental de acuerdo al análisis de Ciclo de Vida (A.C.V.) en comparación con los sistemas tradicionales.

**Palabras claves:** Reciclaje, impacto ambiental, propiedades, tabiquerías, viviendas sociales.



## INDICE GENERAL

|   |              |
|---|--------------|
| <b>RESOLUCIÓN</b> .....   | <b>iv</b>    |
| <b>DEDICATORIA</b> .....  | <b>v</b>     |
| <b>AGRADECIMIENTOS</b> .....  | <b>vi</b>    |
| <b>RESUMEN</b> .....  | <b>viii</b>  |
| <b>INDICE GENERAL</b> .....   | <b>ix</b>    |
| <b>INDICE DE TABLAS</b> .....   | <b>xiv</b>   |
| <b>INDICE DE FIGURAS</b> .....  | <b>xvii</b>  |
| <b>INDICE DE GRÁFICAS</b> .....   | <b>xviii</b> |
| <b>INTRODUCCIÓN</b> .....   | <b>xix</b>   |
| <b>CAPITULO I</b> .....   | <b>23</b>    |
| <b>EL PROBLEMA</b> .....  | <b>23</b>    |
| 1.1 Planteamiento del Problema .....  | 23           |
| 1.2 Objetivos de la Investigación .....   | 26           |
| 1.2.1 Objetivo General.....   | 26           |
| 1.2.2 Objetivos Específicos .....   | 26           |
| 1.3 Delimitaciones .....  | 26           |
| 1.4 Justificación de la investigación.....  | 27           |
| <b>CAPITULO II</b> .....  | <b>30</b>    |
| <b>MARCO TEORICO REFERENCIAL</b> .....  | <b>30</b>    |
| 2.1 Antecedentes de la Investigación .....  | 30           |
| 2.2 Bases Teóricas Referenciales .....  | 33           |
| 2.2.1 Ventajas del uso de materiales compuestos sustentables en la<br>elaboración de elementos constructivos..... | 33           |
| 2.2.2 Elementos utilizados en la construcción de las viviendas en<br>Venezuela.....                               | 35           |

|   |           |
|---|-----------|
| 2.2.2.1 Bloques de concreto.....  | 37        |
| 2.2.2.2 Ladrillos de Arcilla .....  | 40        |
| 2.2.2.3 Construcción prefabricada con paneles M2 y drywall .....                                  | 43        |
| 2.2.3 Materiales alternativos para la elaboración de paneles prefabricados propuestos .....       | 44        |
| 2.2.3.1 Cartón Reciclado.....   | 45        |
| 2.2.3.2 Utilización de aserrín para elaborar elementos constructivos .....                        | 46        |
| 2.2.3.3 Fibra de coco: Incorporación en la industria constructiva.....                            | 47        |
| 2.2.4 Ensayos requeridos para medir las propiedades de los paneles prefabricados propuestos ..... | 48        |
| 2.2.4.1 Aislamiento térmico .....   | 48        |
| 2.2.4.2 Resistencia y dispersión del fuego .....  | 49        |
| 2.2.4.3 Impermeabilidad.....  | 49        |
| 2.2.4.4 Ensayo de resistencia al impacto .....  | 50        |
| 2.2.5 Análisis del Ciclo de Vida (A.C.V.).....  | 50        |
| 2.2.5.1 Hacia una construcción sustentable .....  | 50        |
| 2.2.5.2 Definición de ACV .....   | 51        |
| 2.2.5.3 Etapas del ACV .....  | 52        |
| 2.2.6 Definición de términos básicos .....  | 59        |
| <b>CAPITULO III.....</b>  | <b>63</b> |
| <b>MARCO METODOLÓGICO.....</b>  | <b>63</b> |
| 3.1 Tipo de Investigación .....   | 63        |
| 3.2 Nivel de la Investigación .....   | 64        |

|  |  |           |
|--|--|-----------|
| 3.3  | Diseño de la Investigación .....   | 65        |
| 3.4  | Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....  | 65        |
| 3.4.1  | Técnicas de recolección de datos .....   | 65        |
| 3.4.2  | Instrumentos de recolección de datos .....   | 67        |
| 3.5  | Técnicas de análisis y procesamientos de datos.....  | 69        |
| 3.6  | Metodología Técnica: Etapas de la Investigación.....   | 70        |
| 3.6.1.                                       | Metodología aplicada en la elaboración de bloques de prueba y paneles prefabricados .....                                    | 70        |
| 3.6.2.                                       | Metodología aplicada en la realización de ensayos para medir las propiedades de los paneles.....                             | 75        |
| 3.6.3  | Metodología aplicada en el análisis de los impactos potenciales originados por la elaboración de los paneles propuestos..... | 82        |
| 3.6.3.1.                                     | Etapa I: Definición del Objetivo y alcance .....   | 82        |
| 3.6.3.2.                                     | Etapa II: Recolección de datos de inventario .....   | 87        |
| 3.6.3.3                                      | Etapa III: Aspectos generales del Software para realizar el ACV.....   | 91        |
| 3.6.3.4.                                     | Etapa IV: Método para Evaluación de resultados.....  | 92        |
| 3.6.4.                                       | Metodología aplicada para llevar a cabo A.P.U de los paneles..   | 93        |
| <b>CAPITULO IV</b>                           | .....  | <b>94</b> |
| <b>PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> | .....  | <b>94</b> |
| 4.1  | Hacer paneles prefabricados con la utilización de viruta de madera y cartón reciclado .....                                  | 94        |
| 4.1.1  | Características de los materiales.....   | 101       |
| 4.1.2  | Cantidades usadas de cada material para elaborar los paneles prefabricados.....  | 102       |

|  |     |
|--|-----|
| 4.1.3 Modelos de paneles prefabricados propuestos .....  | 106 |
| 4.2 Realizar ensayos para medir las propiedades de los paneles según las Normas ASTM correspondientes.....   | 108 |
| 4.2.1 Ensayo de Resistencia al fuego y aislamiento térmico .....   | 108 |
| 4.2.2 Ensayo de dispersión del fuego.....  | 118 |
| 4.2.3 Ensayo de Impermeabilidad .....  | 122 |
| 4.2.4 Ensayo de resistencia al impacto blando.....   | 125 |
| 4.3 Comparar los impactos ambientales potenciales producto de la elaboración de los paneles prefabricados propuestos con el sistema de tabiques tradicionales aplicando un análisis de ciclo de vida (A.C.V) bajo los parámetros de la norma ISO 140-40..... | 131 |
| 4.3.1. Comparación de Impactos ambientales producidos por el uso de los materiales para la elaboración de los paneles, con los materiales usados para elaborar los tabiques tradicionales.....   | 133 |
| 4.3.2 Comparación de Impactos ambientales producidos por el uso de la energía para la elaboración de los paneles y combustible Diesel para el traslado de materiales, con la energía y combustible usado para elaborar los tabiques tradicionales .....      | 134 |
| 4.3.3 Comparación de emisiones contaminantes emitidas durante la producción de cada elemento.....  | 137 |
| 4.3.4 Conclusiones Generales obtenidas del ACV .....   | 141 |
| 4.4 Analizar la factibilidad económica del uso de los paneles propuestos con el sistema de tabiques tradicionales, aplicando un análisis de precios unitarios (A.P.U.) con el programa Maprex.....   | 143 |
| 4.4.1 Presupuesto correspondiente a elaboración de los paneles propuestos.....   | 144 |

|   |            |
|---|------------|
| 4.4.2. Presupuesto correspondiente a la construcción de 66,58 m <sup>2</sup> de tabiquería de una vivienda de interés social..... | 146        |
| <b>CAPITULO V .....</b>   | <b>149</b> |
| <b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>  | <b>149</b> |
| 5.1 Conclusiones .....  | 149        |
| 5.2 Recomendaciones .....   | 152        |
| <b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....</b>   | <b>155</b> |

## INDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Función de los bloques de concreto de acuerdo a su espesor .....  | 37 |
| Tabla 2. Diferencias entre el Proceso de fabricación del ladrillo artesanal e industrial 1.....  | 41 |
| Tabla 3. Diferencias entre el Proceso de fabricación del ladrillo artesanal e industrial 2.....  | 42 |
| Tabla 4. Daños medioambientales e indicadores para cada categoría de impacto .....   | 56 |
| Tabla 5. Definición de cada categoría de impacto (Parte 1) .....   | 57 |
| Tabla 6. Definición de cada Categoría de impacto (Parte 2).....  | 58 |
| Tabla 7. Registro de cantidad de materiales usados para elaborar los paneles .....   | 68 |
| Tabla 8. Registro de conclusiones finales sobre el panel prefabricado propuestos obtenidos de los ensayos.....                                     | 68 |
| Tabla 9. Clasificación de dispersión del fuego y producción de humo .....  | 78 |
| Tabla 10. Permeabilidad en función del agua que penetra en 10 minutos ...  | 79 |
| Tabla 11. Tipos y fuentes de datos por proceso unitario .....  | 85 |
| Tabla 12. Datos de entrada de materiales y energía para 1m <sup>2</sup> de muro.....   | 88 |
| Tabla 13. Entrada de combustible Diesel usada por camiones para Transporte de materiales al sitio de elaboración de los paneles.....               | 89 |
| Tabla 14. Impactos y daños a la salud medidos en unidades de Daly.....   | 91 |
| Tabla 15. Impactos y daños al ecosistema medidos en unidades de PDF*M2yr (Reducción de m <sup>2</sup> de ecosistema por partículas diminutas)..... | 92 |
| Tabla 16. Impactos y daños a los recursos naturales medidos en unidades de MJ Surplus (Agotamiento por extracción continua).....                   | 92 |
| Tabla 17. Dosificación de materiales para elaborar paneles de prueba de 20x10x5cm.....   | 95 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 18. Cantidades de materiales utilizadas en el “proceso panel 1” de acuerdo al procedimiento usado para elaborar bloque de prueba 5 .....    | 102 |
| Tabla 19. Cantidades de materiales utilizadas en el “proceso panel 2” de acuerdo a las proporciones usadas para elaborar bloque de prueba 7 ..... | 103 |
| Tabla 20. Cantidades utilizadas para elaborar 50 paneles prefabricados...   | 103 |
| Tabla 21. Número y dimensiones de los paneles ensayados .....   | 108 |
| Tabla 22. Temperaturas registradas durante el ensayo de resistencia al fuego de un panel de 5 cm de espesor sin revestimiento de cemento .....    | 109 |
| Tabla 23. Temperaturas registradas en las caras no expuestas al fuego de paneles de 5 cm de espesor con revestimientos de cemento.....            | 110 |
| Tabla 24. Temperaturas registradas en las caras expuestas al fuego de paneles de 5 cm de espesor con revestimientos de cemento.....               | 111 |
| Tabla 25. Clasificación de resistencia al fuego de los elementos ensayados según ASTM E119.....   | 112 |
| Tabla 26. Cálculo del coeficiente de transmisión térmica de los paneles ...   | 116 |
| Tabla 27. Propiedades térmicas y de resistencia al fuego de tabiques tradicionales.....   | 117 |
| Tabla 28. Comportamiento del fuego observado durante el ensayo de dispersión de cada muestra (Parte 1).....                                       | 118 |
| Tabla 29. Comportamiento del fuego observado durante el ensayo de dispersión de cada muestra (Parte 2).....                                       | 119 |
| Tabla 30. Clase en la que pertenece cada muestra de acuerdo a la norma UNE-EN 13501-1 .....   | 121 |
| Tabla 31. Niveles de absorción de agua obtenidas en cada panel de prueba .....  | 123 |
| Tabla 32. Niveles de absorción de agua de los paneles prefabricados propuestos .....  | 123 |
| Tabla 33. Clasificación del nivel de absorción por norma del panel de acuerdo al espesor del friso .....  | 124 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 34. Energía de impacto en el panel a diferentes alturas .....  | 125 |
| Tabla 35. Resultados obtenidos en la primera prueba de resistencia al impacto blando de las muestras ensayadas ..... | 126 |
| Tabla 36. Resultados obtenidos en la segunda prueba de resistencia al impacto blando de las muestras ensayadas ..... | 127 |
| Tabla 37. Precios de tabiques tradicionales.....   | 143 |



## INDICE DE FIGURAS

|  |     |
|--|-----|
| Figura 1. Paneles elaborados con agrofibras.....   | 34  |
| Figura 2. Aplicaciones constructivas de la soja.....   | 35  |
| Figura 3. Ciclo de vida de la cuna a la puerta del cemento.....                                  | 38  |
| Figura 4. Variedad de Dimensiones de los ladrillos .....   | 42  |
| Figura 5. Modelo de panel emedos.....  | 43  |
| Figura 6. Etapas del A.C.V.....  | 52  |
| Figura 7. Niveles para aplicar el estudio del ciclo de vida del producto de la construcción..... | 53  |
| Figura 8. Límites del sistema de los tabiques .....  | 84  |
| Figura 9. Bloque de prueba 1, 2 y 3.....   | 96  |
| Figura 10. Bloque de prueba 4, 5, 6 y 7 .....  | 97  |
| Figura 11. Preparación de la mezcla para los paneles .....                                       | 105 |
| Figura 12. Vaciado de mezcla en encofrados .....   | 105 |
| Figura 13. Panel prefabricado incluyendo el friso (Modelo 1) .....                               | 106 |
| Figura 14. Panel prefabricado simple para unión con mortero de cemento (Modelo 2).....           | 106 |
| Figura 15. Paneles prefabricados armables sin incluir mortero de cemento (Modelo 3).....         | 107 |
| Figura 16. Paneles prefabricados de mayores dimensiones para tabiques en viviendas.....          | 107 |
| Figura 17. Prueba de resistencia al fuego a paneles sin revestimiento .....                      | 113 |
| Figura 18. Ensayo de resistencia al fuego de paneles con revestimiento...                        | 114 |
| Figura 19. Desprendimiento del Friso .....   | 114 |
| Figura 20. Ensayo de impermeabilidad para panel con revestimiento .....                          | 122 |
| Figura 21. Ensayo de resistencia al impacto de paneles sin revestimiento                         | 129 |
| Figura 22. Resistencia al impacto de panel con revestimiento de 10mm ...                         | 131 |

## INDICE DE GRÁFICAS

|   |     |
|---|-----|
| Gráfica 1. Flujo de proceso de elaboración de paneles de cartón y aserrín .                             | 87  |
| Gráfica 2. Proceso de reciclaje de aserrín y la fibra de coco .....                                     | 90  |
| Gráfica 3. Proceso de reciclaje de cartón .....   | 90  |
| Gráfica 4. Números de golpes que resisten los bloques de prueba .....                                   | 98  |
| Gráfica 5. Días de secado de los bloques de prueba .....  | 99  |
| Gráfica 6. Peso de los bloques de prueba .....  | 100 |
| Gráfica 7. Proporción de material para elaborar paneles propuestos 1 .....                              | 104 |
| Gráfica 8. Proporción de material para elaborar paneles propuestos 2 .....                              | 104 |
| Gráfica 9. Relación tiempo temperatura del panel ensayado sin friso .....                               | 109 |
| Gráfica 10. Relación tiempo temperatura del panel con friso de diferentes espesores .....               | 110 |
| Gráfica 11. Relación tiempo temperatura del panel con friso en la cara expuesta .....                   | 111 |
| Gráfica 12. Relación tiempo temperatura en ambos lados del panel con friso de diferentes espesores..... | 115 |
| Gráfica 13. Observaciones en ensayo de dispersión del fuego .....                                       | 120 |
| Gráfica 14. Niveles de absorción de agua a través del friso .....                                       | 124 |
| Gráfica 15. Comparación de costos por unidad de los tabiques correspondientes .....                     | 145 |
| Gráfica 16. Comparación de costos de 1m <sup>2</sup> de tabiquerías con cada tabique .....              | 146 |
| Gráfica 17. Comparación de costos de construcción de 66,58 m <sup>2</sup> de tabiquerías .....          | 147 |

## INTRODUCCIÓN

Estamos ante un mundo dinámico de cambios constantes, nada permanece igual por mucho tiempo y los materiales de construcción no son la excepción. En el transcurso del tiempo, el progreso de los pueblos y ciudades ha dependido en gran medida de las mejoras de los materiales con los que se trabaja. Es bien sabido que el hombre prehistórico estaba limitado a los elementos que les proporcionaba la naturaleza para la construcción de los primeros asentamientos y refugios, desde la piedra, la madera, las fibras vegetales e incluso huesos de animales, hasta la combinación de adobe y paja para la elaboración de los primeros ladrillos manufacturados en el año 13.000 A.C., siendo así el primer material compuesto para la elaboración de viviendas del que se tiene conocimiento hasta ahora (Rodríguez, 2016).

Posteriormente, con el desarrollo de la tecnología impulsada por la invención de la máquina de vapor durante la Revolución Industrial en el siglo XX, los materiales en estado natural tal y como se conocían se fueron transformando en productos más sofisticados al ser sometidos a largos procesos de manufacturación llevados a cabo en fábricas diseñadas con ese propósito. A partir de ese momento, se logró llegar cada vez más lejos para obtener nuevos materiales con mejores características y propiedades al crear equipos y maquinarias que facilitarían la extracción de la materia prima, lo que a su vez ha comprometido seriamente la calidad ambiental. Uno de ellos es el cemento, el cual representa uno de los más utilizados a nivel mundial para la construcción de edificaciones, principalmente para la construcción de viviendas por su versatilidad, propiedades, resistencia y disponibilidad.

Dicho lo anterior, se puede entender porque las actividades constructivas están relacionadas con las repercusiones negativas en materia ambiental. Esta problemática se ha agudizado en el momento en que la

población comenzó a aumentar drásticamente a nivel mundial, lo que a su vez originó un incremento en la demanda de viviendas, y por ende, de materiales de construcción, lo que promueve el “agotamiento de recursos naturales próximos, el aumento a la emisión de contaminantes y el aumento a la cantidad de residuos” (González, 2012; pág.24).

Por otro lado, se tiene que en Venezuela, a esta problemática ambiental se le suma la escases del cemento, lo que ha disparado los precios del mismo (Muñoz, 2016). Esto ha traído consecuencias económicas especialmente para las familias de bajos recursos ya que al aumentar los costos de construcción de viviendas sociales, también lo hacen los costos de adquisición de las mismas, haciéndolas menos accesibles. Por lo que es necesario contribuir con la industria de la construcción al proponer opciones muchas más económicas y amigables con el ambiente. Igual de importante es que dichos materiales sean abundantes y cuyo riesgo de desaparecer sea limitado, para de esta manera garantizar su sustentabilidad en el tiempo.

Por lo anterior, es importante no dejar de insistir y seguir centrando los esfuerzos en mejorar la realidad actual en lo que a construcciones se refiere mediante investigaciones y propuestas que tengan como objeto disminuir en lo posible los costos y el impacto ambiental negativo producido por el hecho de construir, razón por la cual nace el presente trabajo de investigación. En el mismo, se detallarán las ventajas ambientales de la utilización de los materiales propuestos (Cartón y aserrín), en comparación con los usados tradicionalmente mediante un análisis de ciclo de vida.

Igualmente se realizarán ensayos para medir las propiedades del elemento elaborado con dichos materiales para asegurar que posean el nivel de seguridad y calidad o estándar requerido para su uso como tabiques en viviendas. De hecho, existe un auge creciente por el reciclaje de materiales

con el objeto de reducir su acumulación en vertederos y su aprovechamiento alrededor del mundo, especialmente en el área de la construcción. En relación a esto, Filho (2001) citado por González (2012), sugiere que:

“El sector de la construcción debe de empezar a modificar su forma de trabajo, que dé lugar a un nuevo paradigma contemplando la satisfacción del usuario, el menor consumo de energía y el menor impacto medioambiental” (pág.19).

Cabe destacar que los resultados obtenidos serán una guía importante para el desarrollo de alternativas de mejora tanto para el correcto reciclaje como para los paneles elaborados con los materiales propuestos de ser necesario. Para cumplir con los objetivos planteados, este trabajo se estructuró en cinco capítulos, descritos a continuación:

**Capítulo I El Problema:** Este capítulo está enfocado en plasmar de manera clara y concreta el planteamiento del problema, los objetivos, el alcance, la justificación e importancia de la investigación. Aquí se especifican los límites y parámetros requeridos para llevar a cabo la presente investigación.

**Capítulo II Marco Teórico:** Este capítulo contiene los antecedentes a este estudio, realizados por otros investigadores, los cuales fueron de utilidad para sustentar la investigación. Igualmente, para complementar este capítulo fueron expuestas las bases teóricas relacionadas con el tema propuesto. Además, se incluyen definiciones de términos básicos empleados en este trabajo.

**Capítulo III Marco Metodológico:** En este capítulo se expondrán las características que tendrá el trabajo de investigación en cuanto a su propósito, nivel y diseño, las técnicas e instrumentos de recolección de

datos, así como las técnicas de análisis y procesamiento de dichos datos. En este capítulo también está contenido la metodología o etapas aplicadas en cada uno de los objetivos.

**Capítulo IV Análisis de los Resultados:** En este capítulo se realiza la presentación y análisis de la información obtenida en el análisis de ciclo de vida (ACV) y en los ensayos realizados a cada uno de paneles prefabricados, así como los costos y el proceso de elaboración de los mismos, explicando los procedimientos para llevarlos a cabo.

**Capítulo V Conclusiones y Recomendaciones:** Este capítulo contiene las conclusiones que se lograron obtener a lo largo del proceso de investigación, además de las recomendaciones pertinentes acerca de los materiales estudiados luego de finalizar la investigación, destacando la importancia de su uso.

# **CAPITULO I**

## **EL PROBLEMA**

### **1.1 Planteamiento del Problema**

Hoy en día se puede decir que la construcción de obras civiles de gran envergadura, sobre todo en países desarrollados, ha evolucionado en los últimos años y hay una mayor preocupación por el impacto de dichas construcciones, no sólo visualmente sino también desde el punto de vista ambiental y ecológico (Rivera, 2013). La sustentabilidad se ha vuelto imprescindible, incluyendo el uso de materiales no contaminantes.

Dicho esto, en Venezuela, así como en el resto del mundo, hay una necesidad creciente de crear y construir espacios habitables para el hombre y esto se ha incrementado de forma exponencial en las últimas décadas debido al rápido crecimiento poblacional. Como consecuencia de ello, es necesario investigar los procesos constructivos actuales para así poder mejorarlos e innovar dentro de esta área utilizando los recursos existentes que generen soluciones a corto plazo, con una calidad ambiental adecuada y al menor costo posible.

Es bien sabido que en Venezuela, los bloques de concreto son el material más utilizado en la construcción tradicional de viviendas. Sin embargo, por ser el más común no lo convierte necesariamente en el más idóneo. Esto es debido, por un lado, a que la obtención de un cemento de buena calidad es cada vez más difícil, lo que encarece aún más el producto final; y por otro lado, las repercusiones negativas en materia ambiental como consecuencia de los procesos de producción de este material contribuye no

solo al agotamiento de recursos naturales, sino también a la emisión de diversos contaminantes (óxido de nitrógeno, dióxido de azufre, partículas de polvo, dioxinas y furanos) causantes de significativos daños a la salud.

Por esta razón, con las herramientas y conocimientos actuales, surge la inquietud de encontrar nuevos materiales alternativos que superen las limitaciones existentes al lograr disminuir las cantidades de cemento y, al mismo tiempo, conformar un material compuesto amigable con el ambiente que se mantenga a largo plazo y sea mucho más liviano.

De allí que el propósito de la presente investigación centre sus esfuerzos en incentivar el reciclaje de recursos que mayormente son desechados alrededor, lo que origina acumulaciones masivas de los mismos, cuando se pueden reutilizar (Fermín, 2013). Partiendo de esta idea, se propone la utilización de la viruta de madera y el cartón para su aplicación en materiales de construcción, específicamente en la elaboración de paneles prefabricados que sirvan como muros divisorios, los cuales serán reforzados con fibra de coco y utilizando como aglutinantes pocas cantidades de cemento y almidón de maíz, para luego realizar pruebas y así medir sus propiedades.

Por lo tanto, el alcance de la presente investigación contemplará la medición de las propiedades físicas de paneles elaborados con los materiales ya mencionados solo para ser usados como tabiques en viviendas en términos de impermeabilización, resistencia al impacto, dispersión del fuego, resistencia al fuego y aislamiento térmico, mediante la realización de ensayos según lo establecido en las Normas ASTM E514, D695, E84 y ACI 216.1-97 respectivamente. Posteriormente, se llevará a cabo un análisis presupuestario (A.P.U) con el uso del programa Maprex, así como un análisis de ciclo de vida (A.C.V) para determinar el costo e impacto ambiental de los



paneles prefabricados propuestos y compararlos con el impacto generado por la fabricación de los tabiques tradicionales.

Cabe destacar que a pesar de que existen investigaciones referentes a la utilización de materiales reciclables en elementos constructivos tal como el aportado por Rivera (2013), quien realizó ensayos de compresión a bloques elaborados con botellas plásticas y fibras agrícolas, la originalidad de este proyecto se basa en la creación un elemento nuevo para su uso como tabiquerías en viviendas, ya que no existen estudios relacionados con el empleo específico de los materiales aquí propuestos para elaborarlos. Por otro lado, el estudio de impacto ambiental mediante la metodología del ACV es un tema inédito en Venezuela, ya que los trabajos existentes que tratan el área de materiales de construcción tradicionales o usando materiales reciclables no detallan este aspecto.

De igual manera, la importancia del proyecto radicará en que con su desarrollo, se promueve el cuidado del ambiente mediante el reciclado coherente de estos materiales (considerados desechos urbanos) al ser incorporados a la industria de la construcción, lo que se espera resulte en una solución más económica que la construcción tradicional. Igualmente, al ser paneles prefabricados de mayores dimensiones que los elementos tradicionales y mucho más livianos, se espera que contribuya a la reducción de los tiempos de construcción de una vivienda.

Por otro lado, resulta un aporte importante para la Universidad de Oriente en cuanto a la contribución de conocimientos nuevos se refiere, además de servir como iniciativa para aquellos Ingenieros Civiles interesados en contribuir con el ambiente mediante técnicas constructivas sustentables que optimicen los recursos utilizados en la elaboración de materiales de construcción.

## 1.2 Objetivos de la Investigación

### 1.2.1 Objetivo General

Proponer el uso de viruta de madera y cartón reciclado en la elaboración de paneles prefabricados

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Hacer los paneles prefabricados con la utilización de viruta de madera y cartón reciclado.
- Realizar ensayos de impermeabilización, resistencia al impacto, dispersión del fuego, resistencia al fuego y aislamiento térmico, en base a lo establecido en las normas ASTM E514, D695, E84 y ACI 216.1-97 respectivamente, a los paneles prefabricados propuestos.
- Comparar los impactos ambientales potenciales originados por la elaboración de los paneles prefabricados propuestos con el sistema de tabiques tradicionales, aplicando un análisis de ciclo de vida (A.C.V) bajo los parámetros de la Norma ISO 140-40.
- Analizar la factibilidad económica del uso de los paneles propuestos con el sistema de tabiques tradicionales, aplicando un análisis de precios unitarios (A.P.U.) con el programa Maprex.

## 1.3 Delimitaciones

- **Delimitación Temática:** Los paneles elaborados con los materiales aquí propuestos (viruta de madera y cartón reciclado) están destinados exclusivamente para tabiquerías en viviendas sociales. Se excluye de

este trabajo los demás elementos estructurales (paredes de carga, entresijos, techos, etc). Por otro lado, se recurrió a estudios bibliográficos para recolectar algunos datos en el estudio de impacto ambiental de tabiques tradicionales, debido a que en algunas bloqueras o ladrilleras no se llevaba registro de dichos datos.

- **Delimitación Geográfica:** La investigación se llevará a cabo dentro del territorio venezolano, en la Ciudad de Cantaura Estado Anzoátegui. La realización de las muestras de paneles prefabricados, así como los ensayos experimentales para el estudio de propiedades se realizarán en la Empresa Concretos Alexcar, C.A. *Armando soluciones constructivas*, con el apoyo del Prof. Jesús Álvarez, donde se cuenta con todos los implementos necesarios para llevarlos a cabo, prestando especial cuidado en cumplir con los parámetros establecidos en las normativas correspondientes.
- **Delimitación Temporal:** El tiempo estimado en que se llevara a cabo la presente investigación (en cuanto al estudio de las propiedades de paneles prefabricados elaborados con aserrín y cartón reciclado, factibilidad económica y análisis de Ciclo de Vida de los mismos) comprenderá un lapso de 6 meses, correspondientes a los meses de Enero de 2018 hasta Julio de 2018.

#### 1.4 Justificación de la investigación

Según Sampieri *et al* (2010), “la mayoría de las investigaciones se efectúan con un propósito definido, no se hacen simplemente por capricho de una persona; y ese propósito debe ser lo suficientemente fuerte para que se justifique su realización” (pág.20). En tal sentido, el impacto ambiental

negativo provocado por la fabricación de tabiques tradicionales (bloque de concreto, ladrillos de arcilla y paneles de cartón yeso), sumado al alto precio de los mismos en Venezuela, hace necesario que se hallen materiales alternativos para la construcción de viviendas, especialmente de interés social, ya que son cada vez más las familias de bajo poder adquisitivo que se ven afectados por el alto costo que representa obtener una vivienda privada, aunque los paneles propuestos también podrían ser utilizados en estas últimas.

Por lo que una de las aportaciones es en cuanto a las ventajas que ofrece el reciclaje de materiales como el cartón y la viruta de madera (aserrín), ya que al ser considerados residuos urbanos una vez que cumplen la primera función para los que fueron diseñados (como es el caso de las cajas de cartón), se acumulan en vertederos y rellenos sanitarios.

Por lo tanto, con la incorporación de estos materiales a la industria de la construcción, se ayudaría a las fábricas y empresas que trabajan con los mismos a eliminarlos, lo que además abarataría los precios de elaboración de los paneles al ser materiales abundantes que prácticamente no poseen valor comercial.

Lo mismo puede decirse de las fibras de coco, empresas reconocidas como Cocosete o las fábricas que producen manteca de coco usados por muchas panaderías para hacer panes, las desechan. Aprovechar este factor y las buenas propiedades que le pueden brindar las fibras a elementos constructivos, resulta ser una buena opción para la realización de los paneles propuestos que al ser combinados con el aserrín y el cartón, puede garantizar que los mismos sean livianos, resistentes y económicos, por lo que no requiere la utilización de equipamiento de construcción ya que sus componentes son ligeros.

Cabe destacar que se espera que el costo de transporte de estos materiales hasta el sitio de elaboración del panel, conlleve un porcentaje de ahorro en comparación con el traslado de materiales usados en tabiques tradicionales. Esto debido a que el cartón, el aserrín y la fibra son elementos livianos, y a menor peso menor consumo de combustible, lo que significa menor costo de transporte.

Además, este sistema permite el uso de trabajadores con poca experiencia en las construcciones civiles, específicamente en la producción de casas. Por lo que se pueden poner en marcha industrias a pequeña escala de recolección de estos materiales reciclables destinados a la construcción de viviendas, lo que creará nuevos puestos de empleo que puedan generar ingresos y permita la construcción de viviendas accesibles para grupos de personas con ingresos medios y bajos.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO REFERENCIAL**

A continuación se presentará las referencias teóricas necesarias para sustentar el presente trabajo de investigación, aquí se expondrán técnicas y definiciones de varios autores; además de trabajos de grado que mostrarán los precedentes en relación al tema propuesto. Por último, se definirán términos básicos utilizados.

#### **2.1 Antecedentes de la Investigación**

Acosta (2014), realizó un trabajo de grado basado en el análisis del comportamiento de bloques huecos de concreto usados en Venezuela, en comparación con bloques que fueron modificados con la adición de fibras de polipropileno, los cuales fueron sometidos a un estudio de compresión pura para 18 muestras del mismo, por lo que la metodología de la investigación fue de carácter experimental. En las conclusiones y resultados arrojados por los ensayos, se estableció que el bloque experimental presento un incremento del 18% de resistencia en comparación con el bloque convencional, además de presenciar mejoras en la fisuración de los mismos. Otra de las ventajas es en cuanto al aumento de la impermeabilidad, lo que contribuye a que el agua no dañe el material por agrietamientos debidos a la humedad.

El aporte proporcionado por el autor referenciado, conlleva a la búsqueda de evolucionar en el área de la construcción mediante la mejora de las propiedades de uno de los materiales más utilizados en la industria, que es el cemento. Así como las fibras de polipropileno, las propiedades

mejoradas de los materiales compuestos son un hecho comprobado en muchas áreas. Sin embargo, es importante contribuir al desarrollo del campo de la ingeniería para ampliar su utilidad en todos los niveles constructivos.

Por otro lado, Frías (2014), publicó un artículo donde se indicó la importancia de trabajar con tecnologías innovadoras que desarrollen alternativas para reducir los impactos negativos sobre el medio ambiente, destacando que hoy en día la construcción in situ con prefabricados es lo más cercano a lograr este aspecto al reducir el consumo de energía en comparación con la construcción tradicional de obras civiles.

Por lo tanto, el aporte para la presente investigación fue de carácter informativo y documental, en donde se pudo establecer la notable calidad de materiales y acabados de este tipo de sistema constructivo, superando incluso a la construcción tradicional. Por lo que resulta una opción innovadora que al combinarse con la utilización de materiales reciclables, supondría notables beneficios vinculados a la sustentabilidad.

Desde otro punto de vista, en el trabajo realizado por Rivera (2013), se destacó que hoy en día existe un gran auge por la conservación del medio ambiente, pues hay una gran cantidad de materiales reciclables que pueden ser reutilizados de distintas formas, siendo una de ellas como sustitutos de agregados en la construcción. El autor realizó experimentos combinando cemento con PET (botellas plásticas) y desechos agrícolas (fibra de coco y de caña), para determinar el volumen requerido de estos materiales como sustitutos total o parcial del agregado. Los resultados arrojados determinaron que dichos materiales son una buena alternativa para la elaboración de tabiques ecológicos utilizados como piezas divisorias. Se recomendó el uso de algún epóxico que atribuyera mejores propiedades a los tabiques para ser utilizados como elementos estructurales.

El aporte de este investigador fue de carácter teórico y metodológico. El trabajo realizado por Rivera (2013) es una invitación a buscar nuevos usos al material ensayado de no obtenerse los resultados esperados que se requieren para ser usado en la construcción de edificaciones, a fin de evitar desperdicios. De esta manera se ayuda a crear conciencia para vivir en una sociedad con más respeto por su entorno. De igual manera, este trabajo es una guía eficiente para la elaboración de bloques de concreto con materiales alternativos.

De igual manera, Zuluaga (2013), realizó una investigación donde se evaluó el comportamiento del concreto elaborado con desechos de icopor, los cuales fueron recuperados de almacenes y fruterías, siendo la mayoría empaques de alimentos y electrodomésticos, esto con el objeto de reducir el volumen de vertidos en los rellenos sanitarios urbanos. Para determinar su funcionabilidad, se trituró el icopor y se incluyó en 3 mezclas de concreto con diferentes proporciones como reemplazo del agregado fino, para luego realizar ensayos de asentamiento, resistencia a la compresión, módulo de elasticidad y módulo de rotura a los 28 días.

Los resultados obtenidos fueron similares al compararlos con mezclas de concreto convencional, por lo que se concluyó que el concreto elaborado con este material como sustituto del 20% del agregado fino tiene potencial para ser utilizado como material de construcción de elementos estructurales. El aporte significativo de esta investigación es en cuanto a la información teórica que brinda, debido a que los nuevos conocimientos expuestos sirven para sustentar el presente trabajo de investigación. Además de motivar a buscar soluciones en materia de construcción e innovación, como lo es el uso de materiales no convencionales en los diseño de mezclas de concreto y



los buenos resultados que se podrían obtener tanto técnicas como económicamente.

## **2.2 Bases Teóricas Referenciales**

### **2.2.1 Ventajas del uso de materiales compuestos sustentables en la elaboración de elementos constructivos**

La utilización de materiales compuestos en la elaboración de elementos constructivos son un hecho comprobado y ha dado buenos resultados desde tiempos muy remotos, incluso desde tiempos Bíblicos. Por mencionar un ejemplo, en el antiguo Egipto, los esclavos israelitas utilizaban la paja para aumentar la resistencia de los ladrillos fabricados con adobe (Éxodo 1:14; 5:7 Versión Reina Valera). Muchos siglos después, dicho material (agro-fibra sobrante de la recolección del trigo) ha sido utilizado para la creación de edificios y proyectos de alto impacto social como las viviendas, debido a que se comprobó que posee muchas ventajas, entre ellas capacidad de aislamiento acústico y térmico, reduciendo el impacto energético y ambiental (Serrano, 2014).

Desde este punto de vista, es importante destacar que en el mundo existen muchos materiales que al igual que la paja, tienen potencial para ser utilizados en la elaboración de elementos constructivos como bloques y paneles prefabricados. Tal es el caso de los plásticos, la viruta de madera, el caucho reciclado y desechos agrícolas, como la fibra de coco. Muchas veces, por verse como materiales frágiles o por considerarse desechos una vez usados, resulta impensable que puedan ser reutilizados para la construcción. Sin embargo, así es, aunque a primera vista no lo parezca. Se ha comprobado que estos desechos poseen propiedades físicas y químicas que permiten su buen desempeño al ser combinados con otros elementos como

el barro, la arcilla o el cemento. En tal sentido, De Mena (2014), ejemplificó las aplicaciones y propiedades constructivas de algunos de estos materiales:

**Agro fibras:** Este recurso derivado de las cosechas agrícolas como el trigo, el cáñamo o el lino se transforman en paneles de construcción después de un proceso de compresión, tal como lo indica la Figura 1. Los fabricados especialmente a partir del trigo, tienen mayor resistencia en comparación con los de yeso, un buen aislamiento acústico, resistencia al fuego y al moho.



**Figura 1. Paneles elaborados con agrofibras**

**Fuente: De Mena 2014**

**Álamo:** Esta árbol se cultiva en plantaciones forestales y de él se extraen fibras de madera, cuyo uso en el área de la construcción más común es para la elaboración de tableros de virutas orientadas o núcleos de madera contrachapada. De igual manera, por la suave textura del álamo, es utilizado en acabados y molduras.

**Soja:** Se utiliza como sistema de aislamiento de espuma proyectada (poliuretano ecológico) formado por aceite de soja y plástico reciclado. De igual manera, el aceite de soja también es un componente importante

en pinturas con base de aceite, cemento pigmentado no tóxico y sellantes de madera como se muestra en la Figura 2.



**Figura 2. Aplicaciones constructivas de la soja**

**Fuente: De Mena 2014**

**Caucho:** Al combinar el caucho con savia extraída de árboles tropicales se pueden crear sustancias cuyo uso especial es para revestimiento de suelos. El caucho sintético y el reciclado son los más adecuados para revestir superficies de uso intensivo como instalaciones deportivas y al culminar su vida útil se pueden reciclar y readaptar para otros usos.

### **2.2.2 Elementos utilizados en la construcción de las viviendas en Venezuela**

Actualmente, las viviendas de mayor demanda son las de interés social, las cuales consisten en soluciones habitacionales que tienen como propósito facilitar a la población de bajo poder adquisitivo o de bajos recursos la obtención de las mismas. Por lo general, estas viviendas tienen un área reducida (entre 60 y 100 metros cuadrados) y las cuales están conformadas por una cocina, una sala-comedor, entre dos y tres habitaciones y entre uno o dos cuartos de baño. Según Arreaza y Estrada (2004), los sistemas

constructivos usados en Venezuela para la construcción de viviendas de interés social son los siguientes:

**Sistema Constructivo de concreto armado:** Este sistema es utilizado para la construcción de la losa de fundación y de los elementos de soporte de la vivienda (vigas y columnas), como su nombre lo indica consiste en reforzar el concreto con barras de acero o cabillas con el objeto de soportar y transmitir los distintos esfuerzos. El bloque de concreto y los ladrillos de arcilla son los elementos tradicionalmente utilizados para el levantamiento de paredes en este sistema constructivo.

**Sistema Constructivo de estructuras metálicas:** Este sistema modular para la construcción de viviendas está conformado por bases, vigas de carga, vigas de amarre y columnas de material metálico, con espesores que varían dependiendo del tipo de vivienda. Al igual que el sistema constructivo de concreto armado, este método emplea bloques de concreto y ladrillos para el levantamiento de las paredes de las viviendas.

**Sistema EMEDOS:** Emplea materiales livianos, lo que facilita el levantamiento de las viviendas y reduce el tiempo de ejecución de las mismas. Los paneles m2 (EMEDOS), se componen de una malla de acero galvanizado y una superficie de poliestireno expandido (EPS). Este panel abarca todos los componentes de la vivienda, incluyendo las paredes.

Dicho lo anterior, hay que destacar que los dos primeros sistemas constructivos son los usados tradicionalmente en la construcción de viviendas de interés social en Venezuela. Sin embargo, el EMEDOS es el que se ha popularizado últimamente por su bajo costo e impacto ambiental. A continuación se explican cada uno de los elementos usados para el levantamiento de las paredes de dichas viviendas:

### 2.2.2.1 Bloques de concreto

Las construcciones de cualquier índole a nivel mundial, son en su mayoría de concreto. La Norma COVENIN 337-78, define el concreto como “la mezcla constituida por el cemento, agregados inertes (finos – gruesos) y agua en proporciones adecuadas para que se obtengan las resistencias prefijadas” (pág.02). Es decir, el concreto comúnmente se conoce en el medio como el material de construcción que se diseña bajo normas específicas dependiendo del proyecto donde se vaya a utilizar y con las características económicas para un determinado fin; razón por la cual, es el material más versátil y utilizado, por sus excelentes propiedades tanto físicas como mecánicas.

**Tabla 1. Función de los bloques de concreto de acuerdo a su espesor**

| <b>Tipo de bloque</b> | <b>Dimensiones (cm)<br/>(b x h x e)</b>         | <b>Función</b>  |
|-----------------------|---|---|
| Tipo B                | Modulares: 40 x 20 x 10<br>Reales: 39 x 19 x 9  | Paredes que no soportan cargas o paredes divisorias               |
| Tipo A                | Modulares: 40 x 20 x 15<br>Reales: 39 x 19 x 14 | Paredes internas, muros divisorios, pueden ser de uso estructural |
| Tipo A1               | Modulares: 40 x 20 x 20<br>Reales: 39 x 19 x 19 | Paredes de carga, expuestas o no a la humedad                     |

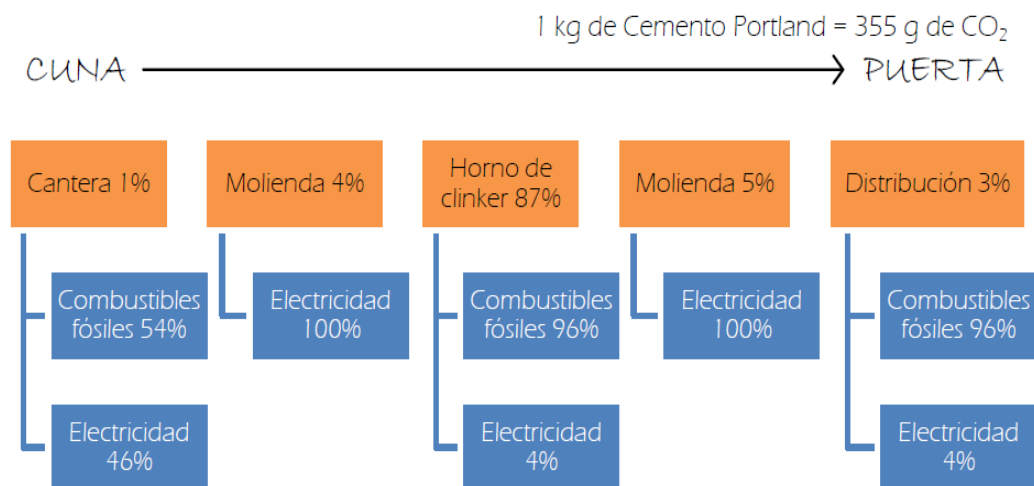
**Fuente: COVENIN 1981**

De acuerdo a lo anterior, se tiene que los bloques de concreto están conformados por una mezcla de piedra picada pulverizada, arena, cemento y

agua. Además, es un elemento prefabricado hueco utilizado para el levantamiento de elementos verticales como los muros y cuya función o uso dependerán del espesor del mismo, tal como lo indica la Tabla 1. Para fines de la investigación propuesta el estudio solo se enfocará en el material más problemático en cuanto a su difícil obtención y la cantidad de energía que requiere para su fabricación.

- **El cemento**

El cemento Portland es un producto artificial que se obtiene luego de un largo proceso que inicia con obtención y preparación de las materias primas (caliza y arcillas), pasando por la molienda y calcinación de las mismas con el objeto de reducir el tamaño de sus partículas y mediante el mezclado obtener un cuerpo homogéneo conocido como clinker. El proceso de fabricación final termina con la molienda conjunta del clinker, yeso y otras adiciones que proporcionan al concreto diferentes propiedades (González, 2012). En la Figura 3, se indica los porcentajes de combustibles y electricidad que se requiere en cada proceso.



**Figura 3. Ciclo de vida de la cuna a la puerta del cemento**

Fuente: Filho 2001, adaptada por González 2012

Ahora bien, existen dos factores de igual relevancia que merecen especial mención y por los cuales se pretende desarrollar la presente investigación, las mismas son:

**Problemática medioambiental del cemento:** En primer lugar, hay que señalar que, muchos de los problemas medioambientales están relacionados con la fabricación de uno de los componentes esenciales para la elaboración del concreto: el cemento. Según González (2014), con la llegada de la máquina de vapor y el auge de la Revolución Industrial en pleno siglo XX, también surge la primera industria cementera en el continente americano emprendida por el estadounidense Joseph Aspdin, y de allí su fabricación se extendió por todo el mundo. Al mismo tiempo, se evidenció ciertos aspectos negativos que trajo consigo el nacimiento del cemento, como por ejemplo el drástico incremento de temperatura en el hemisferio norte del planeta como consecuencia de dicha fabricación. De igual manera, es responsable del aumento de la emisión de gases contaminantes al ambiente.

**Difícil obtención del cemento:** En segundo lugar, en Venezuela, la obtención de cemento Portland se ha vuelto cada vez más complejo. En este aspecto, Muñoz (2016), señaló que esto es debido a que la baja producción de las fábricas ha encarecido los costos del polvillo de construcción y su obtención es cada vez más difícil hasta para los dueños de ferreterías, por lo que la construcción de viviendas puede resultar extremadamente caro, sobre todo por la dificultad para obtener los materiales de construcción debido a la constante alza de los precios. Incluso, el costo de una paleta de 48 sacos de este material ha llegado a incrementar un 97% en menos de 3 meses.

Si bien este trabajo no pretende eliminar por completo la utilización del cemento, si busca la manera de utilizar menores cantidades de ella mediante la incorporación de otros materiales que permitan tal propósito en la

elaboración de los paneles prefabricados propuestos. La respuesta a ambas problemáticas está en rellenos sanitarios, vertederos, depósitos o cualquier otro lugar destinado a la disposición de desechos provenientes de fábricas, locales comerciales o de los mismos hogares, donde la acumulación masiva de plásticos, vidrios, cauchos reciclados, madera, entre otros, podría suponer la incorporación de los mismos a la industria de la construcción por sus características sustentables.

Cabe destacar que esta idea es sustentada por Rivera (2013) y Zuluaga (2013), quienes indican que la investigación y desarrollo de nuevos métodos para perfeccionar los diseños sustentables de cemento combinados con materiales reciclables, apuntan hacia procesos con menores desperdicios, disminución de costos y construcción, además de menor impacto ambiental.

#### **2.2.2.2 Ladrillos de Arcilla**

La utilización de ladrillos para construir casas tuvo su auge en las antiguas civilizaciones de Babilonia y Egipto. Como es sabido, en aquellos tiempos no se contaba con tecnología que facilitara la fabricación del mismo, por lo que durante mucho tiempo fueron elaborados manualmente. En la actualidad este método aun es empleado, con la diferencia de que también se han desarrollado equipos y maquinarias dispuestas en diversas fábricas distribuidos alrededor del mundo en donde se procesa y elabora el ladrillo de forma más rápida. El elaborado manualmente se le conoce como ladrillo artesanal y el elaborado en fábricas es el ladrillo industrial.

Ambos métodos siguen los mismos pasos, pero se diferencian en las maquinarias empleadas en cada proceso, como se indica en las Tablas 2 y 3. Por otra parte, la fabricación de estos ladrillos son responsables de la emisión de gases contaminantes a la atmósfera desarrolladas como



consecuencia del proceso de cocción de los mismos (Cardeñas et al 2011, citado por González 2012). Sin embargo, estos ladrillos son muy utilizados por ser un material económico, resistente y de fácil transporte. Además, son muy maleables por la consistencia de la arcilla, lo que permite elaborar piezas de dimensiones variables, tal como lo indica la Figura 4.

**Tabla 2. Diferencias entre el Proceso de fabricación del ladrillo artesanal e industrial 1**

| <b>Procesos</b>         | <b>Ladrillo Artesanal</b>   | <b>Ladrillo Industrial</b>   |
|-------------------------|---|--|
| Obtención de materiales | La tierra y aserrín se hallan en sitios cercanos y se extraen con maquinarias pesadas | La tierra y aserrín se halla en sitios lejanos y se extraen con maquinarias pesadas.   |
| Transporte              | La distancia de transporte es menor.  | La distancia de transporte es mayor  |
| Mezclado                | Las tierras se mezclan con arcilla, arena y agua de forma manual con palos de madera. | Se tritura la arcilla con un molino y se pasa por un mezclador de hierro forjado que tiene un tornillo que realiza la mezcla y la transporta a la extrusora. |
| Moldeado                | En moldes de madera con el tamaño y forma requerido.                                  | La extrusora impulsa la mezcla que sale por una boquilla que le da la forma a la pieza.  |
| Secado                  | Al sol durante 3 o 4 días y hasta 2 semanas en temporadas de lluvias en ambas caras.  | En cámaras especiales que proporcionan calor por aire caliente sobrante de los hornos de cocción   |

**Fuente: González 2012**

**Tabla 3. Diferencias entre el Proceso de fabricación del ladrillo artesanal e industrial 2**

| Procesos                      | Ladrillo Artesanal   | Ladrillo Industrial  |
|-------------------------------|--|--|
| Preparación del horno         | Se arma el horno rectangular con los mismos ladrillos hasta una altura de 4 mts.   | El horno ya está armado. Existen de dos tipos: Horno Hoffman y horno de Túnel  |
| Cocción                       | Se añade leña por 12 horas. Luego se tapan los túneles y se espera a que el fuego llegue a la parte superior del horno (7 días). | El fuego recorre el horno Hoffman mediante cámaras controladas por reguladores. El horno Túnel desplaza las piezas lentamente sobre vagonetas. |
| Almacenamiento y distribución | Ya cocidas se dejan enfriar y se extraen del horno listas para ser distribuidas.   | Ya cocidas se dejan enfriar y se extraen del horno listas para ser distribuidas.   |

Fuente: González 2012



Figura 4. Variedad de Dimensiones de los ladrillos

Fuente: Ladrillos y bloques 2010

### 2.2.2.3 Construcción prefabricada con paneles M2 y drywall

Hablar de una obra prefabricada es señalar procesos de construcción secuenciados; es decir, de una industria que produce elementos en menor tiempo y con mayor eficiencia, lo que genera ahorros importantes. Según Frías (2014), los prefabricados tienen una ventaja natural para contribuir en la sustentabilidad como una solución que podría satisfacer altos niveles de desempeño y durabilidad.

En Venezuela, los paneles prefabricados denominados m2 (EMEDOS), usados para el levantamiento de viviendas sociales, es un método relativamente nuevo. Estos paneles están conformados por perfiles metálicos en forma de “U” que llevan incrustados una plancha de poliestireno expandido (EPS) con una malla galvanizada en ambos lados. Una vez que las paredes son levantadas, fijadas al piso con cabillas de 3/8” y unidas entre sí con la malla integradas a los paneles, se procede a realizar el acabado final con mortero de cemento en ambas caras (Ver Figura 5).

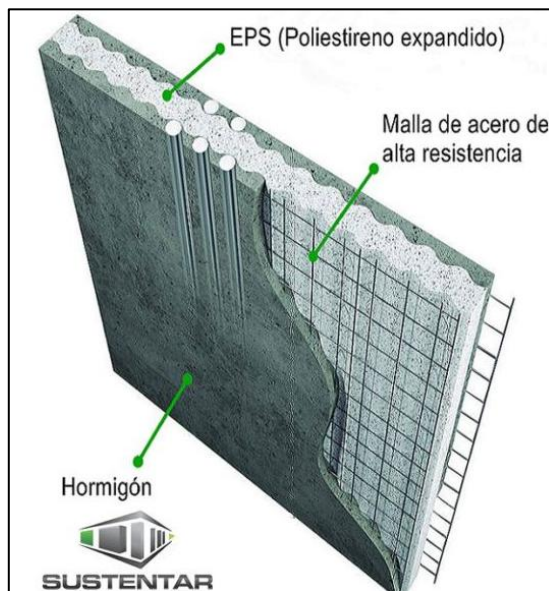


Figura 5. Modelo de panel emedos

Fuente: Clasf 2018

Las paredes de la vivienda están constituidos por estos paneles EMEDOS y vienen en diferentes dimensiones y formas de acuerdo con lo especificado en el proyecto de vivienda con su respectivo código de identificación, los mismos indicarán la ubicación de los mismos. Por otro lado, los paneles de cartón yeso o drywall, están formadas por una placa de yeso recubiertas por láminas de cartón en ambas caras. Estos paneles son fijados a las paredes y al piso mediante perfiles que llevan incrustados una o más placas atornilladas en ambos lados de la estructura metálica. Esto con el fin de aumentar la rapidez constructiva de las viviendas y, al igual que los emedos, son elementos ligeros (García *et al*, 2014).

De igual manera, con los actuales avances de información y tecnología, es posible contar con otras opciones prefabricadas mediante el diseño de otro sistema con la utilización de materiales reciclables como las que se mencionarán en el punto 2.2.3, con el objetivo prioritario de optimizar aún más la productividad, crear más opciones constructivas y reducir el tiempo de ejecución de la obra debido a la diversidad de formas de estos elementos y reducido peso. Algunas de las ventajas que podrían ofrecer los paneles prefabricados según Frías (2014), están relacionados con mayor eficiencia energética y preservación de recursos a través del uso de materiales reciclados y renovables, además de ser muy ligeros debido a las fibras y polímeros empleados en su elaboración y contribuyen a un ambiente laboral más saludable a través de la reducción de niveles de toxicidad

### **2.2.3 Materiales alternativos para la elaboración de paneles prefabricados propuestos**

El ingenio humano, en su constante búsqueda por solucionar los diferentes problemas de la realidad actual en términos de calidad, eficiencia, duración e impacto ambiental de las edificaciones, ha generado maneras

factibles para optimizar las mezclas de concreto, en aras de lograr un diseño más sustentables mediante la inclusión de materiales no convencionales o poco habituales en la dosificación de sus componentes.

En el artículo publicado por De Mena (2014) se indica que los materiales renovables al alcance de todos, pueden ser recuperados, reciclados y reutilizados para fines constructivos, ya que tienen la cualidad de mejorar la calidad ambiental debido a que son bajos en COV (compuestos orgánicos volátiles) y, por tanto, resulta una buena alternativa para reducir la huella de carbono de los edificios. En base a todo lo anteriormente expuesto, se diseñarán paneles prefabricados elaborados con viruta de madera (aserrín) y con cartón reciclable, los cuales serán reforzados con fibra de coco. En términos generales, dichos materiales poseen características que son ideales para su uso en paneles prefabricados, los mismos se explican a continuación:

#### **2.2.3.1 Cartón Reciclado**

El cartón es un material fabricado a partir de celulosa o fibra de madera. Físicamente es similar al papel, pero mucho más grueso, además de ser ampliamente utilizado para embalaje de diversos productos debido a sus propiedades. Pero una vez que cumple la función original para el cual fue manufacturado, el mismo es desechado y con el tiempo se acumula de forma masiva. Según los datos manejados por la Organización Ambiental Vitalis (2016), de las 20.000 toneladas de residuos diarios producidos en Venezuela, solo 4.000 toneladas son reciclables, donde el 20% corresponde a papel y cartón.

Por lo que el cartón corrugado se ha convertido en uno los materiales más reciclados en el mundo y se le ha dado múltiples usos debido a las

características que posee. Algunas de estas características fueron expuestas en el artículo publicado por Lfg Cartonaje (2016), las cuales son:

- **Durabilidad y resistencia:** El cartón contiene fibras de madera que dificulta que se rompa fácilmente, ya que las mismas son fuertes y resistentes. Esta resistencia le permite al cartón soportar bien los esfuerzos a los que se ve sometido durante su transformación y uso.
- **Sustentabilidad:** El cartón es uno de los materiales que posee un alto índice de reciclaje. Por tanto, utilizarlo es beneficioso económicamente ya que los materiales reciclados suelen ser más baratos y al darles un uso útil se contribuye al cuidado del medio ambiente.
- **Aislamiento y estabilidad térmica:** Son muy buenos aislantes debido a que las fibras de madera conducen mal la energía y el calor. Además, el cartón corrugado tiene un plus de aislamiento gracias a que el acanalado atrapa el aire entre las dos capas. Resiste temperaturas en un rango de -40 a 120.

Por otro lado, el cartón ha sido útil para la construcción de diversos refugios temporales e incluso pueden formar parte de edificaciones de mayor envergadura debido a su bajo costo y facilidad constructiva. Además, por cada tonelada de cartón reciclado se ahorra 140 litros de petróleo y 50.000 litros de agua (lo que supone un 90% menos de agua y un 50% menos de electricidad). Se evita la emisión de 900Kg de dióxido de carbono (el cual se reduce un 80% gracias al reciclaje). Libera más de 2m<sup>3</sup> en el vertedero y se evita la tala de 17 árboles adultos (cajadecartón.es, 2015).

### **2.2.3.2 Utilización de aserrín para elaborar elementos constructivos**

Se sabe que el aserrín es uno de los residuos forestales de mayor impacto ambiental sobre el suelo y sobre el agua, considerando que la

degradación natural de este residuo es casi nula. En ocasiones son vertidos en los alrededores de comunidades rurales, lo que repercute en la salud de sus habitantes ya que generan polvo en el aire y; por otro lado, es el medio ideal para la propagación de plagas y enfermedades. En Venezuela, mayormente se puede conseguir este elemento en carpinterías como desecho proveniente del aserrado de la madera, y debido a las miles de toneladas que se generan de este material, es necesario buscarles un uso útil, ya que de no reciclarlos terminarían en vertederos.

Visto de este modo, se pretende ayudar a combatir esta problemática, al proponer este residuo en la industria de la construcción, considerando que el proceso de reciclaje del mismo no requiere de un pre tratamiento ni ningún acondicionamiento químico, por lo que el impacto ambiental negativo es prácticamente nulo y se promueve la disminución de la tala de árboles.

### **2.2.3.3 Fibra de coco: Incorporación en la industria constructiva**

La fibra de coco posee características que al ser utilizados como aditivos en la construcción, pueden brindar al panel prefabricado propuesto las propiedades deseadas. Por ejemplo, su ligereza y disponibilidad, ya que existen diversos negocios dedicados a la venta de bebidas y productos a partir del coco, y las cáscaras son desechadas una vez que el mismo es extraído. Además, según De Mena (2014), los residuos de la planta de coco ayudan a elevar la resistencia a la humedad. De igual manera, es

“Reciclable, renovable, su industrialización es empírica, no tiene efectos contaminantes, tienen un alto contenido de espacio poroso para retener aire y agua, tiene buen drenaje, buena capacidad de rehumectación, baja densidad aparente, es ligero y de fácil manejo” (Palacios, 2005, citado por Montañez y Uzcátegui, 2009, pág.21).

De hecho, anualmente se generan alrededor de 12,75 miles de toneladas de estas fibras y las mismas han sido utilizadas en distintos ámbitos en la industria de la construcción, como por ejemplo, en la elaboración de placas que sirven de aislamientos acústicos en paredes y rollos para aislamientos acústicos bajo pavimento (Gutiérrez, 2014). Se espera que con su utilización se incremente el buen desempeño del panel ante una carga o una fisura al mantener unidos todos los materiales que componen dicho panel, al igual que lo hace la micro-fibra con el concreto.

#### **2.2.4 Ensayos requeridos para medir las propiedades de los paneles prefabricados propuestos**

Existen muchas organizaciones a nivel mundial que se han encargado de establecer normativas para medir la capacidad aislante de diversos materiales. Antes de explicar cada uno, es importante conocer que desde el punto de vista del estudio de los materiales, la propiedad es la característica o capacidad que poseen los mismos para realizar una acción en específico (Pérez y Galdey, 2013). Dicho esto, para determinar las propiedades del panel prefabricado en estudio, se realizarán los siguientes ensayos:

##### **2.2.4.1 Aislamiento térmico**

Este término, se refiere a la capacidad que posee un material de impedir el paso de bajas o de altas temperaturas de un espacio a otro o; en otras palabras, de impedir la transferencia de calor, esto debido a que poseen baja conductividad térmica. Según Morillón (2011) citado por González (2016), esta es una de las propiedades más importantes a considerar cuando de ahorro energético se trata, debido a que es un factor que permite disminuir el consumo de energía mediante la disminución del uso de aires acondicionados. Por otro lado, cuando se aísla térmicamente



una edificación, se disminuyen las emisiones de CO<sub>2</sub> hacia la atmosfera, lo que se resume en reducción de contaminación ambiental.

#### **2.2.4.2 Resistencia y dispersión del fuego**

Uno de los principales objetivos que está en mente de todos aquellos que pertenecen al campo de la construcción, es proteger y salvar vidas humanas. Esto es crucial, sobretodo en construcciones de índole residencial, en donde la mayoría de accidentes hogareños tienen que ver con el fuego. Considerando esto, se busca determinar si con el uso de los paneles prefabricados propuestos elaborados con los materiales mencionados en el punto 2.2.3, y los cuales están destinados a la construcción de viviendas, es posible contener un incendio durante un tiempo suficiente para procurar que sus habitantes puedan ponerse a salvo. Por lo que es importante conocer el comportamiento del elemento en un incendio real y del grado de producción de humo negro que pueda dificultar la visibilidad, lo que sería un riesgo adicional.

#### **2.2.4.3 Impermeabilidad**

Otro de los problemas que pueden afectar a una vivienda es la humedad. Si no se toman medidas para procurar que los materiales usados sean buenos aislantes de agua, se puede originar problemas de infiltración, causando la formación de microbios que afecta a la salud de las personas. Por lo que es necesario realizar pruebas para determinar el índice de absorción de agua de los paneles.

Para obtener dicha medida, se seguirán los parámetros de la Norma ASTM E514 (2008), en donde se indica el procedimiento para determinar la resistencia a la penetración del agua y las fugas a través de ensamblajes verticales adheridos al muro. Según Fernández (2012), este método ha sido

perfeccionado por RILEM (Unión Internacional de Laboratorios Expertos en materiales de construcción, sistemas y estructuras), los cuales desarrollaron tubos graduados que llevan ese nombre. Dicho tubo es adherido a la pared y llenado con agua. La velocidad con la que desciende el agua del tubo cada minuto indica la permeabilidad relativa de la pared.

#### **2.2.4.4 Ensayo de resistencia al impacto**

Para la realización de este ensayo, se tomarán en cuenta los datos proporcionados en la norma ASTM D695 (2015), cuyo propósito de ensayo se basa básicamente en verificar el comportamiento relativo del panel al ser sometido a impacto con un objeto a alturas de 45cm, 60cm y 120cm. En resumen, lo que se busca es determinar si los daños producidos en el panel prefabricado propuesto son de tal magnitud, que de ser usado como muros divisorios en viviendas puedan representar algún peligro para sus habitantes. De allí la importancia de realizar esta prueba.

#### **2.2.5 Análisis del Ciclo de Vida (A.C.V.)**

Debido a que la elaboración de los paneles propuestos puede originar impactos en el ambiente, ya sea positivo o negativo, es necesario evaluar esos efectos mediante un análisis del ciclo de vida (A.C.V.) siguiendo las etapas establecidas en la norma ISO 140-40. A continuación se explicará la importancia de realizar un A.C.V principalmente a los productos elaborados con fines constructivos y los criterios que se deben conocer para realizarlo.

##### **2.2.5.1 Hacia una construcción sustentable**

El término Sustentabilidad, fue utilizado por primera vez a partir del informe “Nuestro Futuro Común” o “Informe Brundtland” (1987), en donde se expuso que la sustentabilidad significa “satisfacer las necesidades de la

generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades” (pàg.16).

Aunque el concepto de Sustentabilidad se dio a conocer en los años 80, se puede afirmar que en la actualidad es de factible aplicación en diferentes ámbitos relacionados con la construcción de obras civiles, ya que todos los que pertenecen a esta rama tienen que asumir que uno de los consumos energéticos más relevante, es el que se relaciona con los edificios. En tal sentido, Morillón (2011), citado por González (2016), destacó que:

“El sector urbano consume el 20% de la energía que se produce, y del total que se genera más del 90% proviene de la quema de hidrocarburos, petróleo, gas y carbón; por lo tanto, simplemente con construir y operar un edificio hay impactos en el consumo de energía” (pág.11).

En tal sentido, hay que considerar que la industria de la construcción tiene una gran responsabilidad con la sociedad y con el ambiente. La idea no es generar grandes edificaciones sin tomar en cuenta el impacto negativo que generan a su alrededor, no solo al medio circundante, sino también a la salud de las personas. Lo ideal es tratar de lograr el equilibrio entre medio ambiente, modernidad e infraestructura, de tal manera que las futuras generaciones disfruten de los mismos beneficios de esta generación mediante la optimización de recursos. De allí la importancia de realizar un A.C.V.

#### **2.2.5.2 Definición de ACV**

Según la Norma ISO 140-40 (2006), el A.C.V. comprende la recopilación y evaluación de las entradas y las salidas del sistema de fabricación de cierto producto desde las actividades de extracción y

adquisición de la materia prima, la producción, utilización y reciclado hasta su disposición final, esto con el objeto de determinar los aspectos e impactos ambientales potenciales de dicho sistema a través de su ciclo de vida, contribuyendo a la mejora continua y desarrollo de productos con la misma o mayor calidad pero generando menor cantidad de contaminantes al ambiente.

### 2.2.5.3 Etapas del ACV

Para llevar a cabo el análisis se tomará como referencia la norma ISO 140-40 (2006), la cual establece un protocolo al cual debe ajustarse todo estudio de análisis de ciclo de vida, las cuales se encuentran comprendidas en 4 fases o etapas tal como lo refleja la figura 6. Dichas etapas consisten en lo siguiente:



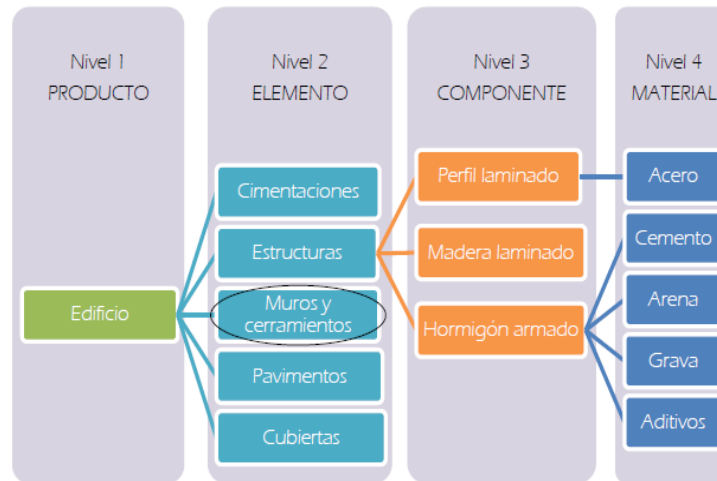
Figura 6. Etapas del A.C.V

Fuente: Hernández y Rieznik 2004

- **Definición del objetivo y el alcance:**

En la investigación realizada por González (2012), se indica que desde el punto de vista medioambiental existen distintas formas de enfocar un análisis de ciclo de vida (A.C.V.) cuando de producción de elementos constructivos se trata, tal como lo indica la Figura 7. La misma suele ser

compleja debido a la cantidad de factores que intervienen, por lo que hay que definir el enfoque del estudio para luego establecer un objetivo.



**Figura 7. Niveles para aplicar el estudio del ciclo de vida del producto de la construcción**

**Fuente: González 2012**

De igual manera, en esta fase se indican los motivos que llevan a realizar el estudio. En tal sentido, para la investigación propuesta se parte de la idea de que cualquier innovación en el campo de la construcción generará un impacto en el ambiente, ya sea negativo o positivo. Por otro lado, es necesario definir el alcance del estudio, el cual debe ser acorde con el objetivo planteado. De acuerdo a la Norma ISO 140-40, para definir de manera adecuada el alcance es necesario guiarse a vez por otros conceptos, los cuales son:

**Función:** Como su nombre lo indica consiste en establecer cuál será la función que llevará a cabo el producto estudiado. Según González (2012), a la función principal del producto se le debe añadir las características que lo conforman, es decir, para qué será usado, su durabilidad, estética, diseño y aspecto, entre otras características relevantes.

**Unidad Funcional:** Tomando en consideración que los productos a comparar son distintos entre sí (en lo que se refiere a materiales de construcción usados para su elaboración), pero al mismo tiempo fueron diseñados para cumplir la misma función, la unidad funcional no es más que un elemento que otorga un punto de referencia para facilitar el cálculo matemático y así poder comparar las entradas y salidas de dos o más productos a partir de esa unidad. Al mismo tiempo, para la presente investigación, dado que los productos que se compararán son tabiques, es necesario indicar las medidas estándares existentes en el mercado para cada una de ellas. De esta manera, se podrá calcular que cantidad de tabiques son requeridos para cubrir la unidad funcional. Esto es lo que se conoce como Flujo de referencia.

**Límites del sistema:** En esta parte se debe indicar cuales entradas y salidas del sistema serán estudiadas, cuáles serán descartadas y las razones que justifiquen tales decisiones. En este sentido, se puede afirmar que un ACV proporciona cierta libertad al investigador para decidir qué tan extenso será el estudio al permitir enfocarse en ciertos puntos de todo el sistema o las que más impactos ambientales producen, como por ejemplo, las entradas (combustibles, diesel) y salidas (contaminación del aire, agua y suelo) producido por el proceso de manufactura principal. Por otro lado, hay que definir el ciclo de vida en la que se trabajará. Existen 3 modalidades:

- ✓ Ciclo de vida de la cuna a la puerta: Abarca desde procesos de extracción de la materia prima requerida para la fabricación del producto, hasta el momento que es almacenado.
- ✓ Ciclo de vida de la cuna a la tumba: Abarca desde procesos de extracción de la materia prima requerida para la fabricación del producto hasta la culminación de su vida útil.

- ✓ Ciclo de vida de la cuna a la cuna: Esta modalidad elimina el concepto de desecho al permitir el reciclaje o reutilización del producto una vez terminada su vida útil, ya sea para el mismo uso u otro diferente.

**Tipos, fuentes y calidad de datos:** Consiste en definir la manera en la que se obtendrá o recolectará la información de cada uno de los procesos que se delimitaron en el punto anterior. Es decir, a través de investigación de campo o bibliográficas, estimaciones, entre otros medios. Dichos procesos se conocen como procesos unitarios. Es importante corroborar que los datos obtenidos son confiables, especialmente cuando dichos datos fueron recolectados a partir de revisiones bibliográficas. En este caso, hay que tomar en cuenta la antigüedad de la información, su coherencia, la similitud de los datos a la realidad, así como el lugar en donde se realizó el estudio.

- **El análisis del inventario**

Una manera de facilitar el análisis es elaborando un diagrama de flujo que permita comprender con claridad el ciclo de vida de cada uno de los productos a comparar de acuerdo a la modalidad que se haya escogido. A partir del diagrama se debe indicar las entradas y salidas que se estudiarán para luego recolectar datos que serán ordenadas en tablas. En tal sentido, se trata de enlistar o inventariar los efectos ambientales causados por el producto con respecto a la unidad funcional a lo largo de su vida útil.

- **Evaluación del impacto**

La evaluación del impacto proporciona información numérica y gráfica de los resultados del inventario a fin de comprender mejor su impacto e importancia ambiental. Dichos resultados se multiplican por un factor para que finalmente las respectivas cargas ambientales puedan ser ubicadas dentro de una *categoría de impacto*, los cuales se refieren a los efectos

causados al medio ambiente provocados en cada uno de los procesos de ciclo de vida que comprende la elaboración de un producto. En las Tabla 4 se reflejan los indicadores de cada categoría y los daños medioambientales que producen. Por otro lado, en las Tablas 5 y 6 se explican las categorías de impactos más estudiadas.

**Tabla 4. Daños medioambientales e indicadores para cada categoría de impacto**

| <b>Categoría de impacto</b>     | <b>Daños medio-ambientales</b> | <b>Indicador</b>   | <b>Definición</b>                            | <b>Unidad</b>                        |
|---------------------------------|--------------------------------|--|--|--------------------------------------|
| Calentamiento global            | Daños a la salud humana        | GWP  | Potencial de calentamiento global            | Kg equivalentes de CO <sub>2</sub>   |
| Agotamiento de la capa de ozono |                                | ODP  | Potencial de Agotamiento de la capa de ozono | Kg equivalentes de CFC-11            |
| Toxicidad terrestre             |                                | HTP  | Potencial de Toxicidad terrestre             | m <sup>3</sup>                       |
| Efectos cancerígenos            |                                | Varias metodologías lo incluyen en indicadores de toxicidad. |  | kg equivalentes de cloroetileno      |
| Efectos respiratorios           |                                | PER  | Potencial de Efectos respiratorios           | kg equivalentes de PM <sub>2.5</sub> |
| Acidificación                   | Daños al ecosistema            | AP   | Potencial de Acidificación                   | Kg equivalentes de SO <sub>2</sub>   |
| Extracción de Combustibles      | Daños a los recursos naturales | PAR  | Potencial de agotamiento de recursos         | MJ surplus                           |

Fuente: González 2012



**Tabla 5. Definición de cada categoría de impacto (Parte 1)**

| <b>Categoría de impacto</b> | <b>Definición</b>  | <b>Agentes contaminantes</b>   |
|-----------------------------|--|--|
| Calentamiento global        | Se refiere al cambio de temperatura de la Tierra causado por la acumulación de los gases de efecto invernadero ocasionando incendios forestales                  | Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ), el óxido nitroso (N <sub>2</sub> O), el metano (CH <sub>4</sub> ) y los clorofluorocarbonos (CFC's) |
| Acidificación               | Aumento de iones hidrogeno (H <sup>+</sup> ) ocasionado por las emisiones antropogénicas y naturales.  | Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ), los óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> ) y el amoníaco (NH <sub>3</sub> )                          |
| Efectos cancerígenos        | Efecto causado por el contacto de sustancias químicas que provocan anormalidades en el material genético de las células y su propagación por el cuerpo           | ----   |
| Efectos respiratorios       | Se le llaman a los daños causados en el sistema respiratorio humano debido a la inhalación de sustancias orgánicas, inorgánicas y polvo presentes en el entorno. | Los óxidos de azufre (SO <sub>x</sub> ), los NO <sub>x</sub> , monóxido de carbono (CO).   |

**Fuente: González 2012 y Jiménez 2013**

**Tabla 6. Definición de cada Categoría de impacto (Parte 2)**

| <b>Categoría de impacto</b>        | <b>Definición</b>   | <b>Agentes contaminantes</b>  |
|------------------------------------|---|---|
| Agotamiento de la capa de ozono    | El ozono (O3) es un gas muy oxidante reactivo producido de forma natural en pequeñas cantidades en la atmósfera terrestre. Sin embargo el ozono en la troposfera tiene efectos perjudiciales a la salud humana y en los ecosistemas | Concentraciones de óxidos de nitrógenos (NOx), Compuestos orgánicos volátiles (COVs), monóxido de carbono (CO), y metano (CH4). |
| Toxicidad terrestre                | Es la secuela causada por la exposición a químicos que causan efectos nocivos sobre un organismo completo como un ser humano, una bacteria, una planta o incluso a una subestructura como una célula                                | Cadmio (Cd), plomo (Pb) y mercurio (Hg) dioxinas.   |
| Extracción de combustibles fósiles | El daño causado por la disminución de combustibles fósiles se expresa en MJ/kg de material extraído, usando el concepto de energía SURPLUS.   | -----   |

Fuente: González 2012 y Jiménez 2013

Igualmente, aparte de conocer todo lo referente a las categorías de impactos, también se debe de contar con el uso de un software comercial que permita agilizar la evaluación de impacto del ciclo de vida (EICV) de determinado producto, como el SimaPro, el EcoPro o el TEAM.

- **La interpretación de resultados**

Es la fase final del procedimiento del A.C.V, en el cual se resumen y discuten los resultados del análisis de inventario y evaluación de impacto, para establecer las correspondientes conclusiones y recomendaciones al permitir “determinar en qué fase del ciclo de vida del producto se generarán las principales cargas ambientales y por tanto qué puntos del sistema evaluado pueden o deben mejorarse” (Vallejo, 2004, citado por González, 2012; pág.58), siendo así la mejor estrategia de diseño o rediseño para mejorar el uso de recursos y materiales, además de determinar cuál de los productos comparados presenta un mejor comportamiento ambiental.

### **2.2.6 Definición de términos básicos**

**Aglutinantes:** Son aquellos que tiene la cualidad de unir dos o más materiales diferentes con el objeto de obtener un solo elemento compacto. Se divide en aglomerante cuando la unión se lleva a cabo a través de procesos físicos (la cola, el barro, engrudo) y en conglomerantes cuando la unión se lleva a cabo por procesos químicos (yeso, cemento, cal).

**ASTM (American Society for Testing and Materials):** Es una de las organizaciones internacionales de estándares más grande del mundo. Dichos estándares abarcan áreas como metales, pinturas, plásticos, textiles, petróleo, construcción, energía, medio ambiente, productos de consumo, servicios médicos, dispositivos y productos electrónicos, entre otros. (Catálogo ASTM Internacional, 2010).

**Carga ambiental:** Son todas aquellas emisiones de gases contaminantes a la atmosfera como el dióxido de carbón (CO<sub>2</sub>) y los compuestos orgánicos volátiles (COV), como consecuencia de la fabricación de determinado producto. De igual manera, se incluye los vertidos a las agua y al suelo (González, 2012).

**Categorías de Impacto:** Clase que representa asuntos ambientales de interés (calentamiento global, contaminación de la capa de ozono, efectos respiratorios, daños a los ecosistemas, efectos cancerígenos, entre otros) a la cual se pueden asignar los resultados del inventario del ciclo de vida (González, 2012).

**Compuestos orgánicos volátiles (COV):** Son peligrosos contaminantes presentes en el aire. Están constituidas principalmente por una variedad de sustancias químicas que contienen carbono y se encuentran en todos los elementos vivos y en mayores proporciones en materiales usados para la construcción en general (De Mena, 2014).

**COVENIN (comisión venezolana de normas industriales):** Es el organismo encargado de programar y coordinar las actividades de normalización y calidad en Venezuela a través de comités y comisiones técnicas de normalización, donde participan comisiones gubernamentales y no gubernamentales relacionadas con un área específica. (Catálogo de Normas Venezolanas COVENIN, 2001).

**Impacto ambiental:** Es el efecto que produce la actividad humana sobre el medio ambiente pudiendo ser negativa o positiva. El mayor impacto ambiental negativo es el producido por las construcciones, debido a las emisiones contaminantes que trae consigo la fabricación de muchos productos de construcción (González, 2012).

**Materiales compuestos:** Como su nombre lo indica, un material compuesto surge como resultado de la combinación de dos o más materiales, con el fin de obtener una combinación única de propiedades. El concreto es uno de los materiales compuestos más conocido y de mayor uso en la actualidad. (Rodríguez, 2016).

**Materia prima:** Es la materia extraída de la naturaleza y que en la mayoría de los casos, se someten a fuertes procesos de transformación para elaborar otros materiales que más tarde se convertirán en bienes de consumo. Sin embargo, existen materiales como la arena que se usa sin tratamiento previo, por lo que no requiere de estos procesos (Rodríguez, 2016).

**Materiales de construcción:** Son aquellos que surgen del proceso de transformación de las materias primas y que luego son combinados con otros para crear un nuevo material que será empleado en la construcción de edificios u obras de ingeniería civil de pequeña y gran envergadura (Rodríguez, 2016).

**Parámetros de calidad:** Indican el grado de semejanza entre los valores de la base (reflejados en normativas de calidad) y los valores reales (resultados arrojados en ensayos de calidad). Los parámetros pueden utilizarse para evaluar diferentes aspectos de la calidad de un producto o servicio. (Catálogo ASTM Internacional, 2010).

**Poliestireno expandido:** Es un material plástico espumado que se ha implementado en el sector de la construcción por sus excelentes propiedades térmicas y acústicas. Además de ser reciclable, se caracteriza por poseer moderado impacto ambiental. Es un material celular cerrado relleno de aire y rígido obtenido a partir del moldeo de perlas pre-expandidas

con un agente expansor, mejor conocido como el pentano (Arreaza y Estrada, 2004).

**Reciclaje:** Es un proceso fisicoquímico o mecánico que consiste en someter a un producto ya utilizado (basura), a un ciclo de tratamiento total o parcial para obtener una materia prima o un nuevo producto. El concepto de reciclaje tiene como propósito eliminar o disminuir la cantidad de desechos vertederos o sitios de disposición final (Jiménez, 2013).

**Rellenos sanitarios:** Es una técnica de disposición final de los residuos sólidos en el suelo, pero que a diferencia de los vertederos de basura que en la mayoría de los casos son ilegales, no causa molestia ni peligro para la salud o la seguridad pública; tampoco perjudica el ambiente durante su operación ni después de su clausura (Jiménez, 2013).

**Sistemas Constructivos:** “Son los diferentes métodos y procedimientos por medio de las cuales se llevan a cabo la fabricación o construcción de una edificación u otro tipo de estructura”, tomando en cuenta la mano de obra, los materiales y los equipos necesarios para lograrlo (Soto y Araujo, 1990, citado por Arreaza y Estrada, 2004, pàg.38).

**Tabiques:** Son elementos no estructurales de separación, por lo que su función principal es dividir espacios interiores. Por lo general, los mismos son instalados en cualquier parte de un recinto que no le aporte ninguna carga adicional al tabique. A los muros levantados con varios tabiques, se les conoce como tabiquerías.

## **CAPITULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

Con el desarrollo de este capítulo se pretende explicar el conjunto de pasos y procedimientos que se emplearon para aplicar el conocimiento. Según Arias (2006), las investigaciones “se pueden clasificar según su propósito, su nivel y su diseño” (pág.23).

#### **3.1 Tipo de Investigación**

Según su propósito o razón de estudio, la investigación que más se adapta a este proyecto es la investigación de Campo. Según Arias (2006), “este tipo de investigación consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variable alguna” (pág.31). En el caso del estudio realizado, fue necesario recurrir directamente a trabajadores dedicados a la fabricación de tabiques tradicionales para reunir datos de inventario necesarios en el análisis de ciclo de vida, y de esta manera poder comparar los impactos ambientales de los mismos con el generado por la fabricación de los paneles propuestos en la presente investigación, cuyos datos de inventario (cantidad de materiales y energía necesaria para elaborarlos, así como las propiedades físicas del elemento en estudio) fueron recolectados directamente por el autor durante el proceso de investigación.

Igualmente, Arias destaca que en la investigación de Campo también se emplean datos secundarios provenientes de fuentes bibliográficas. En la presente investigación, se utilizaron estas fuentes para conocer los procedimientos que se aplican en los ensayos para medir las propiedades

físicas de los paneles en estudio, así como para la interpretación de los resultados obtenidos. También se recurrió a fuentes bibliográficas cuando no fue posible obtener algún dato por parte de trabajadores dedicados a la fabricación de tabiques tradicionales por no llevar un registro de esto.

### **3.2 Nivel de la Investigación**

Según el nivel de conocimientos que se adquieren, se puede afirmar que este proyecto se ubica dentro de la investigación exploratoria. Según Arias (2006), este tipo de investigación “se efectúa sobre un tema u objeto desconocido o poco estudiado, por lo que sus resultados constituyen una visión aproximada de dicho objeto” (pág.23). En el caso de la investigación propuesta, el objeto en estudio se trata de un elemento constructivo nuevo y del cual no se tiene información en cuanto a su estructura, propiedades, ciclo de vida de los materiales empleados en su elaboración y su costo. Por lo que esta investigación permite estudiar y conocer datos para dar respuestas a estas interrogantes.

Hay que señalar que este proyecto también está circunscrito a una investigación descriptiva, la cual “consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento” (Arias, 2006, pág.24). En tal sentido, el trabajo presentado describirá las características de los distintos materiales usados para la elaboración de paneles prefabricados propuestos (cartón, aserrín y fibra de coco), evaluando las ventajas que supone obtener una mezcla compuesta sustentable que permita la utilización de menores cantidades de cemento, más económica y amigable con el medio ambiente. De igual manera, es necesario describir el ciclo de vida de los materiales usados en dicha elaboración y la cantidad de energía necesaria para ello mediante diagramas y tablas de datos, ya que esto facilitará el análisis del impacto ambiental.



### **3.3 Diseño de la Investigación**

El diseño de investigación de este proyecto es de carácter experimental, ya que parte de los datos y resultados serán obtenidos a través de pruebas y ensayos realizados al elemento en estudio. Según Arias (2006), este tipo de investigación:

“consiste en someter a un objeto o grupo de individuos, a determinadas condiciones, estímulos o tratamientos (variable independiente), para observar los efectos o reacciones que se producen (variable dependiente)” (pág.33).

En este caso, el objeto a evaluar es el panel prefabricado propuesto (variable independiente) y las reacciones que se pretenden medir al llevar a cabo los ensayos son las capacidades de resistencia al fuego, impermeabilidad, resistencia al impacto y coeficiente térmico (variable dependiente). Al mismo tiempo, se utilizó el diseño de campo para recolectar todos los datos necesarios para llevar a cabo el análisis de Impacto ambiental de tabiques tradicionales, los cuales fueron proporcionados por trabajadores dedicados a la fabricación de los mismos. En el caso de los paneles prefabricados propuestos, los datos inventariados para el ACV referentes a la cantidad de materiales usados en la fabricación de estos, fueron recolectados directamente por el autor.

### **3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.4.1 Técnicas de recolección de datos**

Las Técnicas de recolección de datos son aquellas maneras en las que se recolectan y se transmiten los datos para complementar el trabajo de investigación. En tal sentido, Arias (2006), indica que las técnicas se refieren

al “procedimiento o forma particular de obtener datos o información”. (pág.67). En base a esto, en el presente trabajo de investigación se utilizaron las siguientes técnicas de recolección de datos:

**Entrevistas no estructuradas:** Según el autor Arias (2006), “en esta modalidad no se dispone de una guía de preguntas elaboradas previamente. Sin embargo, se orienta por unos objetivos preestablecidos, lo que permite definir el tema de la entrevista” (pág.74). Es decir, se basa en una conversación entre el entrevistador y el entrevistado realizada para obtener la información requerida. En tal sentido, se recabará información en forma verbal con trabajadores de diferentes bloqueras (BLOSURCA C.A y Concretara San José) para determinar la cantidad de materiales utilizados para elaborar bloques y ladrillos. Igualmente, es importante conocer la opinión de estos empleados en la elaboración de elementos prefabricados. Por otro lado, se busca la estimación de los tiempos de ejecución de las actividades a ejecutar mediante consultas a expertos de la ingeniería.

**La observación participante estructurada:** Según Arias (2006), en la observación participante “el investigador pasa a formar parte de la comunidad o medio donde se desarrolla el estudio” (pág.70). La misma se ejecuta de acuerdo a un objetivo, con ayuda de una guía ya establecida donde se especifiquen que aspectos deben ser observados. Para el caso de la presente investigación, el investigador observa y participa en la realización de los paneles y de los ensayos para recopilar datos como la dimensión de los mismos, hora y fecha de los ensayos, los resultados arrojados en cuanto a resistencia al fuego, aislamiento térmico, absorción de agua y resistencia al impacto.

Por otra parte, esta actividad permitirá percibir la realidad de la situación actual en la industria de la construcción tradicional y el impacto ambiental

que genera, en aras de proponer posibles soluciones para disminuir en lo posible dicho impacto mediante la implementación de materiales reciclables que son desechados diariamente.

**Revisión Bibliográfica o datos secundarios:** Según Arias (2006), los datos secundarios son registros escritos que proceden también de un contacto con la práctica, pero que ya han sido recogidos y muchas veces procesados por otros investigadores. En esta investigación los datos secundarios están representados por los antecedentes que existen sobre el tema, las normas y los textos que sustentan los procesos aquí descritos. Algunos de ellos son:

- González, F. Análisis del Ciclo de Vida de materiales de construcción convencionales y alternativos
- Arreaza, A. y Estrada, M. Análisis Técnico de las condiciones estructurales de viviendas de interés social en la zona metropolitana de Maracaibo
- NORMA ISO 140-40. Gestión Ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Principios y marco de referencia

#### **3.4.2 Instrumentos de recolección de datos**

Según Arias (2006), un instrumento de recolección de datos “es cualquier recurso, dispositivo o formato (en papel o digital), que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información” (pàg.69). En tal sentido, los instrumentos utilizados para la recolección de datos en la presente investigación fueron los siguientes:

**Cuaderno de notas y lista de cotejos:** Facilita el registro de datos recolectados durante la investigación (características de los paneles, fechas

y horas de los ensayos con sus resultados finales, etc), así como de la información obtenida por medio de investigaciones bibliográficas. En las Tablas 7 y 8, se aprecian los modelos de planillas utilizadas para recolectar información durante las observaciones estructuradas.

**Tabla 7. Registro de cantidad de materiales usados para elaborar los paneles**

| Número de Mezcla | Materiales | Cantidades | Resultados         |                   |
|------------------|------------|------------|--------------------|-------------------|
|                  |            |            | La mezcla es Buena | La mezcla es Mala |
|                  |            |            |                    |                   |
|                  |            |            |                    |                   |

Fuente: El Autor 2018

**Tabla 8. Registro de conclusiones finales sobre el panel prefabricado propuestos obtenidos de los ensayos**

| Días que tarda el panel en secar y observaciones | Resultados obtenidos en los ensayos de los paneles | Fecha en las que fueron realizados los ensayos | Duración de los ensayos | Buenos Resultados |    |
|--|--|--|-------------------------|-------------------|----|
|  |  |  |                         | SI                | NO |
|  | Aislamiento térmico:                               |  |                         |                   |    |
|  | Resistencia al Fuego y dispersión:                 |  |                         |                   |    |
|  | Resistencia al Impacto:                            |  |                         |                   |    |
|  | Impermeabilidad:                                   |  |                         |                   |    |

Fuente: El Autor 2018

**Fichas Bibliográficas y resumen:** Permite recolectar información del material escrito dispersos en múltiples archivos y fuentes de información referentes a conocimientos de terminología técnica, conceptos involucrados en el tema en estudio, entre otros. Así como registrar las fuentes de donde fueron obtenidas las informaciones.

**Cámara Fotográfica y de video:** Permiten registrar paso a paso el procedimiento realizado para la fabricación de los paneles y sus comportamientos durante los ensayos. También permiten observar detalladamente los resultados obtenidos, las fallas producidas en el panel, entre otros aspectos de igual relevancia como la información obtenida en las entrevistas no estructuradas.

**AutoCAD 2D y Software SimaPro:** Con AutoCad se llevará a cabo el modelado de los paneles. Mientras que SimaPro es una herramienta que facilitará el estudio del Ciclo de vida de los paneles propuestos mediante el registro, análisis e interpretación de los datos obtenidos relacionados con los materiales empleados en su elaboración y el impacto en el ambiente provocado por la fabricación de los mismos.

**Software Maprex y Excel:** Estas herramientas permitirán la realización del análisis de costos de mano de obra, equipos y herramientas necesarias para la realización de los paneles propuestos a fin de establecer comparaciones con los sistemas tradicionales. Los resultados se organizarán en gráficas elaboradas en Microsoft Excel.

### **3.5 Técnicas de análisis y procesamientos de datos**

**Análisis Cualitativo:** Según Sabino (2003) “Se refiere al que procedemos a hacer con la información de tipo verbal que, de un modo general se ha recogido.” (pág.134). A fin de desarrollar el estudio, se utilizó

este tipo de análisis para el tratamiento de la información obtenida una vez aplicada las entrevistas no estructuradas.

**Análisis Cuantitativo:** Según Sabino (2003) “Este tipo de operación se efectúa, naturalmente, con toda la información numérica resultante de la investigación.” (pág.134). Es decir, los resultados obtenidos en los ensayos y los arrojados por los software Maprex y SimaPro, se presentaron como un conjunto de cuadros y gráficas a las cuales se les calcularon sus porcentajes con su debida interpretación. El procesamiento de los mismos se elaboró por medio de programas como Excel, con la finalidad de organizar y mostrar los datos de una manera clara y precisa.

### **3.6 Metodología Técnica: Etapas de la Investigación**

#### **3.6.1. Metodología aplicada en la elaboración de bloques de prueba y paneles prefabricados**

Las observaciones y resultados obtenidos en cada bloque de prueba y en la posterior elaboración de los paneles prefabricados, así como la cantidad de materiales usados en cada caso, se muestran detalladamente en el Capítulo IV (Sección 4.1). A continuación, se describen los procedimientos utilizados por el autor para hallar la dosificación ideal de materiales:

- **Bloques de prueba**

**Bloque de Prueba 1:** Se disolvió el almidón en 30 ml de agua y luego se agregó 100 ml de agua hirviendo. Se cortó el cartón en trozos y se dejó remojando 30 min en 270 ml de agua. A esto se le agregó el aserrín y se mezcló hasta quedar uniformemente distribuido. Luego se agregó el almidón ya frío para una mejor unión de los materiales y se colocó la mezcla en moldes.

**Bloque de Prueba 2:** Se siguió el mismo procedimiento anterior con la diferencia de que el cartón se desmenuza manualmente en menor cantidad de agua (180 ml) hasta quedar maleable (casi líquida) y luego se exprimió con una tela el exceso de agua. Luego de eso, al almidón se le añade el cartón exprimido y la viruta. Se mezclan bien y se vierte en el molde.

**Bloque de Prueba 3:** Únicamente la cantidad de agua usada es para preparar el almidón (70 ml de agua fresca y 210 ml de agua hirviendo). El cartón se remoja en el mismo almidón (no en agua) y se desmenuza hasta quedar maleable (consistencia espesa). A esto se le añade viruta y fibra de coco y se vierte en el molde.

**Bloque de Prueba 4:** Se sigue el mismo procedimiento anterior, con la diferencia de que se usa menos agua y luego de mezclar bien los materiales se polvorea cemento y se mezcla nuevamente antes de verter en el molde

**Bloque de Prueba 5:** Se usa el mismo procedimiento de la prueba 4, pero esta vez se polvorea menor cantidad de cemento y se agrega más fibra de coco que en la prueba 4, se mezcla nuevamente todos los materiales antes de verter en el molde.

**Bloque de Prueba 6:** Se remoja el cartón en 210ml de agua y se desmenuza manualmente hasta quedar maleable. Allí mismo se añade la viruta, se exprime bien y luego se polvorea la misma cantidad de cemento que en la prueba 5. Se mezcla bien y se vierte la mezcla en el molde.

**Bloque de Prueba 7:** Se remoja el cartón en 210ml de agua y se desmenuza manualmente hasta quedar maleable. Allí mismo se añade la viruta y la fibra, se exprime bien y luego se polvorea la misma cantidad de

cemento que en la prueba 5. Se mezcla bien y se vierte la mezcla en el molde.

- **Paneles prefabricados**

Los paneles prefabricados se llevaron a cabo en la Empresa Concretos Alexcar C.A, lugar en donde se realizaron los ensayos y en el que se cuenta con los equipos necesarios para la fabricación de los mismos. Todo el proceso de elaboración inicia con la preparación de los encofrados, la mezcla para el friso y la mezcla de los paneles (Ver fotografías en el Anexo A). En general, el procedimiento es el siguiente:

**Preparación de los encofrados:** Una vez seleccionado el molde con las dimensiones adecuadas, se procede a cortar las tablas de madera que servirán de separación entre un panel y otro. Posteriormente, con ayuda de una brocha se esparce gasoil en toda la superficie del encofrado para evitar que la mezcla de los paneles se adhiera a ella y puedan ser retiradas con mayor facilidad cuando culmine el proceso de secado.

**Preparación de la mezcla para friso:** El primer paso es pasar la cantidad de arena que se utilizará por un mallado para retirar los agregados gruesos presentes en ella. Luego se le añade cemento y con la pala se mezclan hasta que queden uniformemente distribuidas. Posteriormente a esta mezcla se le vierte la microfibra diluida en agua. Con la pala se vuelve a distribuir todo hasta que quede una mezcla consistente para friso. Finalmente, dicha mezcla se coloca en los encofrados con la cuchara de albañilería y se distribuye uniformemente. Cabe destacar que la microfibra ayudara a que el friso, el cual tendrá 5mm de espesor, no se agriete como consecuencia de los esfuerzos de compresión añadidas por la mezcla de los paneles que serán vaciadas encima de ella.



**Preparación de la mezcla para los paneles:**

- Preparación del almidón: Si se elabora 1 panel de 50x25x5cm, la cantidad de almidón recomendada es de 200 g, la cual debe ser diluida en 0,60 litros de agua. Posteriormente, se debe hervir 0,90 litros de agua a fuego lento para agregar dicha solución y mezclar hasta que se obtenga una consistencia pastosa que ayudara a que los materiales puedan ser moldeados con facilidad, se adhieran y funcionen bien juntos. Este paso puede obviarse en el caso de elaboración de los paneles 2, donde no se usa almidón para aglutinar.
- Preparación del cartón: Se cortan los cartones reciclados en pedazos pequeños y se dejan remojando en agua durante un día para que se disuelvan y puedan ser amasados con el resto de los materiales o, para una mayor rapidez, estos trozos de cartones se someten a un proceso de licuado hasta obtener una masa que pueda ser moldeada con facilidad en el momento de elaborar la mezcla y, a la vez, aprovechar la celulosa que contiene dicho cartón para aglutinar. Este paso se puede obviar en el proceso de elaboración de los paneles 1, en donde trozos más pequeños de cartón seco se remojan en el mismo almidón y este ayuda a darles manejabilidad y facilidad de mezclado con el resto de los materiales.
- Obtención de las Fibras: Se puede proceder de 2 maneras, la primera consiste en introducir los desechos de coco en un molino extractor de fibras cuyas capacidad es de 500 cocos/Hora, de esta manera se ahorra tiempo; y la segunda manera consiste en cortar los cocos y extraer manualmente la mayor cantidad posible de fibras con una estaca de madera o hierro. Si aún quedan adheridas en las cáscaras,

se sumergen en agua con piedras encima para macerarlas y se desprendan solas. Una vez obtenidas las fibras de cualquiera de las maneras, se dejan orear en el sol para que no se inicie la descomposición de la materia y una vez secas se someten al rastillado para separarlas. Por último, se almacena hasta el momento en que se utilicen.

Una vez preparados los materiales, se procede a elaborar los paneles prefabricados. De acuerdo a las dimensiones, el procedimiento y el número de paneles que se quieran fabricar, las cantidades que se deben utilizar son las que se especifican en el Capítulo IV (Sección 4.1.2 - Tablas 18, 19 y 20). En general, los pasos a seguir para realizar los elementos constructivos son muy sencillos y se explican a continuación, suponiendo que se quiera 1 panel de 50x25x5cm:

- Se dejan 2 kg de cartón remojando en el engrudo de almidón de maíz (proceso paneles 1), cuyo proceso de preparación se explicó anteriormente, o en el caso de no usar almidón, se remojan durante un día o se licuan con 5 litros de agua (proceso paneles 2), hasta obtener una masa moldeable.
- Luego, se añade de a poco 1,30 kg de aserrín y 300 g de fibra de coco, los cuales se van mezclando con la masa de cartón hasta que se obtenga una mezcla manejable y uniforme y se observe que todos los materiales usados hasta este punto estén adecuadamente distribuidos
- Por último, se agrega 300 g de cemento en polvo distribuidos uniformemente en la mezcla, ya que esto ayudara a que todos los materiales se aglomeren y compacten adecuadamente, además de absorber la humedad presente en la mezcla para un rápido secado de los paneles.

Una vez realizada la mezcla se procede a llenar los encofrados con la misma, esparciéndola manualmente y compactándola, considerando que la parte inferior del encofrado debe estar descubierta y se debe colocar una malla o tela, ya que esto ayudara a eliminar el agua que aún puede estar presente en la mezcla. Las piezas se dejan secar al sol durante 1 o 2 días para iniciar el proceso de deshidratación.

### **3.6.2. Metodología aplicada en la realización de ensayos para medir las propiedades de los paneles**

- **Ensayo de Resistencia al Fuego y Coeficiente de transmisión térmica**

Se tomó como principal referencia para medir la resistencia al fuego y coeficiente de transmisión térmica del elemento prefabricado propuesto, el procedimiento establecido en la norma ACI 216-1.97 “Método Normalizado para determinar la resistencia al fuego de las construcciones de hormigón y mampostería”. Igualmente la norma ASTM E119 “Métodos de prueba estándar para pruebas de incendios para edificios y materiales de construcción” es un complemento de la ACI 216.1 y sirvió de apoyo para la interpretación de resultados.

**Modo de medición:** La medición se realiza en ambos lados del panel, tanto en la cara expuesta como en la no expuesta al fuego, mediante termopares y termómetros adheridos antes de realizar el ensayo. Esto permitirá obtener valores para graficar la curva tiempo-temperatura y así complementar el ensayo de resistencia al fuego y, además, permitirá conocer el coeficiente de transmisión térmica del panel. Una vez realizado el ensayo de resistencia al fuego, se procede a ubicar el elemento en una de las siguientes clases:

Clase F0 = Menor de 15 minutos

Clase F15 = Mayor o igual a 15 y menor de 30 minutos

Clase F30 = Mayor o igual a 30 y menor de 60 minutos

Clase F60 = Mayor o igual a 60 y menor de 90 minutos

Clase F120 = Mayor o igual a 90 y menor de 120 minutos

Clase F150 = Mayor o igual a 150 y menor de 180 minutos

**Duración de la prueba:** El panel propuesto se someterá a la prueba de resistencia al fuego y transmisión térmica durante el lapso de una hora (60 minutos) o hasta que la cara no expuesta al fuego presente fisuras u orificios como consecuencia de la exposición continuada de la llama.

**Procedimiento:** Ambos ensayos se realizan simultáneamente siguiendo los procedimientos de la norma ACI 216.1-97. Básicamente, consiste en medir las temperaturas iniciales en ambos lados del panel con un termómetro digital, para luego someterlo por una de sus caras al calor de una llama o mechero a gas ubicada a 12" (30 cm) de la muestra y observar su comportamiento a lo largo del ensayo para determinar su resistencia al fuego. Igualmente, es necesario medir la temperatura en intervalos regulares (cada 5 minutos) en la cara no expuesta a la llama mediante termopares adheridos a la superficie para realizar la gráfica tiempo/temperatura. Dicha gráfica se rige por la ecuación 1 establecida en la norma ASTM E119, donde T es la temperatura a la que fue expuesta la muestra en grados Celsius por sobre la temperatura inicial ( $T_0$ ), y t es el tiempo transcurrido en minutos:

$$T - T_0 = 345 \log (8t + 1) \quad \text{Ecuación (1)}$$

Cabe destacar que mientras se realiza el ensayo de resistencia al fuego, también se debe medir la temperatura en el lado expuesto al mechero para determinar su coeficiente térmico o calcularla despejando T de la ecuación 1. Además de la temperatura, se requiere conocer el área de medición y el espesor de la muestra para poder calcular el coeficiente de conductividad térmica con la ecuación 2, donde Q es la rapidez del flujo de calor a través de la muestra [W], l es el espesor [m], A es el área de la sección transversal [m<sup>2</sup>], ΔT es la diferencia de temperatura a través de la muestra [K o °C] y Λ es la conductividad térmica [W/m K].

$$\Lambda = \frac{Q \times l}{A \times \Delta T} \quad \text{Ecuación (2)}$$

La temperatura en la cara expuesta se calcula con la ecuación 3:

$$T = 345 \cdot \log(8t+1) + T_0 \quad \text{Ecuación (3)}$$

Donde T es la temperatura en la cara expuesta al fuego en °C, t es el tiempo transcurrido en Minutos y T<sub>0</sub> es la temperatura en la cara no expuesta en el tiempo correspondiente. A modo de ejemplo, si la temperatura en la cara no expuesta al fuego fue de 42,5°C transcurrido 5 minutos del ensayo, entonces la temperatura en la cara expuesta se calcula de esta manera:

$$T = 345 \times \log(8 \times 5 + 1) + 42,5$$

$$T = 598,91^\circ\text{C}$$

- **Ensayo de dispersión del Fuego**

Se tomó como principal referencia para medir el nivel de dispersión del fuego del elemento prefabricado propuesto, el procedimiento establecido en la norma ASTM E84 “Método de prueba estándar para las características de

combustión superficial de los materiales de construcción”. Igualmente la norma UNE-EN 13501-1 “Clasificación en función del comportamiento frente al fuego de los productos de construcción y elementos para la edificación” es un complemento de la ASTM E84 y sirvió de apoyo para la interpretación de resultados.

**Modo de medición:** El modo de medición dependerá del comportamiento del fuego en el panel durante la duración del ensayo. Es necesario observar cuánto tarda en dispersarse y el tiempo en que tarde en producirse humo en el mismo. Esto será el indicador para ubicar el panel dentro de una clasificación de dispersión del fuego de acuerdo a la norma UNE EN 13501-1, cuyos criterios se ubican en la tabla 9.

**Tabla 9. Clasificación de dispersión del fuego y producción de humo**

| <b>Clase</b> | <b>Clasificación de dispersión del fuego</b>       |
|--------------|--|
| A1           | No combustible. Sin contribución al fuego          |
| A2           | No combustible. Contribución muy limitada al fuego |
| B            | Combustible. Contribución muy limitada al fuego    |
| C            | Combustible. Contribución limitada al fuego        |
| D            | Combustible. Contribución media al fuego           |
| E            | Combustible. Contribución alta al fuego            |
| F            | Sin clasificación. Sin comportamiento determinado  |
| <b>Clase</b> | <b>Indicadores adicionales de opacidad de humo</b> |
| S1           | Producción baja de humo                            |
| S2           | Producción media de humo                           |
| S3           | Producción alta de humo                            |

Fuente: UNE EN 13501-1 2010

**Duración de la prueba:** El panel propuesto se someterá a la prueba de dispersión del fuego durante el lapso de media hora (30 minutos) o hasta que el panel presente fisuras, orificios o se desintegre por completo como consecuencia de la exposición continuada de la llama.

**Procedimiento:** El ensayo consiste en someter al panel a una llama controlada ubicada a 12" (30 cm), observar y tomar el tiempo en que tarda la llama del mechero en dispersarse en el panel y el momento en que empieza a producir humo para colocarlo dentro de una designación.

- **Ensayo de Permeabilidad**

Se tomó como principal referencia para medir el nivel impermeabilizante del elemento prefabricado propuesto, el procedimiento establecido en la norma ASTM E514 "Método de prueba estándar para la penetración y fugas de agua a través de la mampostería".

**Modo de Medición:**

**Tabla 10. Permeabilidad en función del agua que penetra en 10 minutos**

| <b>Penetración en cm<sup>3</sup> en diez minutos</b> | <b>Estimación</b>        |
|--|--------------------------|
| Más de 3,0   | Permeabilidad muy alta   |
| De 2,4 a 3,0   | Permeabilidad alta       |
| De 1,0 a 2,4   | Mediana Permeabilidad    |
| De 0,4 a 1,0   | Baja Permeabilidad       |
| 0,2 a 0,4  | Impermeabilidad Relativa |
| De De 0,1 a 0,2                                      | Impermeable              |
| Menos de 0,1   | Sin actividad Capilar    |

Fuente: Fernández 2012

Es necesario realizar pruebas para determinar el índice de absorción de agua del panel. Para obtener dicha medida, se seguirán los parámetros establecidos en la Tabla 10, donde se indica la permeabilidad relativa de la pared de acuerdo a la velocidad con la que desciende el agua a través de un tubo graduado cada minuto.

**Duración de la prueba:** El panel propuesto se someterá a la prueba de impermeabilidad durante el lapso máximo de una hora (60 minutos) o el tiempo que tarde el agua en descender por completo a través del tubo graduado.

**Procedimiento:** Según la Norma ASTM E514, se deben adherir en dos o tres puntos de dicho panel un tubo vertical graduado con ayuda de una pistola de silicón. Para evitar que el agua se derrame, se utiliza una inyectora para llenar el tubo con agua hasta la primera graduación y comprobar que no hay fugas. Luego se llena hasta la parte superior de la graduación protegiendo la boca del tubo con una pieza de plástico para evitar la entrada de aire. Se procede a anotar la absorción en intervalos de 5-10-20-30 y 60 minutos tomando el nivel del agua en el tubo. Por último, se realiza el gráfico absorción/tiempo.

- **Ensayo de Resistencia al Impacto Blando**

Se tomó como principal referencia para medir la resistencia a impactos blandos del elemento prefabricado propuesto, el procedimiento establecido en la norma ASTM E695 “Método de prueba estándar para medir la resistencia relativa de la construcción de paredes, pisos y tejados a la carga de impactos”

**Modo de medición:** El modo de medición dependerá del comportamiento de los paneles cuando son sometidos a la acción de una



energía de impacto determinada. Dicha energía se calcula con la ecuación 6, conociendo que la masa del objeto utilizado para impactar el panel es de 3 kg. Entonces los criterios de medición se basan en lo siguiente:

Deformaciones permanentes: Con una altura de caída del objeto igual a 45 cm y bajo una determinada energía de impacto, se debe verificar que la flecha permanente sea menor que el 0,2% de la altura del muro ensayado.

Resistencia mecánica: Con una altura de caída del objeto igual a 0,60 m y bajo una determinada energía de impacto, el muro no debe sufrir ningún deterioro visible que ponga en riesgo la seguridad de los ocupantes.

Deterioro: Con una altura de caída del objeto igual a 120 cm y bajo una determinada energía de impacto, el muro no debe ser atravesado por la bolsa o ser deteriorado de manera tal que comprometa la seguridad de los ocupantes

**Duración de la prueba:** Para esta prueba no se requiere establecer una duración determinada, ya que el tiempo no es un factor que afecte directamente los resultados obtenidos en el ensayo y no es determinante para la interpretación de los mismos. Por lo tanto, la duración depende del investigador.

**Procedimiento:** Se coloca el panel de forma vertical sobre 2 puntos de apoyo en los extremos del mismo. Luego se procede a impactar el centro del panel con un objeto de 3 kg. Esta se deja caer pendularmente desde alturas de 45 cm, 60cm y 120 cm medidas desde el centro con una regla. El ensayo se realiza hasta que se rompe el panel, repitiendo el impacto 3 veces para cada altura y registrando los cambios que se observan en el mismo. Con una regla se mide la deflexión obtenida en cada impacto en el centro del panel.

### **3.6.3 Metodología aplicada en el análisis de los impactos potenciales originados por la elaboración de los paneles propuestos**

En esta parte de la investigación se lleva a cabo el Análisis de ciclo de vida de los paneles propuestos siguiendo los pasos indicados en la norma ISO 140-40. Es decir, inicia con la definición del objetivo y alcance, la cual es indispensable para la siguiente etapa que consiste en la correcta recopilación de los datos de inventario del elemento constructivo en estudio. Luego de esto, se realiza la evaluación de impactos ambientales con el uso del Software SimaPro y se concluye con las interpretaciones finales, donde los resultados obtenidos se comparan con el impacto generado por la producción de los tabiques tradicionales.

#### **3.6.3.1. Etapa I: Definición del Objetivo y alcance**

- **Objetivo**

Como objetivo principal se establece un análisis comparativo entre los paneles prefabricados propuestos en la presente investigación con los elementos constructivos tradicionales (bloques de concreto, ladrillos comunes y paneles drywall) utilizados actualmente en el levantamiento de viviendas sociales en Venezuela, mediante el cálculo de los impactos ambientales que acarrearán durante el proceso de producción de los mismos.

- **Unidad Funcional**

La unidad funcional para este estudio será de 1m<sup>2</sup> de tabiquerías levantadas con los paneles propuestos. Por otro lado, para conformar la unidad funcional es necesario calcular la cantidad de piezas que se requieren del panel para cubrir el metro cuadrado de construcción. Si se considera que la dimensión del mismo es de 50x50x5cm, entonces se requieren 4 paneles

para conformar  $1\text{m}^2$ . Dado que los resultados deben ser comparados con la misma unidad funcional para tabiques tradicionales, también es indispensable calcular la cantidad de piezas de estos para conformar dicha unidad (Ver anexo B).

- **Límites del sistema**

La metodología del ACV (Análisis de Ciclo de Vida), no solo se limita a impactos ambientales originados por la fabricación de cierto producto, sino que también incluye el impacto ambiental originado por la extracción y producción de la materia prima necesaria para fabricar ese producto. Por lo tanto, la unidad funcional de este ACV toma en cuenta las etapas de obtención de la materia prima, el transporte de los mismos a los sitios donde se elabora el elemento constructivo y su posterior fabricación. Esto es lo que se conoce como “ciclo de vida de la cuna a la puerta”. Las entradas y salidas que se evaluarán son las indicadas en la Figura 8.

Para evaluar el sistema propuesto en la presente investigación, las entradas se reducen a materiales empleados en la producción de los paneles. Además, se considerará la energía empleada por los equipos para la producción de los mismos en cuanto a la electricidad y combustible que utilizan.

De igual manera, se evaluará la energía que necesitan los transportes para trasladar los materiales hasta al sitio de elaboración de los paneles. Dicha energía es proporcionada por combustible Diesel. No se tomaron en cuenta los procesos secundarios relacionados con el ciclo de vida de las maquinarias y herramientas utilizadas en cada proceso asociado con la extracción y producción de la materia prima y con la elaboración de los elementos propuestos.

Con respecto a las salidas a evaluar, las mismas se refieren a los diversos contaminantes o emisiones al aire, al suelo y agua que puede traer consigo la fabricación de los paneles, debido a que son los componentes que más daño al ambiente y afecciones a la salud pueden causar. Cabe destacar que será excluido de este análisis los demás elementos que conforman una vivienda de interés social (fundaciones, techos, pisos, etc) ya que para fines de esta investigación solo interesa el impacto ambiental originado por la elaboración de la tabiquería.

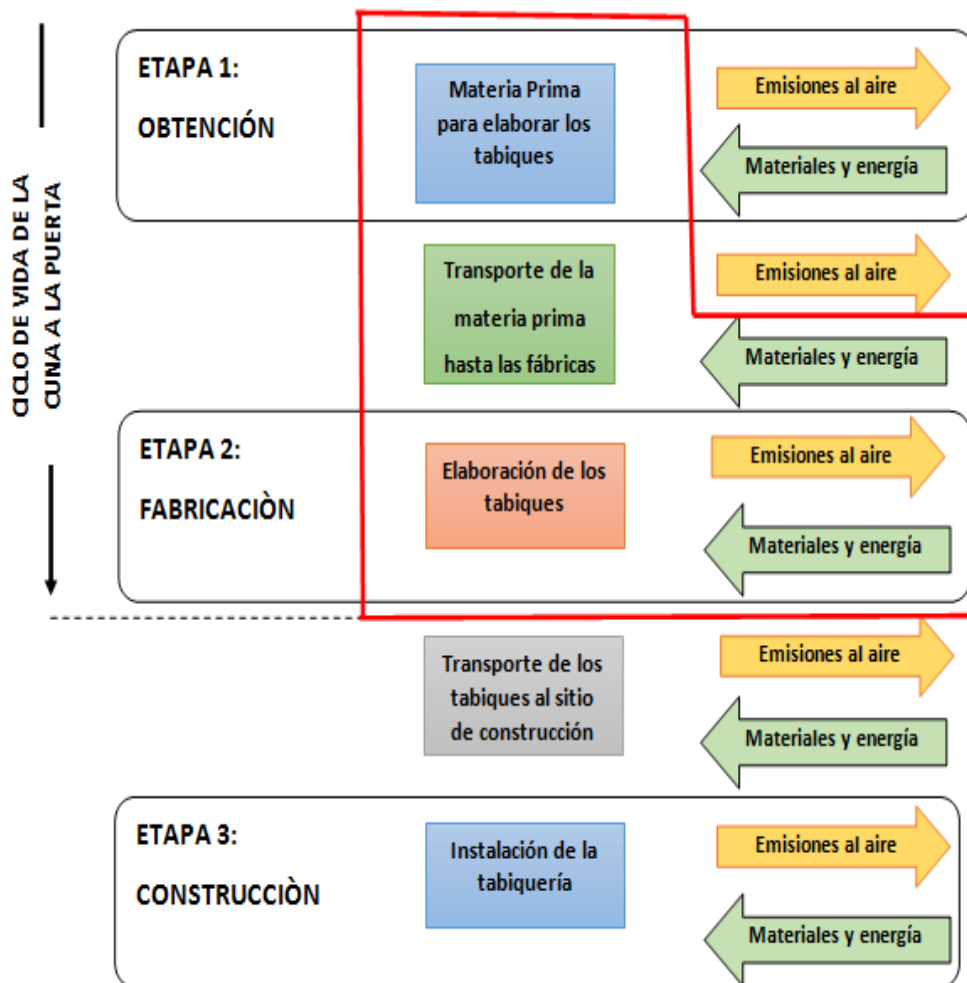


Figura 8. Límites del sistema de los tabiques

Fuente: El Autor 2018

- **Tipos y Fuentes de Datos**

Los datos de inventario para el caso del panel propuesto en el presente trabajo, se refiere a las cantidades de energía y materiales (cartón, aserrín, fibra de coco y aglutinantes) que serán usados para su elaboración. Esto se conoce como datos de entrada. En la Tabla 11 se presenta los tipos y fuentes de datos utilizados para cada uno de los procesos unitarios, los cuales coinciden con los límites del sistema:

**Tabla 11. Tipos y fuentes de datos por proceso unitario**

| <b>Procesos unitarios</b>   | <b>Tipos y fuentes de datos</b>   |
|---|---|
| Obtención de la materia prima   | Bases de datos disponibles en el Software                                 |
| Transportes de la materia prima desde su procedencia hasta el sitio de elaboración de los paneles | Visitas de campo a bloquearas y ladrilleras; datos estimados por el autor |
| Elaboración de los paneles  | Datos calculados por el Autor   |

**Fuente: El Autor 2018**

**Proceso Unitario 1:** Cuando no fue posible obtener información debido a la poca accesibilidad y disponibilidad de datos sobre este proceso unitario en fuentes bibliográficas y sitios de producción de los tabiques tradicionales, se recurrió a las bases de datos disponibles en el Software SimaPro, las cuales tienen a su disposición una infinidad de procesos de extracción y producción de diversos materiales de construcción a nivel mundial.

**Proceso Unitario 2:** Debido a que aún no existen fábricas para elaborar el panel por ser un elemento nuevo, se realizaron visitas de campo a diferentes bloquearas para conocer la distancia aproximada que recorren los camiones para transportar la materia prima usada en la elaboración de los bloques desde su lugar de procedencia, y la cantidad de combustible Diesel

que consumen por toneladas/kilómetros (tkm). Esos datos serán utilizados como punto de referencia, suponiendo que para trasladar los materiales para elaborar el panel, los camiones deban recorrer las mismas distancias.

**Proceso Unitario 3:** Los datos inventariados en la siguiente etapa correspondiente a la elaboración de los paneles fueron estimados y calculados por el Autor a lo largo del proceso de investigación y luego fueron transformadas en base a la unidad funcional (Ver Anexo D). Cabe destacar que algunos software como el SimaPro posee en su base de datos el ACV de bloques de concreto y ladrillos de arcilla, los cuales serán los elementos que serán comparados con el panel prefabricado propuesto en la presente investigación. Sin embargo, los mismos fueron creados siguiendo parámetros europeos, por lo que se llevará a cabo un nuevo ACV de los mismos usando datos de entrada de materiales y energía utilizados en bloqueras y ladrilleras artesanales Venezolanas para elaborarlos. Esto para obtener resultados más acordes con el entorno local.

- **Calidad de los datos**

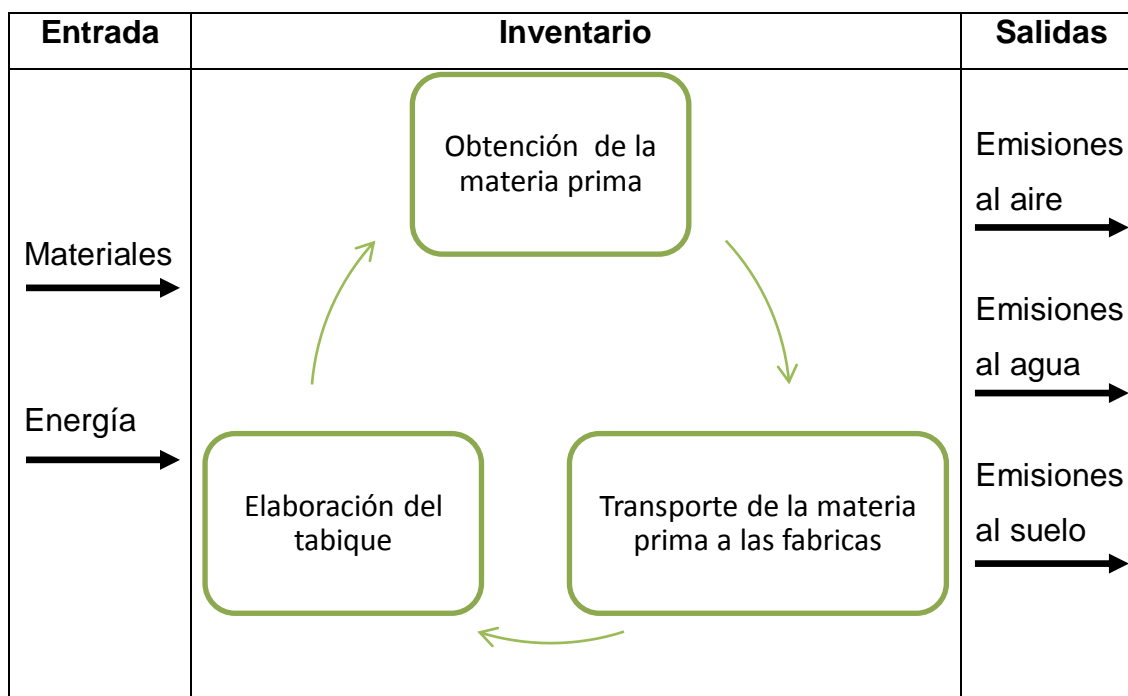
Cuando se lleva a cabo un análisis de Ciclo de Vida, hay que considerar que siempre se genera cierto grado de incertidumbre en los resultados, sobre todo cuando se combina información local con la información proporcionada por las bases de datos disponibles en algunos software, las cuales fueron generadas (en su mayoría) en sitios ajenos al entorno del estudio. Un ejemplo de ello es el caso de la base de datos Ecoinvent, el cual fue creado de acuerdo a parámetros europeos.

Sin embargo, debido a la falta de datos precisos y específicos para Venezuela, se hace necesario implementar, al menos, los que están disponibles en el programa para las etapas de obtención y suministro de

materias primas para la producción de materiales como el cemento y el almidón de maíz, así como el procesado de la arena, la arcilla y los recursos naturales (agua) empleados para la elaboración de los distintos elementos tradicionales, siempre considerando que los resultados son relativos; es decir, que a pesar de que no son del todo precisos para el entorno local, la comparación de los mismos se pueden considerar confiable.

### 3.6.3.2. Etapa II: Recolección de datos de inventario

En la gráfica 1, se observa los procesos unitarios a considerar en el ACV de los paneles prefabricados propuestos. Para llevar a cabo dicho análisis, es necesario recolectar datos de entrada de materiales y energía para la producción de los paneles, los cuales fueron calculados de acuerdo a la unidad funcional establecida anteriormente, es decir, para un 1m<sup>2</sup> de tabiquería. Estos datos se muestran en las Tabla 12.



Gráfica 1. Flujo de proceso de elaboración de paneles de cartón y aserrín

Fuente: El Autor 2018

Los valores de entrada de materiales y fueron calculados por el autor a lo largo del proceso de investigación (Anexo D). La energía se refiere al consumo de electricidad utilizado por el molino durante el proceso de extracción de la fibra de coco y durante la trituración del cartón (reciclaje). Y el gas es el utilizado durante la preparación del almidón de maíz y durante la preparación de la pasta durante el proceso de reciclaje de cartón.

**Tabla 12. Datos de entrada de materiales y energía para 1m<sup>2</sup> de muro**

| <b>Materiales</b> | <b>Energía</b> | <b>Unidad</b> | <b>Datos de entrada</b> |
|-------------------|----------------|---------------|-------------------------|
| Aserrín           | -              | Kg            | 10,4                    |
| Cartón            | -              | Kg            | 16                      |
| Fibra de coco     | -              | Kg            | 2,40                    |
| Almidón (panel 1) | -              | Kg            | 1,6                     |
| Cemento           | -              | Kg            | 1,2                     |
| Agua (panel 1)    | -              | Lts           | 7,2                     |
| Agua (panel 2)    | -              | Lts           | 24                      |
| -                 | Electricidad   | KW/h          | 0,31 + 0,33             |
| -                 | Gas natural    | MJ            | 0,35 + 0,45             |

**Fuente: El Autor 2018**

Igualmente, en la Tabla 13 se muestra el inventario correspondiente a la cantidad de combustible Diesel consumido durante el traslado de los materiales que serán utilizados para la fabricación del panel. Los Km se obtuvieron suponiendo que los camiones recorren las mismas distancias que al trasladar materiales para hacer bloques. Las Tkm se obtienen al multiplicar las toneladas de material por los km que debe recorrer los camiones desde su sitio de procedencia. En el caso de panel modelo 2, al no usar almidón el total km sería de 0,704 tkm requiriendo de 4,12E-5 m<sup>3</sup> de diesel.

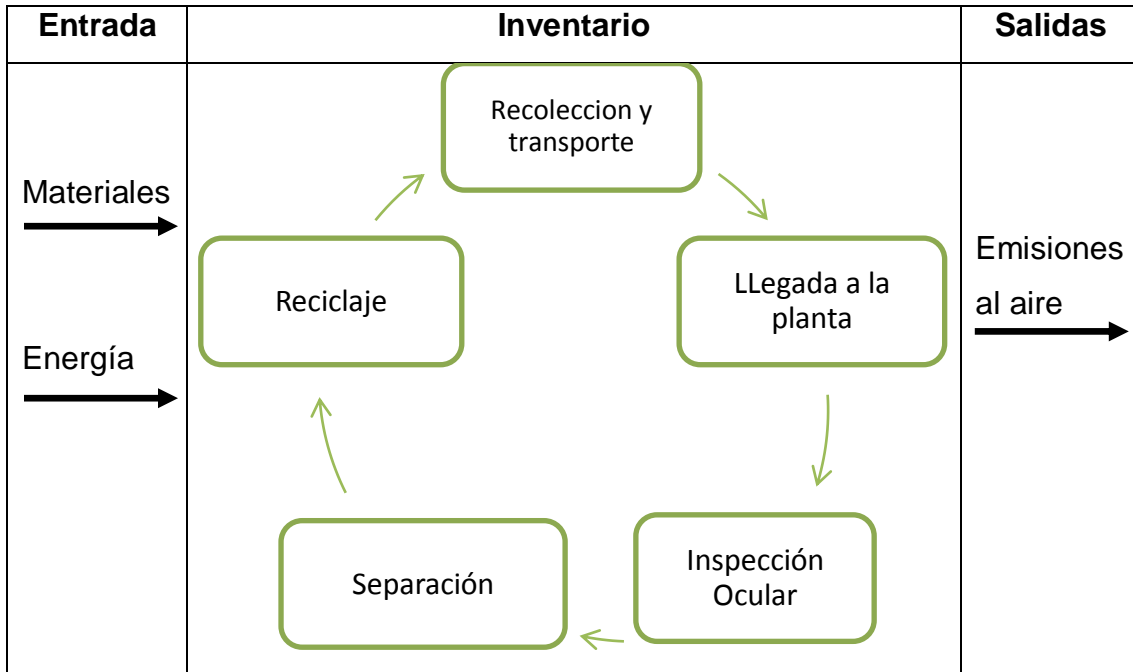


**Tabla 13. Entrada de combustible Diesel usada por camiones para Transporte de materiales al sitio de elaboración de los paneles**

| <b>Materiales a transportar</b> | <b>Km</b> | <b>Procedencia</b>         | <b>Tkm</b> | <b>Total tkm</b> | <b>Entrada de energía Diesel (m<sup>3</sup>)</b> | <b>Total Diesel (m<sup>3</sup>)</b> |
|---------------------------------|-----------|----------------------------|------------|------------------|--|-------------------------------------|
| Cartón                          | 5         | Plantas recicladoras       | 0,24       |                  | 1,50E-5  |                                     |
| Aserrín                         | 5         | Plantas recicladoras       | 0,26       |                  | 2,5E-6   |                                     |
| Fibra de coco                   | 5         | Plantas recicladoras       | 4,8E-4     | 0,72             | 2,3E-6   | 4,22E-5                             |
| Cemento                         | 100       | Radio General de la Ciudad | 0,2        |                  | 1,50E-5  |                                     |
| Almidón de maíz                 | 10        | Radio General de la Ciudad | 0,016      |                  | 2,7E-6   |                                     |
| Agua                            | -         | Red Municipal              | -          |                  | -  |                                     |

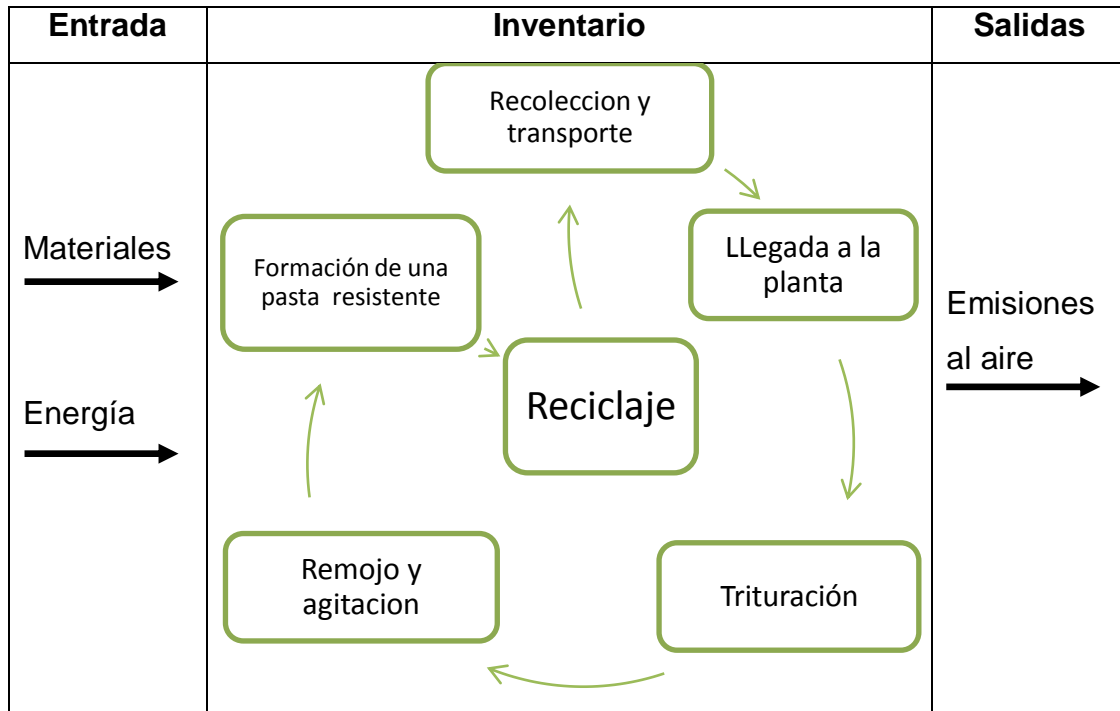
**Fuente: El Autor 2018**

Cabe destacar que el cartón, la fibra de coco y el aserrín, solo serán considerados desde el instante en que son RSU (residuos sólidos urbanos) provenientes de locales comerciales y residuos provenientes del aserrado de la madera en el caso del aserrín. Por lo que los procesos a considerar son desde el momento en que son recolectados y transportados hasta la plantas recicladoras (Ver las gráficas 2 y 3). El proceso de producción de los mismos no es necesario para el propósito del presente trabajo de investigación, considerando que las afecciones ambientales originadas por el proceso de reciclaje de los mismos son prácticamente nulos. En el caso del aserrín no se requiere ningún pre condicionamiento químico para su reciclaje.



Gráfica 2. Proceso de reciclaje de aserrín y la fibra de coco

Fuente: El Autor 2018



Gráfica 3. Proceso de reciclaje de cartón

Fuente: El Autor 2018

### 3.6.3.3 Etapa III: Aspectos generales del Software para realizar el ACV

La evaluación de impactos se llevará a cabo mediante la metodología del Ecoindicador 99 (H) y la cual fue desarrollada por Pré Consultants. Cabe destacar que un ecoindicador es un factor adimensional que representa una centésima parte de la carga ambiental de una persona como consecuencia de la elaboración de cierto producto (González 2012). A partir de esa información, se puede deducir cuales procesos energéticos son los causantes de los mayores daños a nivel ambiental para establecer alternativas de mejora que contribuyan a la reducción de esos daños.

En las Tablas 14, 15 y 16, se indican las categorías de impactos ambientales analizadas por el software y la clasificación de las mismas por daños ocasionados a la salud, al ecosistema y a los recursos naturales con sus respectivas fórmulas para calcularlas. Por último, se analizarán cuáles son las sustancias contaminantes emitidas al aire, al agua y al suelo producidos por la elaboración de los tabiques en estudio mediante la metodología del ecopoints 95 (CH).

**Tabla 14. Impactos y daños a la salud medidos en unidades de Daly**

| Categorías impacto               | Daños               | Formula   |
|----------------------------------|---------------------|---|
| -Efectos cancerígenos            | DAÑOS A LA<br>SALUD | <b>DALY (Años de vida con capacidad ajustados)</b><br>= (Años de vida perdidos por discapacidad × Ponderación × Incidencia) + (Años de vida perdidos por muerte prematura × Mortalidad) |
| - Efectos Respiratorios          |                     |   |
| -Agotamiento de la capa de ozono |                     |   |
| -Calentamiento global            |                     |   |
| -Toxicidad terrestre             |                     |   |

**Nota:** DALY es la unidad de medida que se traduce en la fracción de vida que una persona puede acabar perdiendo en caso de sufrir una enfermedad discapacitante debida a la exposición continuada de sustancias contaminantes.

**Fuente: González 2012**

**Tabla 15. Impactos y daños al ecosistema medidos en unidades de PDF\*M2yr (Reducción de m<sup>2</sup> de ecosistema por partículas diminutas)**

| Categorías de impacto | Daños                 | Formula   |
|-----------------------|-----------------------|---|
| Acidificación         | DAÑO AL<br>ECOSISTEMA | <b>Calidad del ecosistema</b> = PDF x Área x Tiempo<br>= (Especies de referencia de plantas<br>vasculares – Especies de plantas vasculares<br>después del uso de suelo) / Especies de<br>referencia de plantas vasculares x Área x Tiempo |
| Ecotoxicidad          |                       |   |
| Uso de suelo          |                       |   |

Fuente: González 2012

**Tabla 16. Impactos y daños a los recursos naturales medidos en unidades de MJ Surplus (Agotamiento por extracción continua)**

| Categorías de impacto                          | Daños                               | Formula   |
|--|-------------------------------------|---|
| Extracción de combustibles fósiles y minerales | DAÑO A LOS<br>RECURSOS<br>NATURALES | <b>MJ surplus (Exceso de energía)</b> = Cantidad<br>total de energía extraída x Número de veces<br>que la cantidad ha sido extraída |

Fuente: González 2012

Los resultados obtenidos con respecto al impacto generado por los paneles prefabricados propuestos serán comparados con los daños producidos durante la elaboración de los diferentes tabiques tradicionales disponibles en el Software.

#### 3.6.3.4. Etapa IV: Método para Evaluación de resultados

**Análisis de Integridad:** Una vez culminada las tres primeras etapas del estudio de ACV siguiendo las pautas establecidas en la norma ISO 140-40 y

cumpliendo con el objetivo inicialmente establecido, que no era más que comparar el impacto ambiental generado por la fabricación de los diferentes tabiques tradicionales con el generado por la fabricación de los paneles prefabricados propuesto en esta investigación, se puede afirmar que todos los datos necesarios para llevar a cabo el estudio de impacto, se encuentran completos.

#### **3.6.4. Metodología aplicada para llevar a cabo A.P.U de los paneles**

En esta etapa se utilizará el programa Maprex para llevar a cabo el análisis de precio unitario (APU) correspondiente a la elaboración de un panel prefabricado. Igualmente, se analizará la cantidad que se requiere de estos paneles para cubrir varios m<sup>2</sup> de tabiquerías tomando como referencia un plano de una vivienda de interés social de Venezuela, la misma se encuentra detallada en el Anexo F con sus respectivos cálculos métricos, los cuales son necesarios para definir las cantidades de materiales indicados en las planillas de APU.

## **CAPITULO IV**

### **PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

En este capítulo se plasma la esencia del presente trabajo de investigación, mostrando las cantidades utilizadas para desarrollar los diseños de las mezclas que serán implementadas para la fabricación de los paneles prefabricados propuestos. Además, se describen los resultados obtenidos en cada ensayo con su respectivo análisis con el objeto de verificar que se cumplan con las propiedades mínimas establecidas en las Normas. Este paso es crucial debido a que si se pretende romper paradigmas en cuanto al uso de materiales reciclables en la elaboración de elementos constructivos es necesario demostrar con hechos comprobables su correcta funcionalidad.

Por otro lado, se realizará un análisis de ciclo de vida (ACV) para medir los impactos ambientales originados por la fabricación de los paneles propuestos en comparación con los sistemas de tabiques tradicionales. Finalmente, se llevara a cabo un análisis de precios unitarios (APU), en donde serán comparados los costos de elaboración de tabiques con materiales tradicionales y los costos utilizando los materiales alternativos propuestos con el objeto de establecer ventajas económicas.

#### **4.1 Hacer paneles prefabricados con la utilización de viruta de madera y cartón reciclado**

Los paneles propuestos se diseñaron en un lapso de tiempo de 6 meses, periodo en el cual se buscó las cantidades o proporciones adecuadas para que los paneles quedaran los más firmes y compactas posibles.

Para ello, se diseñaron varios bloques de prueba para obtener la dosificación ideal de cada material. En la Tabla 17, se indican las cantidades utilizadas en cada caso.

**Tabla 17. Dosificación de materiales para elaborar paneles de prueba de 20x10x5cm**

|          | Cartón<br>(kg) | Aserrín<br>(kg) | Fibra de<br>Coco (kg) | Cemento<br>(kg) | Almidón<br>(g) | Agua<br>(ml) |
|----------|----------------|-----------------|-----------------------|-----------------|----------------|--------------|
| Prueba 1 | 0,50           | 0,320           | -                     | -               | 15             | 400          |
| Prueba 2 | 0,43           | 0,320           | -                     | -               | 15             | 310          |
| Prueba 3 | 0,40           | 0,276           | 0,175                 | -               | 15             | 280          |
| Prueba 4 | 0,32           | 0,280           | 0,096                 | 0,48            | 30             | 150          |
| Prueba 5 | 0,32           | 0,308           | 0,200                 | 0,10            | 30             | 150          |
| Prueba 6 | 0,32           | 0,308           | -                     | 0,10            | -              | 210          |
| Prueba 7 | 0,32           | 0,308           | 0,200                 | 0,10            | -              | 210          |

De acuerdo a las características físicas, el peso y tiempo de fraguado observado una vez realizado cada bloque de prueba, se estableció las proporciones de los materiales y el procedimiento adecuado para elaborar los mismos. A continuación, se explican las observaciones obtenidas en cada caso:

**Bloque de Prueba 1:** Inadecuada adherencia de los materiales debido al grosor de cartón y secado lento (9 días) del bloque como consecuencia de la humedad y la cantidad de agua utilizada. Se rompe de 1 impacto con una esfera de 1,5 kg. El bloque Pesa 0,9 kg

**Bloque de Prueba 2:** Los materiales se adhieren mejor que en la prueba anterior, sin embargo el tiempo de secado sigue siendo lento (6 días) debido a la humedad aun presente en el cartón cuando se exprimió. Una vez

listo, se observó que el bloque era frágil y débil (Se quebró a los 2 golpes con una esfera de 1,5 kg). Pesa 0,765 kg

**Bloque de Prueba 3:** Al usar pocas cantidades de agua los tiempos de secado del bloque disminuyeron (3 días). El uso de la fibra de coco le proporciona mayor resistencia a impactos al bloque (6 impactos). Pesa 0,866 kg. En la Figura 9 se observa que en los bloques de prueba 1, 2 y 3 no se compactaron adecuadamente los materiales y poseen mal desempeño ante impactos (Arriba). Vista frontal, transversal y longitudinal de bloque 1 mostrando mal adherencia de materiales (Abajo)



**Figura 9. Bloque de prueba 1, 2 y 3**

**Fuente: El Autor 2018**

**Bloque de Prueba 4:** El uso de cemento ayudo a disminuir el tiempo de secado (1 día) ya que absorbió la humedad presente. Sin embargo quedo un elemento más pesado (1,206 kg). Resiste 8 impactos.

**Bloque de Prueba 5:** La disminución de las cantidades de cemento ayudo a disminuir el peso del bloque (0,958 kg) y resiste 9 impactos debido al uso de más fibra de coco.



**Bloque de Prueba 6:** En esta prueba se elimina el uso del almidón, partiendo de la idea de que el cartón por si solo posee celulosa que sirve de aglutinante. Por lo que se usa más agua para remojar cartones y luego se exprime el exceso. También se evita el uso de la fibra. El tiempo de secado es de 1 día y resiste 7 impactos. Pesa 0,9 Kg

**Bloque de Prueba 7:** El uso de fibra de coco disminuyo la manejabilidad de la mezcla en esta prueba ya que no se usó almidón. Sin embargo, proporciono más resistencia a impactos al bloque (12 impactos) en comparación con la prueba 6. Pesa 0,928 kg. En la Figura 10, se observan los bloques de prueba 4, 5, 6 y 7, los cuales mostraron mejor desempeño y compactación de los materiales.

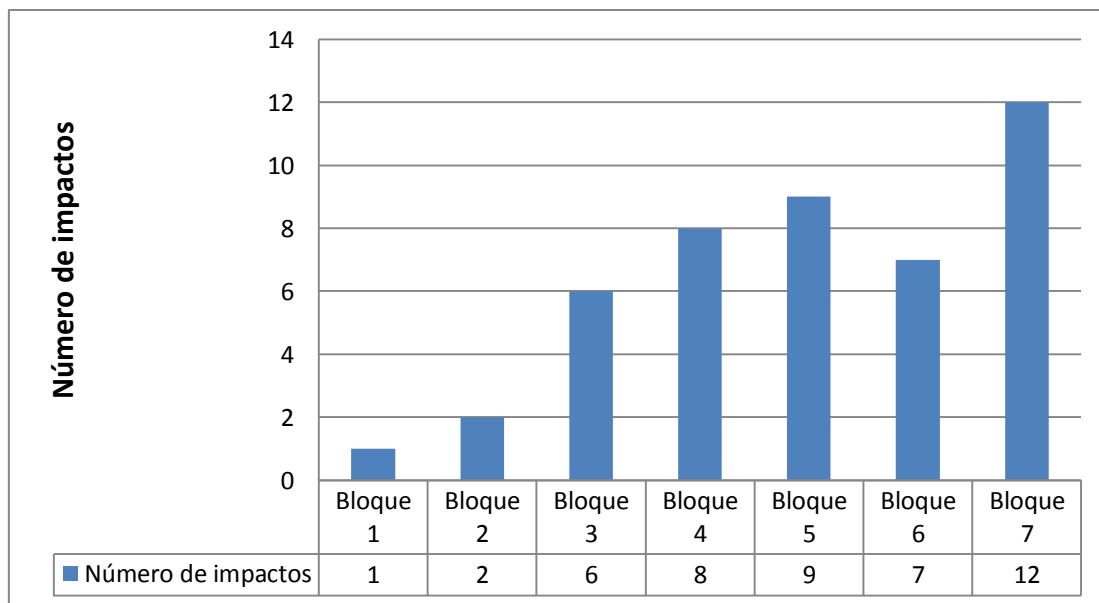


**Figura 10. Bloque de prueba 4, 5, 6 y 7**

**Fuente: El Autor 2018**

Los aspectos más importantes observados durante y después de la elaboración de los bloques de prueba se pueden apreciar en las gráficas 7, 8 y 9. Cabe destacar que la modificación de la cantidad de materiales y el uso o desuso de algunos de ellos, fueron con el objeto de mejorar las debilidades que se fueran presentando en dichos bloques, para obtener una combinación única y adecuada de materiales y un elemento los más compacto, resistente y lo más liviano posible.

En la gráfica 4, se observa resultados satisfactorios en las pruebas 5 y 7. A pesar de que el procedimiento seguido en la elaboración de los dos últimos fue el mismo, se evitó usar fibra de coco en la prueba 6, mientras que en el bloque 7 si se incluyó. El resultado obtenido es que la adición de este material si influyó en una de las características del bloque 7, ya que le proporciono mayor resistencia al impacto que al bloque 6. Igualmente, al incluir la fibra en la prueba 3, se obtuvieron mejores resultados que en las dos primeras.

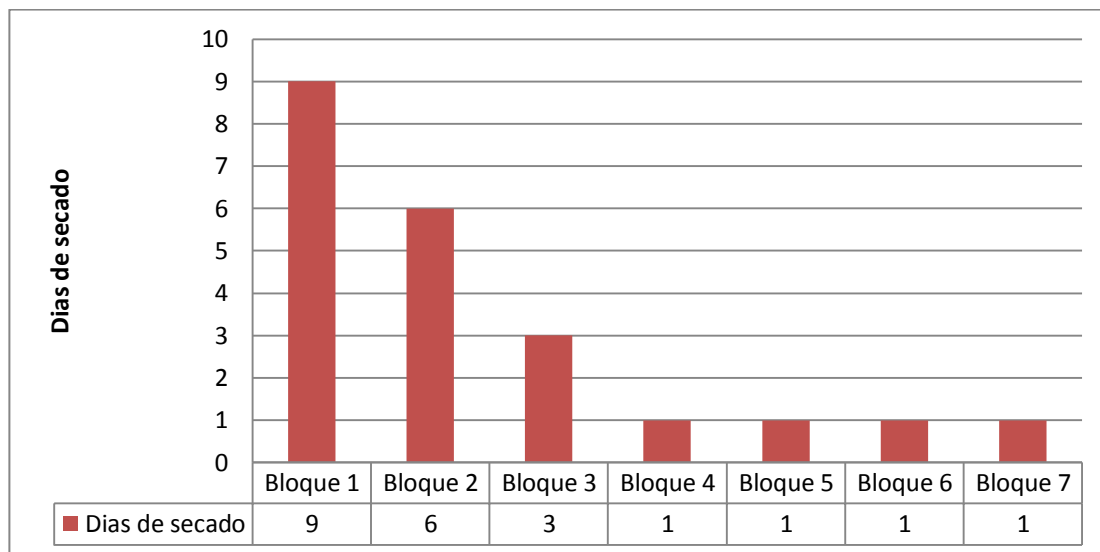


**Gráfica 4. Números de golpes que resisten los bloques de prueba**

**Fuente: El Autor 2018**

Por otro lado, la prueba 5 también presenta una buena resistencia al impacto en comparación con la prueba 4, los cuales siguieron el mismo procedimiento. La diferencia radica en que en el bloque 5 se incluyó mayor cantidad de fibra de coco. Todo esto es indicativo de la importancia que posee el uso de esta fibra natural en la elaboración de elementos constructivos, ya que actúa como un elemento que mantiene unidos todos los materiales y les proporciona resistencia a la fisuración.

En la Gráfica 5, se observa satisfactoriamente que los últimos 4 bloques de prueba tienen un tiempo de secado adecuado (1 día), debido a que el cemento usado en las mismas ayudo a absorber el agua presente en la mezcla. Esto se deduce por el hecho de que en la prueba 3 no se utilizó este material, y el tiempo de secado fue mayor (3 días), aunque el almidón ayudo a aglutinar todos los materiales y a formar un elemento compacto.



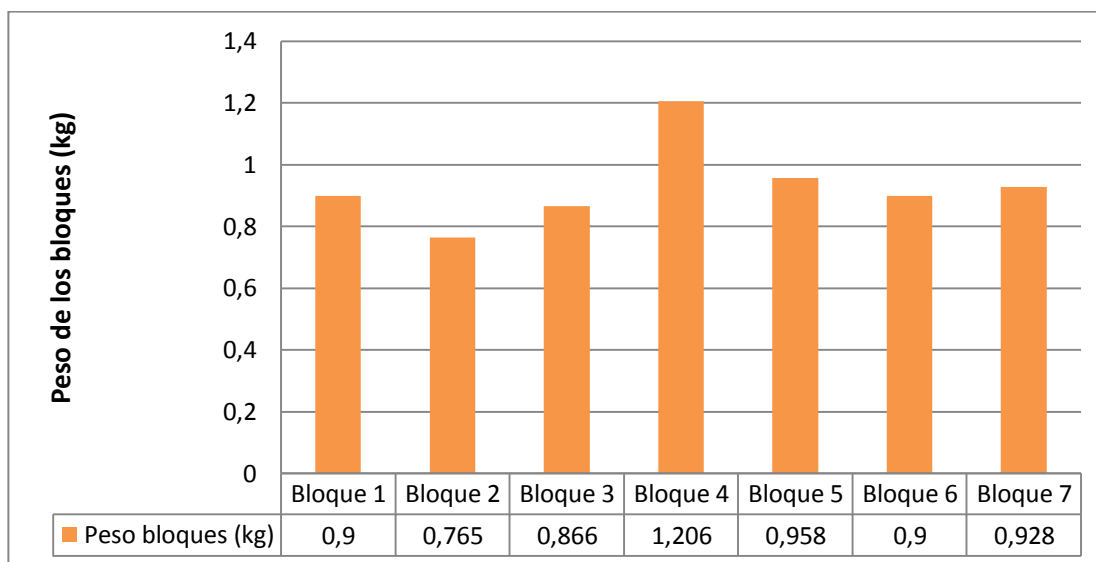
**Gráfica 5. Días de secado de los bloques de prueba**

**Fuente: El Autor 2018**

Por otro lado, en las pruebas 1 y 2 se usó una inadecuada cantidad de agua para mezclar los materiales y para preparar el almidón, lo que contribuyó a aumentar los tiempos de secado de los bloques. Este aspecto se corrigió en las pruebas siguientes disminuyendo el uso del agua y usando cemento para absorber la poca humedad presente en la mezcla, lo que se redujo en buenos resultados.

En la Gráfica 6, se observa que el uso de cemento en los últimos 4 bloques de prueba aumento un poco el peso de los mismos en comparación con los primeros 3 que no poseen este material. Sobre todo en la prueba 4, donde se incluyó una cantidad excesiva, por lo que su uso se fue

disminuyendo en lo posible en las pruebas siguientes hasta obtener un elemento de tan solo 0,9 kg (bloque 6). Cabe destacar que los últimos 3 bloques de prueba tienen la misma cantidad de cemento. Con la diferencia de que el bloque 5 contiene almidón, razón por la cual este es el elemento más pesado entre los tres últimos. El bloque 6 y 7 pesan relativamente lo mismo, pero este último contiene fibra de coco cuyo peso es despreciable.



**Gráfica 6. Peso de los bloques de prueba**

**Fuente: El Autor 2018**

En general, y de acuerdo a todo lo anterior, se puede concluir que el bloque de prueba 7 presenta mejores características, al ser el más resistente a impactos por el uso de la fibra de coco, el más liviano ya que se usa poco cemento y se evita el uso del almidón y el tiempo de secado es de 1 día. Alternativamente, el bloque de prueba 5 también presenta buenas características de resistencia y peso después del bloque 7 y el mismo tiempo de secado.

Sin embargo, en cuanto al proceso de elaboración de ambos elementos, resultó más ventajosa la fabricación del bloque de prueba 5

debido a que el uso del almidón ayuda a darles manejabilidad a los materiales, facilitando así el proceso de mezclado, algo que no se logró en la prueba 7, donde además se tuvo que usar mayor cantidad de agua para darle manejabilidad al cartón y el cual fue necesario exprimir antes de polvorear el cemento y mezclar todos los materiales.

Por lo tanto, el procedimiento y las proporciones de materiales utilizados durante el proceso de elaboración de los bloques de prueba 5 y 7, serán el punto de partida para elaborar paneles prefabricados de mayores dimensiones para ser utilizados como tabiquerías en viviendas de interés social. Las realizadas de acuerdo al bloque de prueba 5 se conocerán como “proceso paneles 1”, y las realizadas de acuerdo al bloque de prueba 7 se conocerán como “proceso paneles 2”.

#### **4.1.1 Características de los materiales**

Las pruebas realizadas anteriormente permitieron descubrir y percibir ciertas características individuales importantes de cada material utilizado para elaborar los bloques, gracias a las cuales se obtuvo un elemento compacto al lograr la unión entre ellos. A continuación, se indican las características más sobresalientes de los mismos:

**Cartón y aserrín:** El cartón contiene celulosa que sirve de aglutinante natural, por lo que permite una mejor unión entre los materiales. Por su parte, el empleo de aserrín contribuye a aumentar el volumen de la mezcla. La unión de estos materiales les proporciona mayor resistencia, por lo que soportar bien los esfuerzos a los que son sometidos durante su uso como tabiquerías.

**Fibra de coco:** Elevan la resistencia a la humedad, ya que las fibras contienen espacios porosos que drenan el agua presente en el bloque.

Igualmente Incrementan el buen desempeño del panel ante una carga de impacto o una fisura al mantener unidos todos los materiales que lo componen.

**Cemento y Almidón:** El cemento ayuda a lograr una mejor compactación de los materiales durante el proceso de mezclado además de absorber el exceso de humedad presente en la mezcla, lo que permite un rápido secado. El almidón ayuda a suavizar los materiales para darles mayor manejabilidad durante el proceso de mezclado. Ambos materiales tienen la cualidad de actuar como aglutinantes al unir todos los materiales, esta propiedad es importante ya que permite obtener un solo elemento compacto y resistente.

#### 4.1.2 Cantidades usadas de cada material para elaborar los paneles prefabricados

Los paneles prefabricados pueden ser elaborados en diferentes dimensiones de acuerdo a lo establecido en el proyecto de vivienda. Las cantidades utilizadas para fabricarlos se especifican en la Tabla 18 y 19, siguiendo los mismos procedimiento, materiales y las proporciones usadas para elaborar los bloques de prueba 5 y 7.

**Tabla 18. Cantidades de materiales utilizadas en el “proceso panel 1” de acuerdo al procedimiento usado para elaborar bloque de prueba 5**

| Dimensiones<br>(cm) | Cemento<br>(g) | Cartón<br>(Kg) | Aserrín<br>(Kg) | Fibra<br>coco (kg) | Almidón<br>(kg) | Agua<br>(Lts) |
|---------------------|----------------|----------------|-----------------|--------------------|-----------------|---------------|
| 50x25x5             | 150            | 2              | 1,30            | 0,300              | 0,20            | 1,5           |
| 50x50x5             | 300            | 4              | 2,60            | 0,600              | 0,20            | 1,8           |
| 100x100x5           | 600            | 8              | 5,20            | 0,800              | 0,50            | 3             |

Fuente: El Autor 2018

**Tabla 19. Cantidades de materiales utilizadas en el “proceso panel 2” de acuerdo a las proporciones usadas para elaborar bloque de prueba 7**

| Dimensiones<br>(cm) | Cemento<br>(g) | Cartón<br>(Kg) | Aserrín<br>(Kg) | Fibra de<br>coco (kg) | Agua<br>(Lts) |
|---------------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------------|---------------|
| 50x25x5             | 150            | 2              | 1,30            | 0,300                 | 5             |
| 50x50x5             | 300            | 4,5            | 2,60            | 0,600                 | 6             |
| 100x100x5           | 600            | 8              | 5,20            | 0,800                 | 10            |

Fuente: El Autor 2018

Igualmente, se estableció las proporciones adecuadas para elaborar varios paneles prefabricados de diferentes dimensiones con los materiales propuestos. Las mismas se indican en la Tabla 20, tomando en consideración el procedimiento que se desee aplicar, ya sea el realizado durante la elaboración del bloque de prueba 5 o 7.

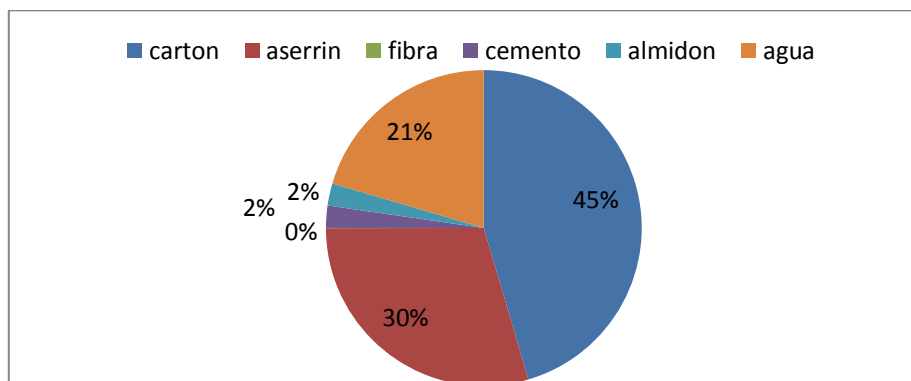
**Tabla 20. Cantidades utilizadas para elaborar 50 paneles prefabricados**

| Materiales            | Paneles de<br>50x25x5 | Paneles de<br>50x50x5 | Paneles de<br>100x100x5 |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
| Cartón (Kg) panel 1   | 100                   | 200                   | 400                     |
| Cartón (Kg) panel 2   | 100                   | 225                   | 400                     |
| Aserrín (kg)          | 65                    | 130                   | 260                     |
| Cemento (Kg)          | 7,5                   | 15                    | 30                      |
| Fibra de coco (kg)    | 15                    | 30                    | 40                      |
| Almidón (kg) panel 1  | 10                    | 10                    | 25                      |
| Agua (litros) panel 1 | 75                    | 90                    | 150                     |
| Agua (litros) panel 2 | 250                   | 300                   | 500                     |

**Nota:** La cantidad de agua no afecta el peso del panel, ya que el exceso de agua se evapora durante el proceso de secado

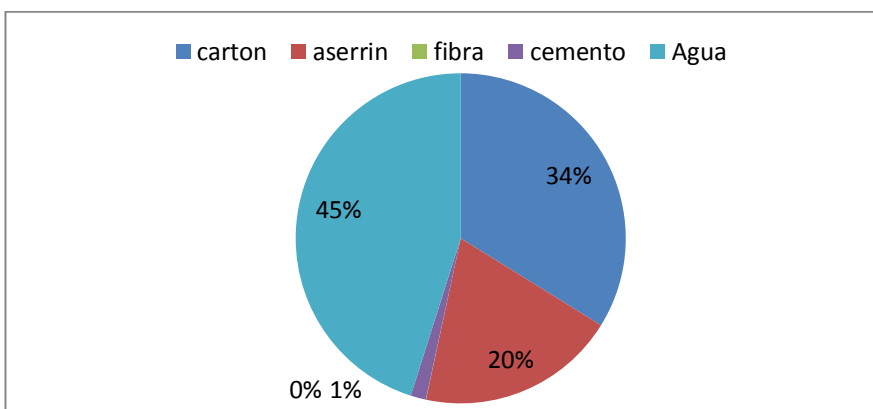
Fuente: El Autor 2018

En las gráficas 7 y 8, se indican los porcentajes de cada material utilizado para elaborar los paneles, donde el cartón y el aserrín son los más predominantes en la elaboración de los paneles propuestos 1. Mientras que el cemento y el almidón son los aglutinantes de menor participación en la elaboración de los mismos. Por su parte, debido a la eliminación del almidón en el proceso de elaboración de los paneles 2, el porcentaje de agua utilizado para remojar el cartón y darles manejabilidad aumenta. Sin embargo, este exceso de agua se elimina durante el proceso de secado y evaporación, por lo que no afecta el peso, la calidad del panel ni el tiempo de secado del mismo una vez vaciado en los encofrados.



**Gráfica 7. Proporción de material para elaborar paneles propuestos 1**

**Fuente: El Autor 2018**



**Gráfica 8. Proporción de material para elaborar paneles propuestos 2**

**Fuente: El Autor 2018**



En la Figura 11, se muestra el procedimiento aplicado para elaborar los paneles: 1) A la mezcla de cartón triturado humedecido en almidón o en agua se le agrega viruta de madera y fibra de coco. 2) Se mezclan hasta que estén bien distribuidos. 3) Se añade el cemento para aglutinar y 4) Se mezclan todos los materiales nuevamente hasta que la mezcla quede lista para vaciar en los encofrados (Ver Figura 12)



**Figura 11. Preparación de la mezcla para los paneles**

**Fuente: El Autor 2018**

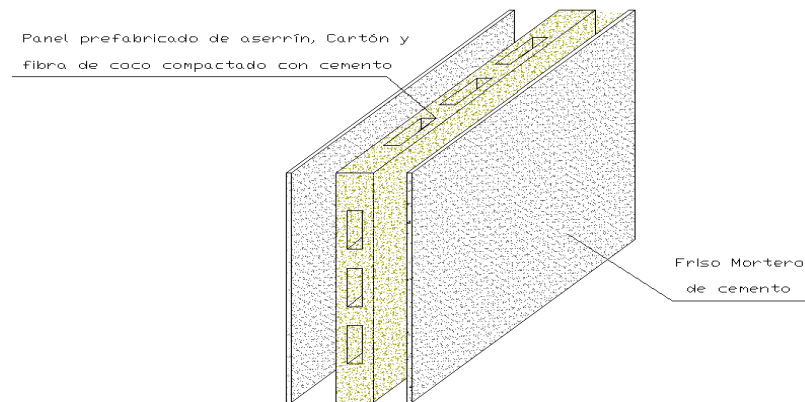


**Figura 12. Vaciado de mezcla en encofrados**

**Fuente: El Autor 2018**

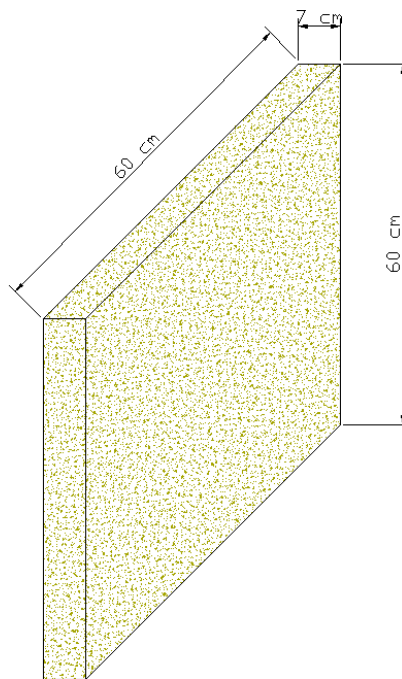
### 4.1.3 Modelos de paneles prefabricados propuestos

A continuación, en las Figuras 13, 14, 15 y 16 se mostrarán los 4 modelos de los paneles prefabricados propuestos en la presente investigación. Dichos paneles fueron modelados en AutoCAD 2D para mostrar su forma y sus diferentes dimensiones.



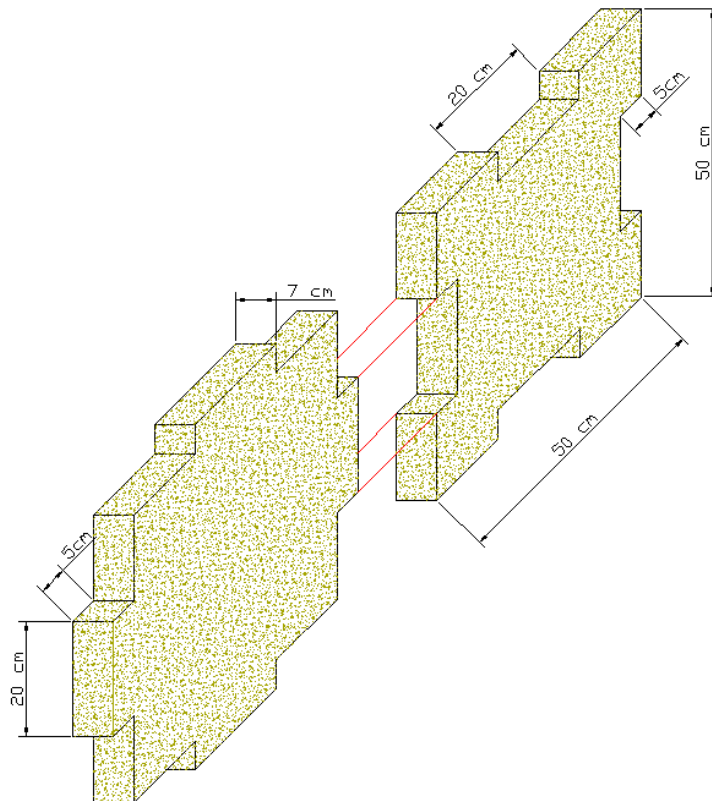
**Figura 13. Panel prefabricado incluyendo el friso (Modelo 1)**

Fuente: El Autor 2018



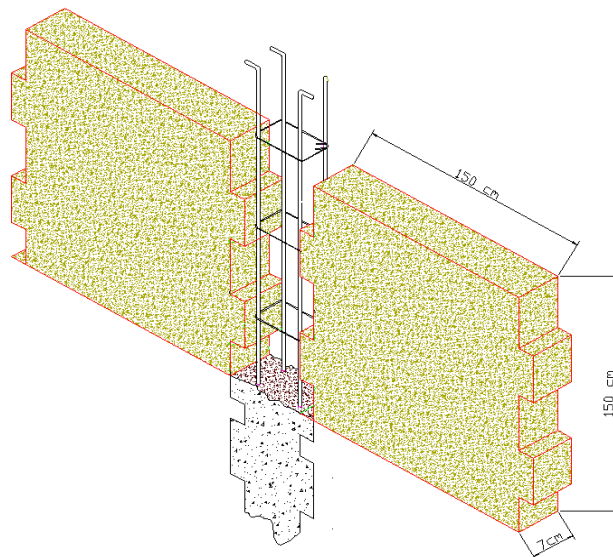
**Figura 14. Panel prefabricado simple para unión con mortero de cemento (Modelo 2)**

Fuente: El Autor 2018



**Figura 15. Paneles prefabricados armables sin incluir mortero de cemento (Modelo 3)**

**Fuente: El Autor 2018**



**Figura 16. Paneles prefabricados de mayores dimensiones para tabiques en viviendas**

**Fuente: El Autor 2018**

Una de las ventajas de estos elementos constructivos es que las mismas pueden variar dependiendo de los requerimientos del proyecto. Se aconseja un espesor mínimo de 7cm considerando que algunos muros divisorios tendrán incrustados cajetines y cableado eléctrico.

#### **4.2 Realizar ensayos para medir las propiedades de los paneles según las Normas ASTM correspondientes.**

Una vez realizado los paneles se procede a llevar a cabo los diferentes ensayos para medir las propiedades de los mismos con el fin de comprobar que la utilización de materiales reciclables como la viruta de madera, el cartón reciclado y la fibra de coco en combinación con almidón de maíz y cemento, resulta una solución constructiva segura para los habitantes de las viviendas. A continuación, en la Tabla 21 se indican los ensayos realizados y la cantidad de paneles prefabricados usados en cada uno de ellos.

**Tabla 21. Número y dimensiones de los paneles ensayados**

| <b>Normas</b> | <b>Nombre del ensayo</b>                   | <b>Número de mediciones</b> | <b>Dimensiones (cm)</b> |
|---------------|--|-----------------------------|-------------------------|
| ACI 216 -1-97 | Resistencia al fuego y aislamiento térmico | 3                           | 50x50                   |
| ASTM E84      | dispersión del fuego                       | 3                           | 50x50                   |
| ASTM E514     | Impermeabilidad                            | 4                           | 50x25                   |
| ASTM D695     | Resistencia al impacto                     | 5                           | 50x25                   |

Fuente: El Autor 2018

##### **4.2.1 Ensayo de Resistencia al fuego y aislamiento térmico**

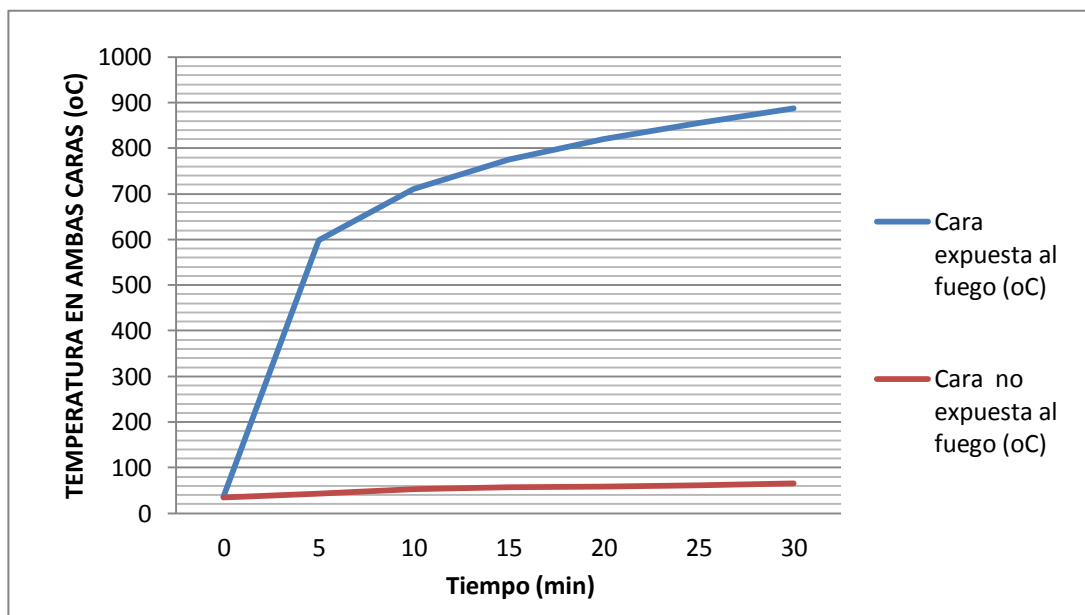
Este ensayo simula un incendio real y el objeto del mismo consiste en determinar el comportamiento del elemento ante la acción del fuego. A

continuación se muestran los resultados obtenidos en los ensayos de cada una de las muestras, las mismas se pueden observar en las tablas 22, 23 y 24

**Tabla 22. Temperaturas registradas durante el ensayo de resistencia al fuego de un panel de 5 cm de espesor sin revestimiento de cemento**

| Tiempo<br>(min) | TEMPERATURA                 |                                |
|-----------------|-----------------------------|--------------------------------|
|                 | Cara expuesta al fuego (°C) | Cara no expuesta al fuego (°C) |
| 0               | 35,6                        | 34,1                           |
| 5               | 598,91                      | 42,5                           |
| 10              | 710,71                      | 52,28                          |
| 15              | 774,86                      | 56,30                          |
| 20              | 820,28                      | 58,43                          |
| 25              | 855,11                      | 60,51                          |
| 30              | 887,60                      | 65,80                          |

Fuente: El Autor 2018



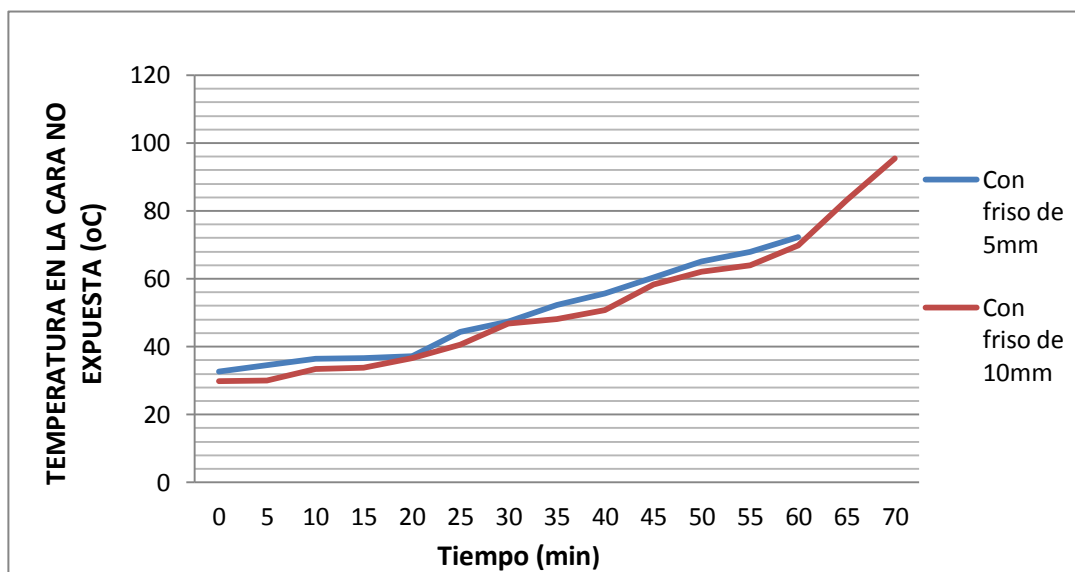
**Gráfica 9. Relación tiempo temperatura del panel ensayado sin friso**

Fuente: El Autor 2018

**Tabla 23. Temperaturas registradas en las caras no expuestas al fuego de paneles de 5 cm de espesor con revestimientos de cemento**

| Tiempo (min) | TEMPERATURA EN LA CARA NO EXPUESTA AL FUEGO (°C) |                   |
|--------------|--|-------------------|
|              | Con friso de 5mm                                 | Con friso de 10mm |
| 0            | 32,6   | 30,6              |
| 5            | 34,6   | 32,5              |
| 10           | 36,5   | 34,3              |
| 15           | 36,7   | 34,5              |
| 20           | 37,1   | 36,7              |
| 25           | 44,27  | 43,8              |
| 30           | 47,4   | 46,9              |
| 35           | 52,3   | 51,8              |
| 40           | 55,6   | 55,1              |
| 45           | 60,4   | 58,4              |
| 50           | 65,2   | 63                |
| 55           | 68   | 65,7              |
| 60           | 72,2   | 69,8              |
| 65           | -  | 83,3              |
| 70           | -  | 95,4              |

Fuente: El Autor 2018



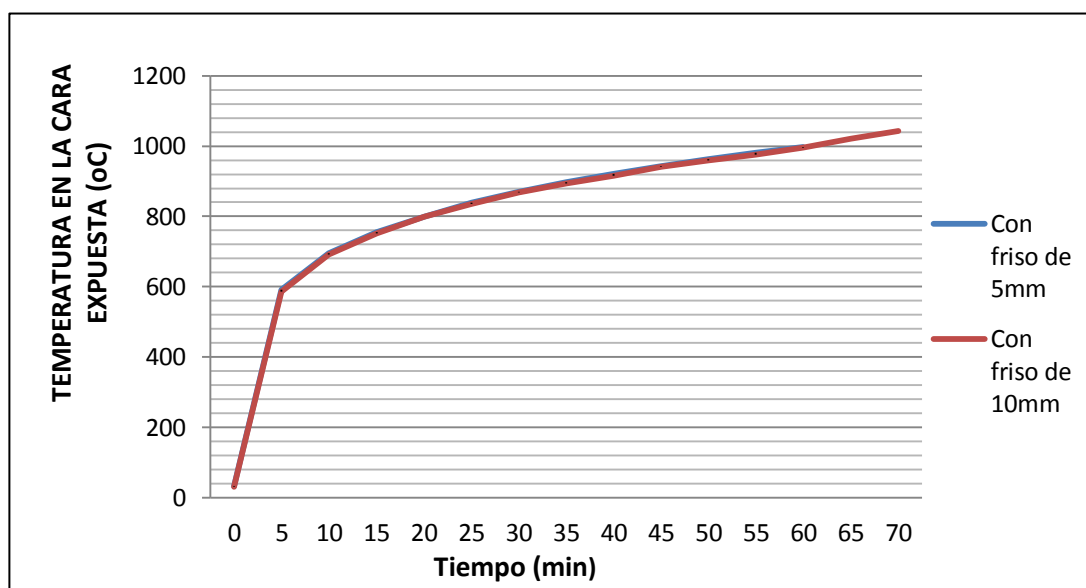
**Gráfica 10. Relación tiempo temperatura del panel con friso de diferentes espesores**

Fuente: El Autor 2018

**Tabla 24. Temperaturas registradas en las caras expuestas al fuego de paneles de 5 cm de espesor con revestimientos de cemento**

| Tiempo<br>(min) | TEMPERATURA EN LA CARA EXPUESTA AL FUEGO (°C) |                   |
|-----------------|---|-------------------|
|                 | Con friso de 5mm                              | Con friso de 10mm |
| 0               | 32,6  | 29,8              |
| 5               | 591,1   | 586,5             |
| 10              | 694,93  | 691,8             |
| 15              | 755,26  | 752,3             |
| 20              | 798,45  | 798,05            |
| 25              | 838,87  | 835,11            |
| 30              | 869,20  | 868,69            |
| 35              | 897,11  | 893,1             |
| 40              | 920,34  | 915,54            |
| 45              | 942,74  | 940,73            |
| 50              | 963,28  | 960,08            |
| 55              | 980,33  | 976,33            |
| 60              | 997,54  | 955,14            |
| 65              | -   | 975,6             |
| 70              | -   | 1020,6            |

Fuente: El Autor 2018



**Gráfica 11. Relación tiempo temperatura del panel con friso en la cara expuesta**

Fuente: El Autor 2018

Una vez finalizado el ensayo de resistencia al fuego y tabulados todos los datos obtenidos con su respectivas gráficas, se puede llevar a cabo los análisis correspondientes a los paneles. En la Tabla 25, se indica la designación de resistencia al fuego en cada caso. De acuerdo a esto, se puede afirmar lo siguiente:

**Tabla 25. Clasificación de resistencia al fuego de los elementos ensayados según ASTM E119**

| <b>Muestra</b>                  | <b>Tiempo que resistió la muestra (minutos)</b> | <b>Clasificación de Resistencia al fuego</b> |
|---------------------------------|---|--|
| Panel de 5 cm sin friso         | 30  | F30  |
| Panel de 5 cm con friso de 5mm  | 60  | F60  |
| Panel de 5 cm con friso de 10mm | 70  | F60  |

Fuente: El Autor 2018

**Panel de 5 cm sin friso:** El comportamiento mostrado por el panel durante los 30 minutos que duró el ensayo permite afirmar que la misma es resistente ante la acción del fuego. En la Figura 17, se puede observar que el área del panel que fue expuesta al fuego se quemó pero no se consumió durante la prueba (Centro) y el fuego no se propagó alrededor. De hecho, el panel no agarró fuego y el área no expuesta al mismo quedo casi intacta (Derecha), así como partes en el lado expuesto.

Sin embargo, una vez que culminó el ensayo, la muestra se fue desintegrando lentamente y en un lapso de cinco horas ya estaba totalmente consumida. De acuerdo a lo anterior, el panel resistió los 30 minutos reglamentarios, tiempo suficiente para que los ocupantes de la vivienda puedan ponerse a salvo en caso de un incendio.





**Figura 17. Prueba de resistencia al fuego a paneles sin revestimiento**

**Fuente: El Autor 2018**

Por norma, a este valor le corresponde una clasificación de resistencia al fuego F30, tal como se indica en la Tabla 25. En la Gráfica 9 se puede observar la curva tiempo/temperatura, equivalente al comportamiento mostrado por el panel durante la prueba. Cabe destacar que una vez una vez apagado el incendio, hay que regar agua en las áreas afectadas por el fuego o en su defecto retirarlas y reemplazarlas, para así evitar que se consuma el resto de la tabiquería.

**Panel revestido con friso:** Las muestras con el revestimiento de 5mm y 10mm de espesor también mostraron un buen comportamiento durante el ensayo. En ambos casos, el friso proporcionó mayor protección al panel ante la acción del fuego, ya que para que se quemara el panel primero debe desprenderse el friso, y esto empezó a ocurrir transcurrido 32 minutos del ensayo, y casi hasta el final del ensayo se desprendió por completo (Figura 19). En los primeros minutos, se observó quemaduras en el friso de 5 y 10mm de espesor, pero los mismos permanecieron intactos y el fuego no se propagó (Figura 18). De acuerdo a la Tabla 25, el ensayo en ambos casos se realizó en un periodo de tiempo de 60 y 70 minutos respectivamente,

ubicándolos en una clasificación de resistencia al fuego F60, lo que está dentro de los parámetros para su uso en viviendas como tabiquerías.



**Figura 18. Ensayo de resistencia al fuego de paneles con revestimiento**

**Fuente: El Autor 2018**

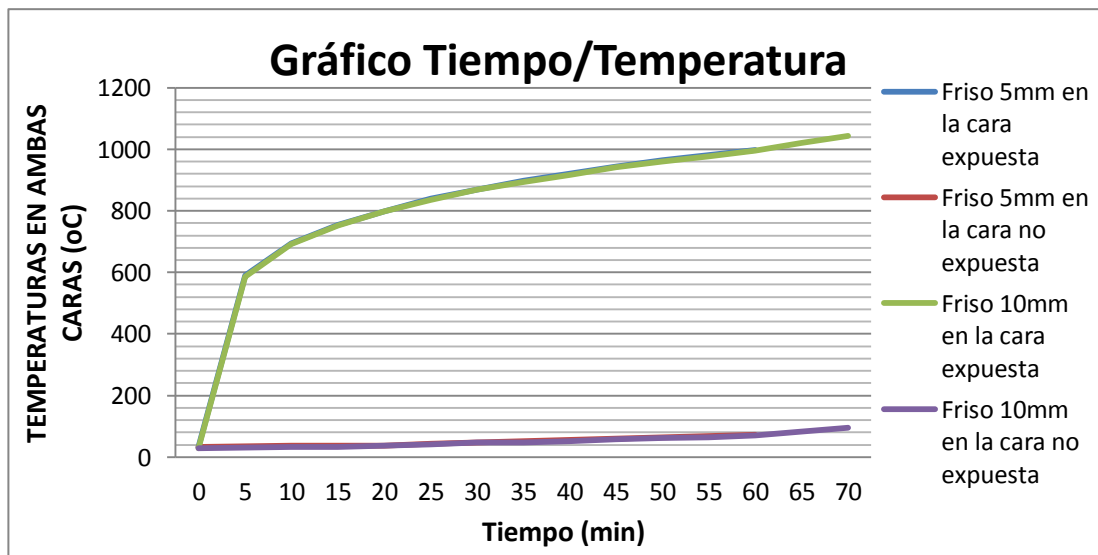


**Figura 19. Desprendimiento del Friso**

**Fuente: El Autor 2018**

Por otro lado, en las gráficas 10 y 11 se reflejan las curvas tiempo/temperatura de las 2 muestras, en la primera se observa el comportamiento mostrado por el panel durante la prueba en la cara expuesta a la llama, mientras que en la segunda se refleja el comportamiento en la cara no expuesta. De igual manera, en la gráfica 12 se reflejan ambos

comportamientos (en la cara expuesta y no expuesta) para las 2 muestras con friso, esto como una forma de apreciar mejor que no hay muchas diferencias en el comportamiento de las mismas. En total se pueden observar 4 curvas.



**Gráfica 12. Relación tiempo temperatura en ambos lados del panel con friso de diferentes espesores**

**Fuente: El Autor 2018**

Cabe destacar que los valores obtenidos durante la prueba de resistencia al fuego, son esenciales para determinar el coeficiente térmico de cada uno de los paneles ensayados, así como su resistencia térmica. En la Tabla 26 se reflejan estos valores. El flujo de calor (Q) allí indicado se refiere a la cantidad de calor por conducción transmitida por unidad de tiempo y según la Ley de Fourier se calcula con la ecuación 4, donde K es la conductividad térmica de cada material que en mayor medida componen al panel, A es el área del mismo,  $T_1 - T_2$  es la diferencia de temperatura e l es el espesor de la muestra.

$$Q/t = K \times A \times \frac{T_2 - T_1}{l} \quad \text{Ecuación (4)}$$

**Tabla 26. Cálculo del coeficiente de transmisión térmica de los paneles**

| Datos  | Panel de 5cm sin friso | Panel de 5cm con friso de 5mm | Panel de 5cm con friso de 10mm |
|--|------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| Flujo de calor (Q) [W]                               | 51676,18               | 115.826,35                    | 99.139,45                      |
| Espesor de la muestra (l) [m]                        | 0,05                   | 0,06                          | 0,07                           |
| Temperatura en la cara expuesta a los 10 min [°C]    | 774,00                 | 694,93                        | 691,8                          |
| Temperatura en la cara no expuesta a los 10 min [°C] | 52,28                  | 36,5                          | 34,3                           |
| Diferencia de temperatura a los 10 min [°C]          | 710,71                 | 658,43                        | 657,5                          |
| Diferencia de temperatura a los 10 min [°K]          | 180.508,50             | 180.508,59                    | 180.253,63                     |
| Área transversal de la muestra [m <sup>2</sup> ]     | 0,125                  | 0,25                          | 0,25                           |
| Coeficiente térmico [W/m <sup>0</sup> K]             | 0,15                   | 0,2                           | 0,2                            |
| Resistencia térmica [K.m <sup>2</sup> /W]            | 0,32                   | 0,30                          | 0,35                           |

**Fuente: El Autor 2018**

A modo de ejemplo, para calcular el flujo de calor mostrado en la tabla anterior para un panel de 5 cm de espesor sin el revestimiento se procede de la siguiente manera, considerando que la conductividad térmica de cartón es de 0,065 W/m<sup>0</sup>K, del aserrín es de 0,045 W/m<sup>0</sup>K y de la fibra de coco es de 0,044 W/m<sup>0</sup>K, para un total de 0,154 W/m<sup>0</sup>K.

$$Q/t = 0,154 \text{ W/m}^{\circ}\text{K} \times 0,125 \text{ m}^2 \times \frac{134.223,84 \text{ }^{\circ}\text{K}}{0,05 \text{ m}} \quad \mathbf{Q/t = 51676,18 \text{ Watts}}$$

Las Temperaturas tomadas para el cálculo del flujo de calor de cada panel ensayado son las registradas a los 10 minutos de iniciado el ensayo de resistencia al fuego. Una vez obtenido el flujo de calor y conocido el coeficiente de conductividad térmica, se procede a calcular el aislamiento o la resistencia térmica a partir de la ecuación 5

$$R = \frac{\text{Espesor de la muestra (m)}}{\text{coeficiente de conductividad térmica } \left(\frac{\text{W}}{\text{m } ^{\circ}\text{K}}\right)} \quad \text{Ecuación (5)}$$

**Tabla 27. Propiedades térmicas y de resistencia al fuego de tabiques tradicionales**

| Material                             | Conductividad térmica [W/m <sup>°</sup> K] | Resistencia Térmica [K.m <sup>2</sup> /W] | Resistencia al fuego |
|--------------------------------------|--|---|----------------------|
| Paneles de 5cm sin revestimiento     | 0,15                                       | 0,32                                      | F30                  |
| Paneles propuestos con revestimiento | 0,2  | 0,35                                      | F60                  |
| Bloque de concreto                   | 0,56                                       | 0,2                                       | F70                  |
| Ladrillo                             | 0,80                                       | 0,125                                     | F180                 |
| Paneles cartón yeso                  | 0,25                                       | 0,2                                       | F15                  |
| Paneles de Fibro-cemento (plycem)    | 0,22                                       | 0,28                                      | F30                  |

Fuente: El Autor 2018

La conductividad térmica es la capacidad que posee el material de transferir calor. Mientras más bajo sea este valor, la resistencia térmica o capacidad del material para aislar térmicamente será mucho mayor. Si se comparan los valores obtenidos en la tabla 26 con los coeficientes de

conductividad y aislamiento térmico de los tabiques tradicionales indicados en la Tabla 27, se tiene que los paneles propuestos presentan mejores propiedades térmicas al disminuir la transferencia de altas temperaturas de un lado al otro. Igualmente, presenta mayor resistencia al fuego en comparación con los paneles drywall y plycem.

#### 4.2.2 Ensayo de dispersión del fuego

El ensayo simula el nivel de propagación del fuego y de producción de humo en un incendio real y el tiempo que tienen los ocupantes de la vivienda para ponerse a salvo. En las Tablas 28 y 29, se indican las observaciones obtenidas durante el tiempo que duro el ensayo de dispersión para cada una de las muestras ensayadas

**Tabla 28. Comportamiento del fuego observado durante el ensayo de dispersión de cada muestra (Parte 1)**

| Tiempo<br>(min) | DISPERSION DEL FUEGO (OBSERVACIONES)   |   |  |
|-----------------|--|---|--|
|                 | Panel 5 cm sin friso   | Con friso de 5mm  | Con friso de 10mm  |
| 5               | La superficie expuesta al fuego comienza a quemarse. Poco humo   | Sin daños aparentes por la acción del fuego   | Sin daños aparentes por la acción del fuego  |
| 10              | El área expuesta sigue quemándose pero el fuego no se dispersa. Producción baja de humo                                | Sin daños aparentes por la acción del fuego. Muy baja producción de humo.   | Sin daños aparentes por la acción del fuego. Muy baja producción de humo.          |
| 15              | El fuego solo afecta el área expuesta, la cual se quema pero no se consume. Producción de humo                         | El friso empieza a quemarse en el área expuesta pero no se desprende ni se agrieta.                                 | Sin daños aparentes por la acción del fuego. Muy baja producción de humo.          |
| 20              | El área expuesta sigue sin consumirse por la acción del fuego, no hay dispersión de la misma. Producción baja de humo. | La superficie del friso sigue quemándose en el área expuesta al fuego. La misma no se dispersa alrededor del panel. | El friso empieza a quemarse en el centro, pero no se observa desprendimientos aun. |
| 25              | El área afectada sigue siendo la expuesta al fuego. El lado no expuesto del panel está casi intacto.                   | El friso sigue protegiendo al panel de del fuego. Producción baja de humo   | La superficie del friso sigue quemándose en el área expuesta al fuego.             |

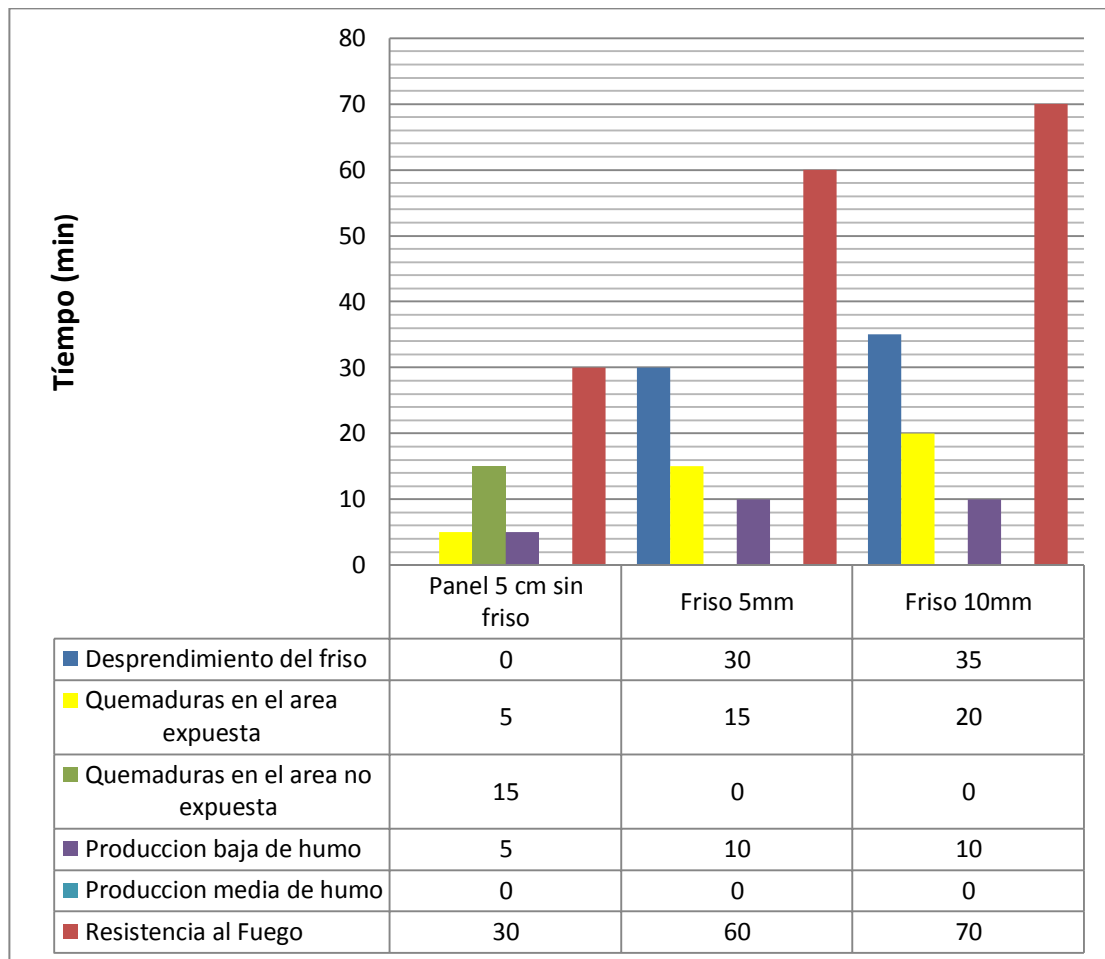
Fuente: El Autor 2018

**Tabla 29. Comportamiento del fuego observado durante el ensayo de dispersión de cada muestra (Parte 2)**

| Tiempo<br>(min) | DISPERSION DEL FUEGO (OBSERVACIONES)   |   |   |
|-----------------|--|---|---|
|                 | Panel 5 cm sin friso   | Con friso de 5mm  | Con friso de 10mm   |
| 30              | Finaliza la prueba. Una vez cerrada la bombona, se observa que el fuego en el panel se apaga enseguida. La superficie expuesta esta quemada pero no se consumió. | Sigue produciéndose un poco de humo en la superficie expuesta al fuego. No se observa dispersión del fuego. El calor origina que el friso comience a desprenderse | El friso sigue protegiendo al panel de la acción del fuego. Producción baja de humo   |
| 35              | -  | Sigue sin observarse dispersión del fuego.  | Sigue produciéndose un poco de humo en la superficie expuesta al fuego. No se observa dispersión del fuego. El calor origina que el friso comience a desprenderse |
| 40              | -  | El área expuesta es la más afectada por la acción del fuego. Se observa que las quemaduras en la superficie del friso son mayores y hay agrietamientos.           | Sigue sin observarse dispersión del fuego.  |
| 45              | -  | Las grietas son más prolongadas en la superficie del friso  | El área expuesta es la más afectada por la acción del fuego. Hay agrietamientos.  |
| 50              | -  | Aun no se observa dispersión del fuego. Producción humo sigue siendo baja   | Sigue produciéndose humo en el centro del panel   |
| 55              | -  | En las áreas donde se desprendió un poco el friso se observa quemaduras en el panel.  | Las grietas son más prolongadas en la superficie del friso  |
| 60              | -  | Finaliza la prueba. El fuego presente en el panel se apagó enseguida de cerrada la llave de la bombona. El lado no expuesto al fuego quedo intacto                | En las áreas donde se desprendió un poco el friso se observa quemaduras en el panel.  |
| 65              | -  | -   | Producción baja de humo.  |
| 70              | -  | -   | El fuego presente en el panel se apagó enseguida de cerrada la llave El lado no expuesto al fuego quedo intacto   |

Fuente: El Autor 2018

Para un mejor análisis, los resultados obtenidos en el ensayo de dispersión fueron tabulados y organizados para mayor comprensión de los mismos. Esto se puede observar en la gráfica 13, a partir de la cual se puede llegar a las siguientes conclusiones generales para cada uno de los paneles ensayados:



**Gráfica 13. Observaciones en ensayo de dispersión del fuego**

**Fuente: El Autor 2018**

Mientras mayor es el espesor del friso, mayor será la protección del panel ante la acción del fuego. Mientras que sin esto, el panel está desprotegido y se origina daños y quemaduras en la superficie del mismo en menor tiempo (5 min) que las muestras con friso. En general, para su uso en



viviendas de interés social las muestras recomendadas según los resultados de dispersión del fuego son las que poseen friso de entre 5mm y 10 mm, ya que las mismas mantienen su integridad estructural durante un lapso de 60 y 70 minutos respectivamente y la producción baja de humo comienza a partir de los 10 minutos en ambos casos, tal como se muestra en la Gráfica 16, tiempo suficiente para que los ocupantes de la vivienda puedan ponerse a salvo del incendio.

En cambio, la producción de humo que pueda opacar la visibilidad en un incendio real iniciaría un poco antes al usar el panel sin friso, ya que la misma se origina a los 5 minutos de iniciado el ensayo. Sin embargo, no se observó dispersión del fuego en ninguno de los tres paneles ensayados. Por otro lado y de acuerdo a la norma, las muestras ensayadas se ubican dentro de las siguientes clasificaciones indicadas en la Tabla 30:

**Tabla 30. Clase en la que pertenece cada muestra de acuerdo a la norma UNE-EN 13501-1**

| <b>Muestra</b>          | <b>Clase de dispersión</b>                                    | <b>Opacidad de humo</b>            |
|-------------------------|---|------------------------------------|
| Panel sin friso         | Clase A2 (No Combustible. Contribución muy limitada al fuego) | Clase S1 (producción baja de humo) |
| Panel con friso de 5mm  | Clase A2 (No Combustible. Contribución muy limitada al fuego) | Clase S1 (producción baja de humo) |
| Panel con friso de 10mm | Clase A2 (No Combustible. Contribución muy limitada al fuego) | Clase S1 (producción baja de humo) |

**Fuente: El Autor 2018**

De acuerdo a lo anterior, se puede afirmar que las muestras con friso de 5 y 10 mm presentan las mejores características al disminuir la cantidad

de humo excesivo que oculten la visibilidad, protegen al panel adecuadamente y mantienen su integridad por más tiempo. Según la norma UNE-EN-13501, la integridad se refiere a la capacidad del elemento de soportar la exposición en una cara sin que exista transmisión del fuego a la cara no expuesta debido al paso de llamas calientes que originen su ignición. En tal sentido, las tres muestras ensayadas cumplen con esta condición.

#### 4.2.3 Ensayo de Impermeabilidad

Esta prueba simula la caída accidental de un cuerpo de agua contra el panel y tiene como finalidad medir la resistencia del friso ante la penetración de agua y para ello es necesario realizar la prueba para diferentes espesores del mismo (Ver Figura 20). Igualmente, se realizó la prueba para una muestra del panel sin incluir el friso y determinar su nivel de impermeabilidad. Se realizaron dos mediciones en cada caso. Los resultados obtenidos se pueden apreciar en la Tabla 31, donde las graduaciones más altas obtenidas entre ambas mediciones de la muestra ensayada fueron tabuladas en la Tabla 32.



**Figura 20. Ensayo de impermeabilidad para panel con revestimiento**

**Fuente: El Autor 2018**

**Tabla 31. Niveles de absorción de agua obtenidas en cada panel de prueba**

| Tiempo (min) | Absorción de agua de paneles (ml) |          |                  |          |                  |          |                          |          |
|--------------|-----------------------------------|----------|------------------|----------|------------------|----------|--------------------------|----------|
|              | Panel de 5cm sin friso            |          | Con friso de 2mm |          | Con friso de 5mm |          | Con friso de 10 mm (1cm) |          |
|              | Medición                          | Medición | Medición         | Medición | Medición         | Medición | Medición                 | Medición |
|              | 1                                 | 2        | 1                | 2        | 1                | 2        | 1                        | 2        |
| 5            | 1,20                              | 1,18     | 0,24             | 0,25     | 0,14             | 0,13     | 0,05                     | 0,05     |
| 10           | 2,26                              | 2,30     | 0,87             | 0,90     | 0,26             | 0,27     | 0,11                     | 0,10     |
| 20           | 4,51                              | 4,60     | 1,13             | 1,20     | 0,27             | 0,34     | 0,13                     | 0,13     |
| 30           | 5,00                              | 4,89     | 2,28             | 2,30     | 0,42             | 0,40     | 0,15                     | 0,15     |
| 40           | -                                 | -        | 2,55             | 2,59     | 0,51             | 0,46     | 0,19                     | 0,20     |
| 50           | -                                 | -        | 3,13             | 3,20     | 0,57             | 0,59     | 0,25                     | 0,24     |
| 60           | -                                 | -        | 3,76             | 3,78     | 0,69             | 0,63     | 0,31                     | 0,31     |

Fuente: El Autor 2018

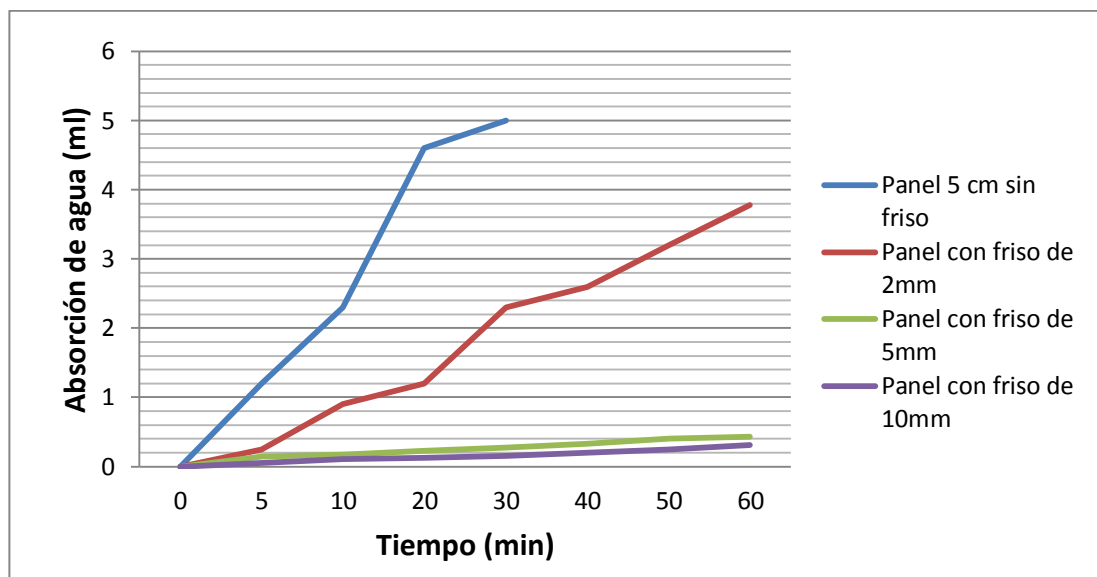
**Tabla 32. Niveles de absorción de agua de los paneles prefabricados propuestos**

| Tiempo (min) | Absorción de agua de paneles (ml) |                  |                  |                          |
|--------------|-----------------------------------|------------------|------------------|--------------------------|
|              | Panel de 5cm sin friso            | Con friso de 2mm | Con friso de 5mm | Con friso de 10 mm (1cm) |
|              | 5                                 | 1,20             | 0,25             | 0,14                     |
| 10           | 2,30                              | 0,90             | 0,27             | 0,11                     |
| 20           | 4,60                              | 1,20             | 0,34             | 0,13                     |
| 30           | 5,00                              | 2,30             | 0,42             | 0,15                     |
| 40           | -                                 | 2,59             | 0,51             | 0,20                     |
| 50           | -                                 | 3,20             | 0,59             | 0,25                     |
| 60           | -                                 | 3,78             | 0,69             | 0,31                     |

Fuente: El Autor 2018

En la gráfica 14, se muestran los datos obtenidos en el ensayo de impermeabilidad de cada muestra ensayada. De acuerdo a esto, mientras mayor es el espesor del friso, la resistencia a la penetración del agua también aumenta, indicando que el friso cumple la función de proteger el panel de manera adecuada. Una vez obtenido los niveles de absorción para

diferentes espesores del friso se procede a ubicar el panel dentro de una clasificación. Los resultados son expresados en la Tabla 33.



Gráfica 14. Niveles de absorción de agua a través del friso

Fuente: El Autor 2018

Tabla 33. Clasificación del nivel de absorción por norma del panel de acuerdo al espesor del friso

| PANELES<br>ENSAYADOS     | Clasificación de permeabilidad de acuerdo al nivel de absorción de agua en 10 minutos |   |
|--------------------------|---|---|
|                          | Absorción por ensayos   | Clasificación por norma                 |
| Panel de 5 cm sin friso  | 2,30 ml o 2,30 cm <sup>3</sup>  | De 1 a 2,40 = Mediana Permeabilidad     |
| Panel con friso de 2 mm  | 0,90 ml o 0,90 cm <sup>3</sup>  | De 0,40 a 1,0 = Baja Permeabilidad      |
| Panel con friso de 5 mm  | 0,27 ml o 0,27 cm <sup>3</sup>  | De 0,2 a 0,4 = Impermeabilidad Relativa |
| Panel con friso de 10 mm | 0,11 ml o 0,11 cm <sup>3</sup>  | De 0,1 a 0,2= Impermeable               |

Fuente: El Autor 2018

Para obtener los resultados anteriores fueron comparados los mililitros (ml) de absorción de agua a los 10 minutos (min) del ensayo y de esta manera determinar en qué designación se ubica. De allí se puede concluir que el friso proporciona protección ante la penetración del agua a través del panel con espesores de entre 5 y 10 mm.

#### 4.2.4 Ensayo de resistencia al impacto blando

Este ensayo simula el choque o caída accidental de un cuerpo en movimiento contra el panel. Por lo que se pretende determinar la capacidad de resistencia del mismo ante una carga dinámica aplicada sobre ella. El ensayo se realizó 3 veces para cada altura o hasta que las muestras ensayadas colapsaron como consecuencia de la energía de impacto calculadas con la ecuación 6 y las cuales fueron tabuladas en la Tabla 34. Por otro lado, en las Tablas 35, 36 y 37, se indican las observaciones pertinentes para cada caso.

$$E = m \times g \times h \quad \text{Ecuación (6)}$$

Donde

E: energía de impacto [J]

m: es la masa [Kg]

g: es la aceleración de la gravedad  $9,81 \text{ m/s}^2$

h: es la altura de caída [m]

**Tabla 34. Energía de impacto en el panel a diferentes alturas**

| Altura (cm) | Energía de Impacto (J) |
|-------------|------------------------|
| 45          | 13,24                  |
| 60          | 17,66                  |
| 120         | 35,32                  |

Fuente: El Autor 2018

**Tabla 35. Resultados obtenidos en la primera prueba de resistencia al impacto blando de las muestras ensayadas**

| Muestra                             | Altura de impacto (cm) | Energía Impacto (J) | Deformación permanente al impactar el saco de 3 kg |           | Resistencia mecánica al impactar el saco de 3 kg |           | Deterioro                                  |
|-------------------------------------|------------------------|---------------------|--|-----------|--|-----------|--|
|                                     |                        |                     | Por norma  | Obtenido  | Por norma  | Obtenido  |  |
| Panel de 5 cm sin friso (Sin fibra) | 45                     | 13,24               | Debe ser < 0.2% de la altura del panel             | CUMPLE    | Sin daños Visibles peligrosos                    | CUMPLE    | Pequeño hundimiento en el centro del panel |
|                                     | 60                     | 17,66               |  | NO CUMPLE |  | NO CUMPLE | Hundimiento más pronunciado                |
|                                     | 120                    | 35,32               |  | NO CUMPLE |  | NO CUMPLE | Ruptura del panel                          |
| Panel de 5 cm sin friso (Con fibra) | 45                     | 13,24               | Debe ser < 0.2% de la altura del panel             | CUMPLE    | Sin daños Visibles peligrosos                    | CUMPLE    | Sin daños aparentes                        |
|                                     | 60                     | 17,66               |  | CUMPLE    |  | CUMPLE    | Pequeño hundimiento                        |
|                                     | 120                    | 35,32               |  | CUMPLE    |  | CUMPLE    | Mayor hundimiento                          |
| Panel con friso de 2mm              | 45                     | 13,24               | Debe ser < 0.2% de la altura del panel             | CUMPLE    | Sin daños Visibles peligrosos                    | CUMPLE    | Sin daños aparentes                        |
|                                     | 60                     | 17,66               |  | CUMPLE    |  | CUMPLE    | Sin daños aparentes                        |
|                                     | 120                    | 35,32               |  | CUMPLE    |  | CUMPLE    | Ligero agrietamiento                       |
| Panel con friso de 5mm              | 45                     | 13,24               | Debe ser < 0.2% de la altura del panel             | CUMPLE    | Sin daños Visibles peligrosos                    | CUMPLE    | Sin daños aparentes                        |
|                                     | 60                     | 17,66               |  | CUMPLE    |  | CUMPLE    | Sin daños aparentes                        |
|                                     | 120                    | 35,32               |  | CUMPLE    |  | CUMPLE    | Sin daños aparentes                        |
| Panel con friso de 10mm             | 45                     | 13,24               | Debe ser < 0.2% de la altura del panel             | CUMPLE    | Sin daños Visibles peligrosos                    | CUMPLE    | Sin daños aparentes                        |
|                                     | 60                     | 17,66               |  | CUMPLE    |  | CUMPLE    | Sin daños aparentes                        |
|                                     | 120                    | 35,32               |  | CUMPLE    |  | CUMPLE    | Sin daños aparentes                        |

Fuente: El Autor 2018

**Tabla 36. Resultados obtenidos en la segunda prueba de resistencia al impacto blando de las muestras ensayadas**

| Muestra                             | Altura de impacto (cm) | Energía Impacto (J) | Deformación permanente al impactar el saco de 3 kg |           | Resistencia mecánica al impactar el saco de 3 kg |           | Deterioro                           |
|-------------------------------------|------------------------|---------------------|--|-----------|--|-----------|-------------------------------------|
|                                     |                        |                     | Por norma  | Obtenido  | Por norma  | Obtenido  |                                     |
| Panel de 5 cm sin friso (Sin fibra) | 45                     | 13,24               | Debe ser < 0.2% de la altura del panel             | -         | Sin daños Visibles peligrosos                    | -         | No se realizo                       |
|                                     | 60                     | 17,66               |  | -         |  | -         | No se realizo                       |
|                                     | 120                    | 35,32               |  | -         |  | -         | No se realizo                       |
| Panel de 5 cm sin friso (Con fibra) | 45                     | 13,24               | Debe ser < 0.2% de la altura del panel             | NO CUMPLE | Sin daños Visibles peligrosos                    | NO CUMPLE | Agrietamientos                      |
|                                     | 60                     | 17,66               |  | NO CUMPLE |  | NO CUMPLE | Ruptura del panel                   |
|                                     | 120                    | 35,32               |  | -         |  | -         | No se realizo                       |
| Panel con friso de 2mm              | 45                     | 13,24               | Debe ser < 0.2% de la altura del panel             | CUMPLE    | Sin daños Visibles peligrosos                    | NO CUMPLE | Desprendimiento prolongado de friso |
|                                     | 60                     | 17,66               |  | NO CUMPLE |  | NO CUMPLE | Panel queda expuesto                |
|                                     | 120                    | 35,32               |  | NO CUMPLE |  | NO CUMPLE | Ruptura del panel                   |
| Panel con friso de 5mm              | 45                     | 13,24               | Debe ser < 0.2% de la altura del panel             | CUMPLE    | Sin daños Visibles peligrosos                    | CUMPLE    | Fisuración del friso                |
|                                     | 60                     | 17,66               |  | CUMPLE    |  | CUMPLE    | Fisuración del friso                |
|                                     | 120                    | 35,32               |  | CUMPLE    |  | NO CUMPLE | Desprendimiento del friso           |
| Panel con friso de 10mm             | 45                     | 13,24               | Debe ser < 0.2% de la altura del panel             | CUMPLE    | Sin daños Visibles peligrosos                    | CUMPLE    | Sin daños aparentes                 |
|                                     | 60                     | 17,66               |  | CUMPLE    |  | CUMPLE    | Pequeñas grietas                    |
|                                     | 120                    | 35,32               |  | CUMPLE    |  | CUMPLE    | Grietas más pronunciadas            |

Fuente: El Autor 2018

**Tabla 37. Resultados obtenidos en la tercera prueba de resistencia al impacto blando de las muestras ensayadas**

| Muestra                             | Altura de impacto (cm) | Energía Impacto (J) | Deformación permanente al impactar el saco de 3 kg |           | Resistencia mecánica al impactar el saco de 3 kg |           | Deterioro                                 |
|-------------------------------------|------------------------|---------------------|--|-----------|--|-----------|---|
|                                     |                        |                     | Por norma  | Obtenido  | Por norma  | Obtenido  |   |
| Panel de 5 cm sin friso (Sin fibra) | 45                     | 13,24               | Debe ser < 0.2% de la altura del panel             | -         | Sin daños Visibles peligrosos                    | -         | No se realizo                             |
|                                     | 60                     | 17,66               |  | -         |  | -         | No se realizo                             |
|                                     | 120                    | 35,32               |  | -         |  | -         | No se realizo                             |
| Panel de 5 cm sin friso (Con fibra) | 45                     | 13,24               | Debe ser < 0.2% de la altura del panel             | -         | Sin daños Visibles peligrosos                    | -         | No se realizo                             |
|                                     | 60                     | 17,66               |  | -         |  | -         | No se realizo                             |
|                                     | 120                    | 120                 |  | -         |  | -         | No se realizo                             |
| Panel con friso de 2mm              | 45                     | 13,24               | Debe ser < 0.2% de la altura del panel             | -         | Sin daños Visibles peligrosos                    | -         | No se realizo                             |
|                                     | 60                     | 17,66               |  | -         |  | -         | No se realizo                             |
|                                     | 120                    | 35,32               |  | -         |  | -         | No se realizo                             |
| Panel con friso de 5mm              | 45                     | 13,24               | Debe ser < 0.2% de la altura del panel             | NO CUMPLE | Sin daños Visibles peligrosos                    | CUMPLE    | Desprendimiento friso                     |
|                                     | 60                     | 17,66               |  | NO CUMPLE |  | NO CUMPLE | Panel expuesto. Hundimiento del centro    |
|                                     | 120                    | 35,32               |  | NO CUMPLE |  | NO CUMPLE | Ruptura del panel                         |
| Panel con friso de 10mm             | 45                     | 13,24               | Debe ser < 0.2% de la altura del panel             | CUMPLE    | Sin daños Visibles peligrosos                    | CUMPLE    | Otras Grietas pequeñas                    |
|                                     | 60                     | 17,66               |  | CUMPLE    |  | CUMPLE    | Hundimiento del centro.                   |
|                                     | 120                    | 35,32               |  | CUMPLE    |  | CUMPLE    | Desprendimiento del friso. Panel expuesto |

Fuente: El Autor 2018



**Ensayo realizado al panel sin friso de cemento:** El panel sin la fibra de coco solo soporto tres impactos. Mientras que la muestra con la fibra soportó las primeras energías de impacto de 13,24 J, 17,66 J y 35,32 J. Sin embargo, cuando se aplicó la cuarta carga 13,24 J desde una altura de 45 cm durante la segunda ronda de ensayos, se originaron daños de importancia en el panel (hundimiento excesivo en el centro) que lo dejaron vulnerable (Ver Figura 21. Izquierda). De acuerdo a la norma, si la muestra ensayada resiste las cargas de impacto correspondientes a cada altura sin mostrar daños de importancia o que representen peligros para las personas, entonces paso la prueba de impacto. En este caso, el panel cumple con esta condición solo en las tres primeras cargas de impacto.

No así con la cuarta donde los daños son mayores a los permitidos y por otro lado, la deflexión en el centro del panel es mayor al 0,2% de su altura, incumpliendo así con la segunda condición. Finalmente, el panel se fracturó por completo al aplicar la quinta carga de 17,66 J durante la segunda ronda de ensayos a una altura de impacto de 60 cm (Figura 21. Derecha).



**Figura 21. Ensayo de resistencia al impacto de paneles sin revestimiento**

**Fuente: El Autor 2018**

**Ensayo realizado al panel con friso de 2 mm de espesor:** La muestra de 2mm de espesor resistió sin problemas las tres primeras energías de impacto de 13,24 J, 17,66 J y 35,32 J aplicadas a alturas de 45, 60 y 120 cm respectivamente. Solo se observó agrietamiento del friso y un ligero desprendimiento del mismo durante la tercera carga. Sin embargo, no representa ningún peligro para las personas y la deflexión es menor al 0,2% de la altura del panel, cumpliendo así con ambas condiciones. En el cuarto y quinto impacto hubo daños de importancia en el panel. Finalmente, la muestra colapso por completo en la sexta carga de impacto de 35,32 J aplicada en la segunda ronda de ensayos para una tercera altura de 120 cm.

**Ensayo realizado al panel con friso de 5 mm de espesor:** El panel con friso de 5 mm presento mejor comportamiento ante dichas cargas con respecto al anterior, ya que el desprendimiento del friso solo se presencié en la sexta carga de impacto de 35,32 J aplicada durante la segunda ronda de ensayo para una altura de 120 cm. En el octavo impacto el panel estaba expuesto y se produjo un hundimiento mayor en el centro y en el noveno impacto la muestra colapsó finalmente. En general, el panel revestido con friso de 5 mm resistió las tres rondas de ensayos, donde se aplicó cargas para tres alturas diferentes cada una y cumplió con las 2 condiciones establecidas por norma hasta el octavo impacto, donde no se presenciaron daños peligrosos para las personas y ni deflexión superior a 0.2% con respecto a la altura del panel.

**Ensayo realizado al panel con friso de 10mm de espesor:** De igual manera, el panel con friso de 10mm (1cm) presento muy buen comportamiento ante las cargas de impacto aplicadas en las tres rondas de ensayo para las tres alturas cada una, puesto que en todas ellas el comportamiento del panel cumplió con las condiciones establecidas por

norma. No hubo una deflexión o hundimiento excesivo en el centro del panel ni deterioros o daños que representen daños para las personas (Figura 22. Izquierda y Centro). Solo en el último impacto se observó desprendimiento del friso, sin embargo, hasta ese punto no se produjo ruptura del panel sino hasta el décimo segundo impacto (Figura 22. Derecha).



**Figura 22. Resistencia al impacto de panel con revestimiento de 10mm**

**Fuente: El Autor 2018.**

En conclusión, y de acuerdo a los resultados obtenidos en el ensayo de impacto blando realizado a cada uno de los paneles, se puede afirmar que las muestras con revestimiento de 5mm y 10mm de espesor son las que presentaron menores daños y soportaron mejor las cargas de impacto aplicadas sobre ellas, por lo que *son apropiadas para su uso como tabiquerías en viviendas de interés social.*

#### **4.3 Comparar los impactos ambientales potenciales producto de la elaboración de los paneles prefabricados propuestos con el sistema de tabiques tradicionales aplicando un análisis de ciclo de vida (A.C.V) bajo los parámetros de la norma ISO 140-40**

En esta etapa, se procede a introducir los datos inventariados en el Capítulo III (punto 3.6.3) en el software para conocer el impacto ambiental

producido por la elaboración de los paneles. A continuación, se detallan los resultados obtenidos. Cabe destacar que en la presente investigación se proponen 2 modelos de paneles, uno con el uso de cemento y almidón como aglutinante, y en el segundo solo cemento.

**Contribución Porcentual por categorías de impacto:** Las categorías de impactos evaluadas por el software son las indicadas en las tablas 14, 15 y 16 (Capítulo 3. Sección 3.6.3.3). Según esto, los mayores impactos asociados a la fabricación de los paneles prefabricados propuestos son ocasionados por la producción y uso del almidón en la categoría de Cancerogenesis, con una contribución porcentual entre el 93 y 94%. Mientras que el cemento y la combustión del diesel son responsables de los daños en las categorías de cambio climático (entre 42% y 43%) y efectos respiratorios orgánicos (entre 12% y 13%).

En general, el uso del almidón origina los mayores impactos en todas las categorías con contribuciones porcentuales que varían entre el 45% y 95%. Igualmente, el uso de gas natural (utilizado para la preparación del engrudo a base de almidón de maíz) contribuye al agotamiento de recursos fósiles con una contribución porcentual entre el 4% y 5%. Mientras que el uso de electricidad (requerida por el molino extractor para la obtención de fibras de coco) emite los mayores impactos en la categoría de agotamiento de la capa de ozono (7% - 8%) y agotamiento de recursos fósiles (10% - 11%) con bajos porcentajes de participación.

Por otro lado, si se evita el uso del almidón como aglutinante (panel modelo 2) en la elaboración de los paneles propuestos, y por lo tanto, el uso de gas natural, se disminuye 48,56%, 71,85% y 61,52% el daño y alto impacto ambiental en general, en comparación con el daño originado durante la elaboración de tabiques de concreto, arcilla y drywall respectivamente.

#### **4.3.1. Comparación de Impactos ambientales producidos por el uso de los materiales para la elaboración de los paneles, con los materiales usados para elaborar los tabiques tradicionales**

En este punto serán comparados los resultados obtenidos anteriormente en el estudio de impacto ambiental de los paneles prefabricados propuestos, con los tabiques tradicionales de concreto, arcilla y drywall, de acuerdo a su clasificación en daños a la salud humana, al ecosistema y a los recursos naturales. Como resultados generales se obtuvo que los impactos a la salud humana como consecuencia de las emisiones contaminantes producidas por el uso de los diferentes materiales para elaborar 1m<sup>2</sup> de tabiquerías, representan el 45% del total de impactos de los 5 tabiques evaluados, mientras que el 35% y 20% corresponde a daños al ecosistema y a los recursos naturales respectivamente. Si se analizan individualmente las 3 categorías se tiene lo siguiente:

**Daños a la salud humana:** Los mayores daños a la salud humana, los cuales equivalen al 31% del total de impactos de los 5 tabiques analizados, son originados por la producción y uso de 10,63 kg de cemento para la elaboración de 12,5 bloques, seguido por el 30% de los daños causados por la quema de 3 kg de aserrín y 5 kg de aceite residual para la cocción de 17 ladrillos de arcilla. Mientras que los contaminantes emitidos durante extracción y cocción del yeso para la producción de paneles drywall son los responsables del 23% de dichos daños. Por otro lado, la disminución del cemento para elaborar los paneles propuestos reducen los daños a la salud, siendo estos de 14% en el caso de los paneles que utilizan 0,6 kg de cemento y 1,6 kg de almidón, y de 2% cuando se excluye el uso de almidón.

**Daños al ecosistema:** Los mayores daños al ecosistema, los cuales equivalen al 65% del total de impactos de los 5 tabiques analizados, son

originados por los contaminantes emitidos durante la quema de 3 kg de aserrín y 5 kg de aceite residual para la cocción de 17 ladrillos de arcilla, seguido del 19% de sustancias nocivas originados por la extracción de la materia prima para producir 10,63 kg de cemento para la elaboración de 12,5 bloques. Mientras que durante la producción de los paneles propuestos 1 y 2 se emiten contaminantes equivalentes al 7% y 1% respectivamente, lo que representa una reducción significativa en el daño ambiental en comparación con los tabiques tradicionales.

**Daños a los recursos naturales:** El 46% de los impactos negativos al ambiente por consumo de combustibles fósiles, son originados por los procesos de obtención de 3 kg de aserrín y por la producción de 5 kg de aceite residual necesarios para la cocción de 17 ladrillos. Seguido del 25% de daños ocasionados por la cantidad de energía requerida para la extracción de la materia prima para fabricar 10,63 kg de cemento para elaborar 12,5 bloques. El 14% de los daños están relacionados con los procesos de extracción de la materia prima para fabricar los drywall. Mientras que durante la extracción o producción de la materia prima necesaria para la elaboración 1 m<sup>2</sup> de tabiquerías con los paneles propuestos (modelo 1 y 2), se emiten daños equivalentes al 11 y 4% respectivamente, lo que se traduce en reducciones significativas del daño por consumo de combustibles fósiles.

#### **4.3.2 Comparación de Impactos ambientales producidos por el uso de la energía para la elaboración de los paneles y combustible Diesel para el traslado de materiales, con la energía y combustible usado para elaborar los tabiques tradicionales**

Los impactos a la salud humana como consecuencia de las emisiones contaminantes producidas por el uso de la energía y combustibles para fabricar y distribuir los elementos que componen las tabiquerías,

representan el 32% del total de impactos de los 5 tabiques evaluados, mientras que el 33% y 36% corresponde a daños al ecosistema y a los recursos naturales respectivamente. Si se analizan individualmente las 3 categorías se tiene lo siguiente:

**A la salud humana:** Los mayores daños a la salud humana, los cuales equivalen al 76% del total de impactos, son originados por el uso de 29,78 MJ de aserrín y 48,89 MJ de aceite residual como fuente de energía para la cocción de 17 ladrillos y por la combustión de 0,000281 m<sup>3</sup> de diesel utilizado como combustible para el traslado de materiales necesarios para elaborar esos ladrillos. En segundo lugar, los contaminantes emitidos por los procesos de generación de 0,71 KWh de energía eléctrica para la elaboración de 12,5 bloques, sumado al empleo de 0,000262 m<sup>3</sup> de combustible diesel para el traslado de los mismos, ocasionan el 11% de los daños.

Los procesos de generación de 0,01306 KWh de energía eléctrica para la extracción del yeso y 12,992 MJ de gas natural para la cocción del mismo durante la fabricación de paneles drywall, son los responsables del 8% de los impactos a la salud humana, sumado a la combustión de 0,0000902 m<sup>2</sup> de diesel. En el caso de los paneles propuesto (modelo 1) se obtiene una contribución porcentual del daño de 3%, por el empleo de menores cantidades de energía eléctrica (0,64 KWh) para la extracción de las fibras y trituración del cartón, así como de gas natural (0,80 MJ) para la preparación del almidón. Sin embargo, este porcentaje baja a 2% si se evita el uso de almidón, lo que equivale a no emplear gas natural.

**Al ecosistema:** Los mayores daños al ecosistema, los cuales equivalen al 89% del total de impactos, son originados por el uso de 29,78 MJ de aserrín y 48,89 MJ de aceite residual como fuente de energía para la cocción de 17 ladrillos y por la combustión de 0,000281 m<sup>3</sup> de diesel utilizado como

combustible para el traslado de materiales necesarios para elaborarlos. En segundo lugar, los contaminantes emitidos por los procesos de generación de 0,71 KWh de energía eléctrica para la elaboración de 12,5 bloques, sumado al empleo de 0,000262 m<sup>3</sup> de combustible diesel para el traslado de los mismos, ocasionan el 5% de los daños.

Los procesos de generación de 0,01306 KWh de energía eléctrica para la extracción del yeso y 12,992 MJ de gas natural para la cocción del mismo durante la fabricación de paneles drywall, son los responsables del 3% de los impactos al ecosistema, sumado a la combustión de 0,0000902 m<sup>3</sup> de diesel. En el caso de los paneles propuesto (modelo 1) se obtiene una contribución porcentual del daño de 2%, por el empleo de menores cantidades de energía eléctrica (0,64 KWh) para la extracción de las fibras trituración del cartón, y de gas natural (0,80 MJ) para la preparación del almidón. Sin embargo, este porcentaje baja a 1% si se evita el uso de almidón, lo que equivale a no emplear gas natural.

**A los recursos:** Los mayores daños a los recursos naturales y fósiles, los cuales equivalen al 58% del total de impactos, son originados por el uso de 29,78 MJ de aserrín y 48,89 MJ de aceite residual como fuente de energía para la cocción de 17 ladrillos y por la combustión de 0,000281 m<sup>3</sup> de diesel utilizado como combustible para el traslado de materiales necesarios para elaborarlos. En segundo lugar, los procesos de generación de 0,01306 KWh de energía eléctrica para la extracción del yeso y 12,992 MJ de gas natural para la cocción del mismo durante la fabricación de paneles drywall, son los responsables del 21% de los impactos a los recursos, sumado a la combustión de 0,0000902 m<sup>3</sup> de diesel.

Por otro lado, los contaminantes emitidos por los procesos de generación de 0,71 KWh de energía eléctrica para la elaboración de 12,5



bloques, sumado al empleo de 0,000262 m<sup>3</sup> de combustible diesel para el traslado de los mismos, ocasionan el 14% de los daños. En el caso de los paneles propuesto (modelo 1) se obtiene una contribución porcentual del daño de 4%, por el empleo de menores cantidades de energía eléctrica (0,64 KWh) para la extracción de las fibras trituración del cartón, y de gas natural (0,80 MJ) para la preparación del almidón. Sin embargo, este porcentaje baja a 3% si se evita el uso de almidón, lo que equivale a no emplear gas natural.

#### **4.3.3 Comparación de emisiones contaminantes emitidas durante la producción de cada elemento**

En este punto serán comparados la cantidad de emisiones contaminantes producidas durante la elaboración de los tabiques tradicionales y los paneles propuestos en la presente investigación. Además se analizará en que categorías de impacto se emiten esas sustancias dañinas.

Como resultado general se obtuvo que los procesos de obtención de materia prima, transporte y fabricación de los tabiques de concreto son los causantes de los mayores impactos a la salud, al ecosistema y a los recursos, con casi 11 veces más sustancias contaminantes en comparación con los emitidos por los procesos de fabricación del panel propuesto (modelo 1) y casi 89 veces más contaminantes en comparación con los segundos modelos de paneles propuestos.

Por otro lado, los procesos de obtención de materia prima, transporte y fabricación de los tabiques de arcilla son los causantes de impactos a la salud, al ecosistema y a los recursos, al originar casi 3 veces más sustancias contaminantes en comparación con los emitidos por los procesos de fabricación del panel propuesto (modelo 1) y casi 17 veces más

contaminantes en comparación con los segundos modelos paneles propuestos.

De igual manera, los procesos de obtención de materia prima, transporte y fabricación de los paneles de cartón yeso, son los causantes de impactos a la salud, al ecosistema y a los recursos, originando casi 2 veces más sustancias contaminantes en comparación con los emitidos por los procesos de fabricación del panel propuesto (modelo 1) y casi 12 veces más contaminantes en comparación con los segundos modelos paneles propuestos. Finalmente, se indicará los efectos que trae consigo las emisiones de los contaminantes más perjudiciales según la categoría de impacto a la que pertenezca. De acuerdo a los resultados arrojados para cada uno de los tabiques tradiciones y los paneles propuestos, se puede concluir lo siguiente:

**Efectos cancerígenos:** Los COVDM (Compuestos orgánicos volátiles distintos al metano), en función de su composición (Benceno, cloruro de vinilo y 1,2 dicloroetano) y toxicidad, son sustancias muy dañinas a la salud humana debido a que son los mayores responsables de las emisiones que provocan la Cancerogenesis. Según los resultados obtenidos, estas sustancias se emiten en menores cantidades si se elaboran los paneles propuestos (modelo 1) en vez de los tabiques tradicionales de concreto, arcilla y drywall, ya que estos últimos provocan casi 6, 9 y 3 veces más niveles de contaminantes respectivamente.

**Efectos respiratorios:** Los óxidos de azufre (SOx), los óxidos de nitrógenos (NOx) y las partículas sólidas de polvo (Dust PM10) son las sustancias responsables de los daños causados en el sistema respiratorio humano debido a la inhalación de los mismos. Durante la fabricación de tabiques de concreto, arcilla y drywall se emiten 6, 13 y 5 veces más

contaminantes de SOx respectivamente, en comparación con las producidas durante la elaboración de los paneles propuestos (modelo 1). Igualmente, las emisiones de NOx y Dust son inferiores al fabricar los segundos modelos de paneles prefabricados con reducciones de entre 11 y 32 veces respectivamente.

**Cambio climático:** El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es considerado un gas de efecto invernadero cuya emisión excesiva en los últimos dos siglos ha sido el responsable del acelerado incremento del calentamiento global, debido a que impide la salida del calor en las capas bajas de la atmósfera. Con la fabricación de los paneles (modelo 1 y 2) se logra disminuir las emisiones de esta sustancia casi 8 y 25 veces, en comparación con las emitidas por la producción de tabiques tradicionales de concreto, casi 4 y 12 veces si se compara con la producción de ladrillos de arcilla y; casi 2 y 5 veces menos al elaborar estos paneles en vez de tabiques de cartón yeso.

De igual manera, la alta producción de residuos también favorece el calentamiento global, ya que se producen mayores niveles de gas metano en el ambiente durante la descomposición de materiales en los vertederos, pero con la utilización de estos paneles la cantidad de dichos residuos disminuye casi 16 y 5 veces, en comparación con los producidos por el uso de los tabiques tradicionales de concreto y drywall respectivamente.

**Daño a la capa de ozono:** Concentraciones de óxidos de nitrógenos (NOx) y de compuestos orgánicos volátiles distintos al metano (COVDM), son los causantes de los mayores daños a la capa de ozono, lo que contribuye al agotamiento de la misma. Con la fabricación de los paneles (modelo 1) se logra disminuir las emisiones de COVDM casi 6, 9 y 3 veces, en comparación con las emitidas por la producción de tabiques tradicionales de concreto,

arcilla y drywall respectivamente. Igualmente, las emisiones de NOx se reducen casi 7, 6 y 3 veces.

**Radiación:** Todos los procesos industriales producen ciertos niveles de radiación que producen enfermedades severas cuando se está expuesta a grandes emisiones de ella. Al reducir la producción de las cantidades de cemento y almidón necesarios para la elaboración de los paneles propuestos, se contribuye a reducir los niveles de LmRAD de radiación casi 41, 13 y 5 veces, en comparación con las producidas por la producción y obtención de la materia prima necesaria para la elaboración de los tabiques tradicionales de concreto, arcilla y drywall respectivamente. Estas reducciones de los niveles de radiación se deben también a la disminución respectiva del uso de la energía hasta casi 4, 5 y 3 veces.

**Ecotoxicidad:** La fabricación de los paneles ocasiona menores daños al ecosistema con reducciones en los niveles de contaminantes como el cadmio (Cd), plomo (Pb) y el mercurio (Hg). Por otro lado, los VOCDM son precursores de ozono (O<sub>3</sub>) que al combinarse con otros contaminantes como el óxido nitroso, forma ozono a nivel de suelo, originando el smog fotoquímico más perjudicial para el ecosistema. Los valores de estos contaminantes también disminuyen considerablemente al fabricar los paneles propuestos en vez de los tradicionales de concreto, arcilla y drywall, cuyos niveles contaminantes se sitúan 4, 8 y 3 veces por encima de las emitidas durante la producción de los primeros modelos de paneles, y 13, 25 y 8 veces por encima en comparación con la elaboración de los segundos modelos.

**Acidificación:** El dióxido de azufre (SO<sub>x</sub>), los óxidos de nitrógeno (NOx) y el amoníaco (NH<sub>3</sub>) son las sustancias responsables de los daños causados al ecosistema como consecuencia de la acidificación. Durante la

fabricación de tabiques de concreto, arcilla y drywall se emiten 6, 13 y 5 veces más contaminantes de SOx respectivamente, en comparación con las producidas durante la elaboración de los paneles propuestos (modelo 1). Por otro lado, también se observa una reducción considerable de 45, 12 y 60 veces de NH<sub>3</sub>, comparados con las emitidas durante la producción de los tabiques de tradicionales de concreto, arcilla y drywall respectivamente.

**Agotamiento de recursos minerales:** Las emisiones al agua de cromo (Cr), zinc (Zn), cobre (Cu), cadmio (Cd), mercurio (Hg), plomo (Pb), y níquel (Ni), son los agentes que favorecen la contaminación de este importante recurso y, por ende, su agotamiento. Los procesos de producción de los aglutinantes usados en la elaboración de los paneles son los responsables de emisiones muy bajas de estas sustancias al agua. Mientras que los procesos de producción de la materia prima usada para elaborar los tabiques de concreto y los procesos de cocción de los ladrillos de arcilla y los paneles de yeso provocan emisiones de mayores rangos.

**Contaminación por extracción de recursos fósiles:** Durante el proceso de extracción de la materia prima para la producción de los paneles, como el cemento, el almidón e incluso el diesel, se originan gases de efectos invernadero como el CO<sub>2</sub>. Sin embargo, las cantidades de las mismas son reducidas, por lo que las emisiones de este contaminante son menores en comparación con las emitidas durante los procesos de extracción y obtención de la materia necesaria para la elaboración de tabiques tradicionales.

#### **4.3.4 Conclusiones Generales obtenidas del ACV**

En general, y de acuerdo a los resultados obtenidos en las evaluaciones de impacto llevados a cabo en la etapa III del Análisis de impacto ambiental, se puede afirmar que durante todo el proceso que

comprende la elaboración de los paneles prefabricados propuestos (obtención de la materia prima, traslado de los mismos y su posterior fabricación), se ocasionan menos daños al ambiente debido a la reducción de las emisiones contaminantes responsables de los mayores daños a la salud humana y al ecosistema, además de reducir el agotamiento de los recursos naturales.

Todo esto debido, por un lado, a la producción y uso de pocas cantidades de cemento y almidón, lo que a su vez significa menor impacto ambiental y; por otro lado, con la incorporación del cartón, el aserrín y la fibra de coco se evita la quema de estos desechos en vertederos para su eliminación, además el reciclaje de los mismo contribuye a disminuir el impacto ambiental negativo.

En cuanto a tabiques tradicionales, los mayores daños a la salud están relacionados con la fuente de energía empleada para la cocción de ladrillos artesanales. En específico, durante la quema de aceite y madera residual se emiten gases altamente peligrosos (nitratos, compuestos orgánicos volátiles, dióxido de nitrógeno y de azufre), causantes de diversas afecciones respiratorias y pulmonares. Mientras que de todos los procesos que comprende la elaboración de bloques de concreto, el más dañino a la salud humana está asociado a la producción del cemento, ya que durante el proceso de cocción de la piedra caliza se desprende grandes cantidades de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), compuestos de azufre provenientes del escape de gases de los combustibles, óxidos de nitrógeno (Nox) y partículas de polvo.

Todo lo anteriormente expuesto es un indicativo de la importancia que tiene la búsqueda de métodos y materiales alternativos que contribuyan al mejoramiento de la calidad ambiental al disminuir las emisiones contaminantes producto de los procesos industriales. Se sabe que gracias al avance tecnológico se ha podido ir más lejos en el desarrollo de nuevos

materiales de construcción y de la extracción de infinidad de materias primas, sin embargo las repercusiones que trae consigo esto, son cada vez más agresivas para el medio ambiente y para la salud. Por lo que se puede afirmar, que para los propósitos de la presente investigación, el elemento propuesto supone una alternativa constructiva que surge como una manera de aportar una solución a los actuales problemas ambientales como consecuencia de la producción de elementos tradicionales.

#### **4.4 Analizar la factibilidad económica del uso de los paneles propuestos con el sistema de tabiques tradicionales, aplicando un análisis de precios unitarios (A.P.U.) con el programa Maprex.**

En este punto, se realizó un análisis de precios unitarios con el fin de determinar si la fabricación de los paneles prefabricados propuestos ofrece una opción más económica en comparación con los sistemas de tabiques tradicionales disponibles en el mercado (bloques, ladrillos de arcilla y drywall), y cuyos costos se reflejan en la tabla 38.

**Tabla 38. Precios de tabiques tradicionales**

| <b>Tabique</b>                  | <b>Precio unitario (Bs.F)</b> | <b>Precio (Bs.S)</b> | <b>Precio por m<sup>2</sup> (Bs.F)</b> | <b>Precio m<sup>2</sup> (Bs.S)</b> |
|---------------------------------|-------------------------------|----------------------|--|------------------------------------|
| Bloque de concreto<br>40x20x10  | 80.000,00                     | 0,80                 | 1.000.000,00                           | 10,00                              |
| Ladrillo de arcilla<br>30x20x10 | 50.000,00                     | 0,50                 | 833.500,00                             | 8,335                              |
| Panel drywall<br>40x40x1/2"     | 2.456.420,00                  | 24,56                | 12.282.100,00                          | 122,82                             |

**Fuente:** Costos obtenidos en el actual mercado de materiales de construcción

Los precios que allí se reflejan son las correspondientes al mes de Mayo de 2018, expresadas en la actual moneda (Bolívares Fuertes Bs.F). Sin embargo, en las conclusiones obtenidas se indicará la equivalencia de dichos precios de acuerdo al nuevo cono monetario (Bolívares Soberanos Bs.S) que entrará en vigencia a partir del 20 de Agosto del presente año.

#### **4.4.1 Presupuesto correspondiente a elaboración de los paneles propuestos**

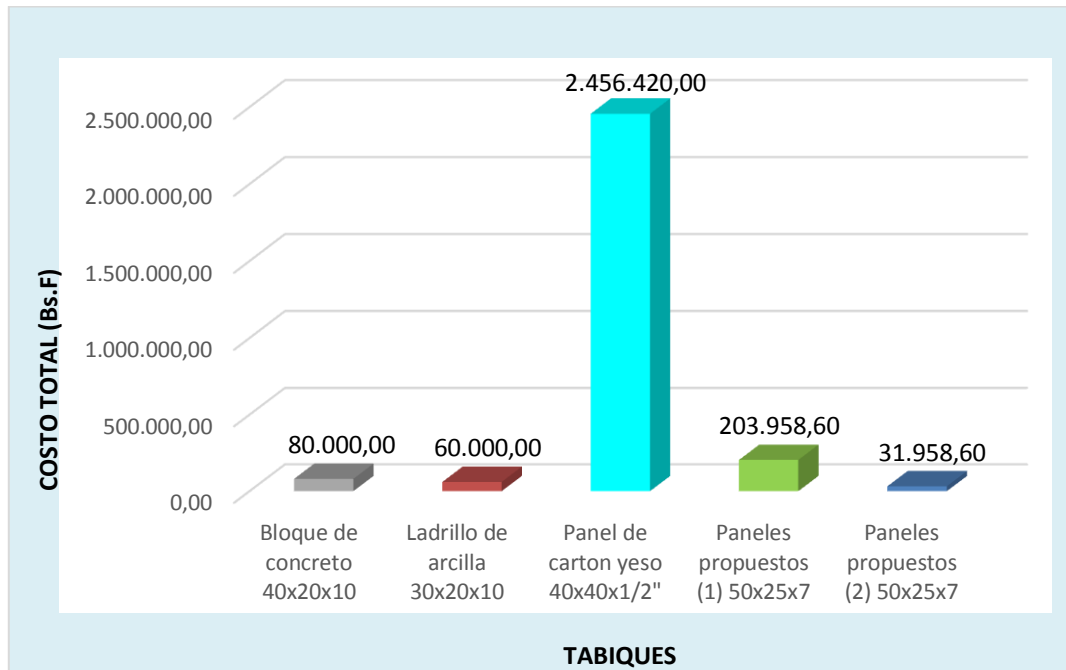
El precio unitario correspondiente a la producción de un panel prefabricado fue comparado con los costos de tabiques tradicionales disponibles en el mercado. De acuerdo a esto, es posible deducir las ventajas económicas que trae consigo el uso de materiales reciclables para la elaboración del elemento constructivo propuesto. Cabe recalcar que dicho panel fue elaborado de dos maneras, en el primer caso (Panel propuesto 1) se incluyó el cemento y el almidón como aglutinante de los demás materiales (cartón, aserrín y fibra de coco) y; en el segundo caso (Panel propuesto 2), solo se usó cemento para aglutinar excluyendo el almidón.

Dicho esto, en el gráfico 15, se observa un ahorro importante de 2.252.461,40 Bs.F o 22,52 Bs.S (91,69%) y de 2.424.461 Bs.F o 24,24 Bs.S (98,69%) al elaborar el panel prefabricado propuesto 1 y 2 respectivamente, en vez de tabiques de cartón yeso (drywall). De igual manera, se ahorra 48.041,40 Bs.F o 0,48 Bs.S (60,05%) y 28.041,40 Bs.F o 0,28 Bs.S (46,73%) al elaborar el panel propuesto 2, en vez de tabiques de concreto y arcilla respectivamente.

Por el contrario, si se compara los tabiques de concreto y arcilla con el modelo 1 del panel prefabricado, se observa un aumento de 123.958,60 Bs.F o 1,24 Bs.S (1,55%) y de 143.958.60 Bs.F o 1,44 Bs.S (2,40%) al elaborar



este último, por lo que fabricar los dos primeros tabiques tradicionales de la gráfica saldría más barato. Este aumento se debe al uso del almidón en el panel propuesto, cuyo valor en el mercado actual es excesivamente caro, superando incluso los costos del saco de cemento de 20 kg.



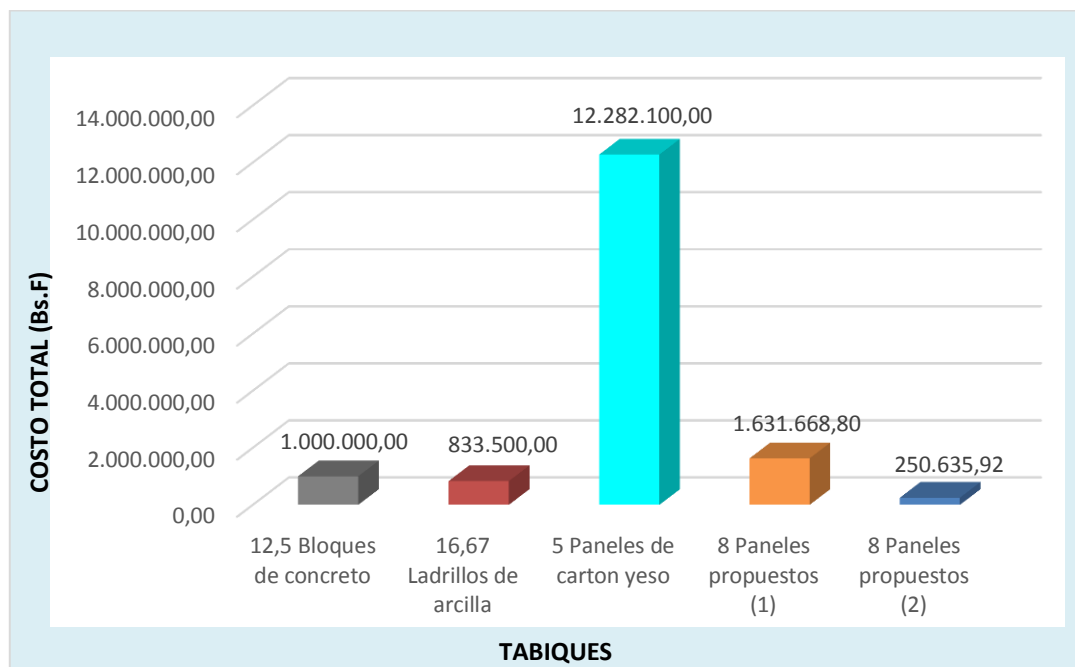
**Gráfica 15. Comparación de costos por unidad de los tabiques correspondientes**

**Fuente: El Autor 2018**

Por otro lado, en la gráfica 16 se comparan los costos por metro cuadrado de cada uno de los tabiques. De allí se puede afirmar que la elaboración de los paneles propuestos para 1m<sup>2</sup> de tabiquerías saldría más económica en comparación con los elementos tradicionales, siempre y cuando se evite el empleo del almidón de maíz como aglutinante, ya que su uso eleva 63,17% y 95,76% los costos de fabricación de los mismos en comparación con los tabiques de concreto y arcilla respectivamente.

Sin embargo el porcentaje de ahorro de ambos modelos de paneles propuestos es de 86,72% y 97,95% en comparación con los paneles de

cartón yeso (drywall). En general, se puede afirmar de acuerdo a lo anterior, que la fabricación del panel propuesto 2 (sin almidón) trae consigo notables beneficios económicos en comparación con los demás tabiques tradicionales.



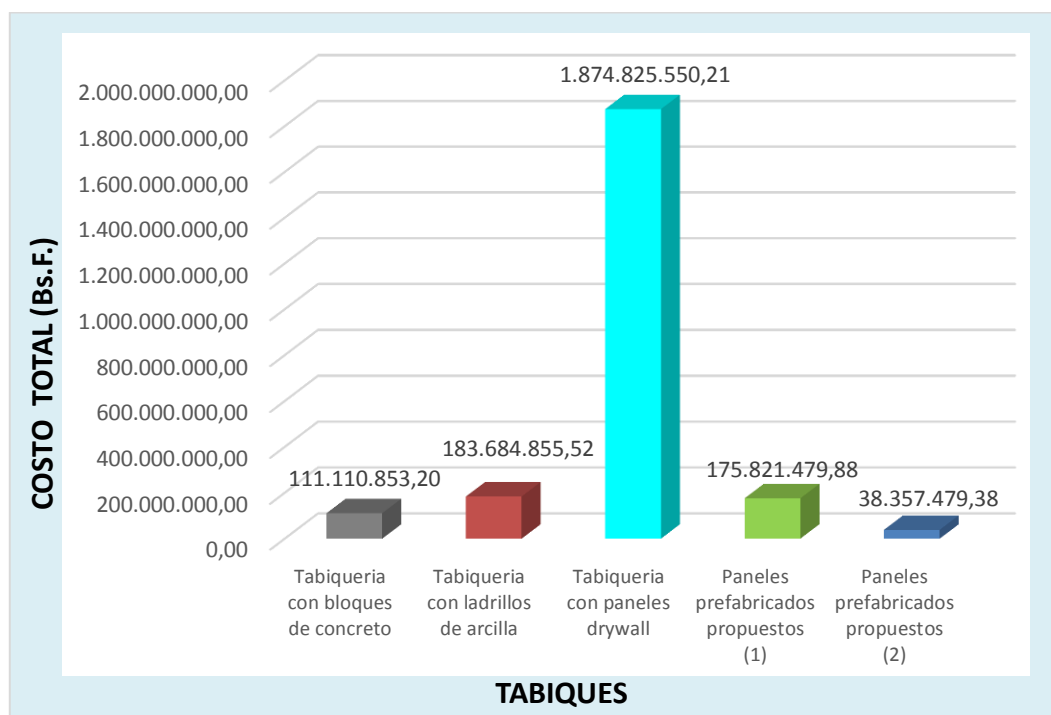
**Gráfica 16. Comparación de costos de 1m<sup>2</sup> de tabiquerías con cada tabique**

**Fuente: El Autor 2018**

#### **4.4.2. Presupuesto correspondiente a la construcción de 66,58 m<sup>2</sup> de tabiquería de una vivienda de interés social**

De acuerdo a la gráfica 17, se observa que construir 66,58 m<sup>2</sup> de tabiquerías con cualquiera de los dos modelos de paneles prefabricados, saldrían más económicos que utilizar los tabiques tradicionales para ello. Esto, en parte se debe al uso de menores cantidades de mortero de cemento para unir un elemento con otro, ya que al ser los paneles de mayores dimensiones se requiere menor cantidad de estos por metro cuadrado y, por lo tanto, menor cantidad de mortero.

En tal sentido, se observa un ahorro de 72.753.373,82 Bs.F o 727,53 Bs.S (65,48%), de 145.327.376,14 Bs.F o 1.453,27 Bs.S (79,12%) y de 1.836.468.070,83 Bs.F o 18.364,68 Bs.S (97,95%), al implementar el modelo 2 (no incluye almidón) de paneles prefabricados propuestos en la construcción de 66,58m<sup>2</sup> de tabiquerías, en vez de tabiques tradiciones de concreto, arcilla y drywall respectivamente. De igual manera, con la implementación del modelo 1 (incluye cemento y almidón) se ahorra 7.863.375,54 Bs.F o 78,63 Bs.S (4,28%) y 1.699.004.070,23 Bs.F o 16,99 Bs.S (90,62%) en comparación con los tabiques de arcilla y drywall.



**Gráfica 17. Comparación de costos de construcción de 66,58 m2 de tabiquerías**

**Fuente: El Autor 2018**

Sin embargo, el uso del modelo 1 de paneles eleva 58,23% los costos (equivalente a 64.710.626,68 Bs.F o 647,10 Bs.S) al emplearse estos para la construcción de la tabiquería, en vez de bloques de concreto. Esto es debido a que el almidón como aglutinante aumenta el precio de fabricación de este

elemento. Según lo anterior, se puede afirmar que la utilización de los paneles en viviendas como tabiquerías contribuye significativamente a la disminución de los costos de construcción de la misma por m<sup>2</sup> y por lo tanto, una disminución en los costos de adquisición de la misma, siempre y cuando se elimine el uso del almidón o se emplee otro aglutinante más económico.

## **CAPITULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 Conclusiones**

- El uso de pocas cantidades de cemento durante la elaboración de los paneles, además de unir cada elemento, también absorbe la humedad presente en la mezcla para un rápido secado. Igualmente, el uso del almidón aporta manejabilidad durante el proceso de mezclado. Con el uso del cartón, el aserrín y la fibra en la elaboración de los paneles se promueve el reciclaje de los mismos como una manera de disminuir el impacto ambiental y ayudar a liberar espacios en vertederos y sitios de disposición final, aprovechando las buenas propiedades que aun poseen para su reutilización en la elaboración de elementos constructivos.
  
- En cuanto a las propiedades de resistencia al fuego, los paneles muestran buenos resultados, sobre todo si están recubiertas con friso de 5mm o 10mm de espesor. Las mismas protegen al panel y aumentan el tiempo de resistencia ante la acción del fuego, ubicándolos en una clasificación F60. Igualmente, se obtuvo un nivel de aislamiento térmico adecuado siendo este de  $0,20 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ .
  
- Igualmente, para su uso en viviendas las muestras recomendadas según los resultados de dispersión del fuego son las que poseen friso de entre 5mm y 10 mm, ya que las mismas mantienen su integridad durante un lapso de 60 y 70 minutos respectivamente y la producción de humo comienza a partir de 10 minutos en ambos caso, ubicándolos

en una clasificación de dispersión A2 y en un nivel de producción S1, tiempo suficiente para que los ocupantes de la vivienda puedan ponerse a salvo.

- Con respecto a los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia al impacto, se tiene que el uso de la fibra de coco en los paneles sin revestimiento aporta mayor resistencia al impacto y a la fisuración, en comparación con los paneles en las que no se usó este material. Mientras que las muestras revestidas con friso de 10mm (siendo este el mayor espesor utilizado) soportaron mayor número de impactos (siendo este de 12) antes de fracturarse por completo.
- Por otro lado, el nivel de absorción de agua en los paneles sin revestimiento fue mayor en comparación con las muestras revestidas, obteniendo una clasificación de mediana permeabilidad. La aplicación de friso de 5mm disminuye la rapidez de absorción de agua, ubicándose en la clasificación de impermeabilidad relativa, correspondiente a niveles de absorción entre 0,2 y 0,4 cm<sup>3</sup> en 10 minutos. Lo que se considera adecuado para elementos constructivos empleados en viviendas.
- En la producción de los paneles los mayores daños al ambiente son ocasionados por el uso del almidón en todas las categorías de impacto con contribuciones porcentuales que varían entre 70% y 95% de acuerdo a lo arrojado por el programa SimaPro, esto debido a que el software analiza los impactos desde el momento en que la materia prima del almidón es extraída, hasta su procesamiento en fábricas (tomando en cuenta la energía empleada para ello) y su posterior

distribución. El software también analiza los mismos procesos en la elaboración del cemento, pero como se usa menor cantidad del mismo en la elaboración de los paneles, su impacto es menor en comparación con el almidón. De emplearse la misma cantidad o más, entonces su impacto sería mayor al originado por el almidón.

- Si evita el uso del almidón como aglutinante en la elaboración de los mismos, se disminuye significativamente el alto impacto ambiental. De ser así, los mayores daños asociados a la elaboración de los paneles propuestos son ocasionados por el uso de la energía eléctrica y la combustión del diesel, con una contribución porcentual de 38,7% y 38,6%, respectivamente.
- En cuanto a tabiques tradicionales, los procesos de obtención de materia prima, transporte y fabricación de los tabiques de concreto, son los causantes de los mayores impactos a la salud, al ecosistema y a los recursos, causando casi 11 veces más sustancias contaminantes en comparación con los emitidos por los procesos de fabricación del panel propuesto, y casi 89 veces más contaminantes en comparación con los paneles donde se evitó el uso de almidón.
- Por otro lado, si se comparan los costos de fabricación de varios paneles para cubrir 66,58 m<sup>2</sup> de tabiquería de una vivienda de interés social, se observa un ahorro de 72.753.373,82 Bs.F o 727,53 Bs.S (65,48%), de 145.327.376,14 Bs.F o 1.453,27 Bs.S (79,12%) y de 1.836.468.070,83 Bs.F o 18.364,68 Bs.S (97,95%), al implementar el modelo 2 (no incluye almidón) de paneles prefabricados propuestos vez de tabiques tradiciones de concreto, arcilla y drywall respectivamente.

- Sin embargo, el uso del modelo 1 de paneles eleva 58,23% los costos (equivalente a 64.710.626,68 Bs.F o 647,10 Bs.S) al emplearse estos para la construcción de la tabiquería, en vez de bloques de concreto. Esto es debido a que el almidón como aglutinante aumenta el precio de fabricación de este elemento. Cabe destacar que por cuestiones de costos, el uso de almidón se puede obviar (a pesar de que aporta manejabilidad durante el proceso de mezclado de materiales), ya que el precio del mismo aumenta constantemente como consecuencia de la inflación. En general, se observa que al utilizar los paneles prefabricados propuestos se reducen los costos por metro cuadrado de muro por ser estos de mayores dimensiones.

## **5.2 Recomendaciones**

- El uso de los paneles prefabricados elaborados con los materiales propuestos son exclusivamente para la construcción de tabiquerías. Por lo que se recomienda seguir estudiando estos elementos constructivos a fin de que se pueda lograr que los mismos puedan tener un uso estructural y funcionen como paredes de carga.
- Aunque las cantidades de cemento para la elaboración de los paneles prefabricados propuestos son considerablemente bajas en comparación con las utilizadas para elaborar bloques de concreto, se recomienda investigar y estudiar otro tipo de aglutinante que lo pueda sustituir, en aras de lograr obtener un elemento prefabricado mucho más ecológico y económico.
- Igualmente, se recomienda el uso de otro aglutinante más económico y de menor impacto ambiental que sustituya al almidón de maíz, con el



objeto de contribuir con la disminución de emisiones contaminantes producidas durante la producción de este material.

- Debido a que la fibra de coco ha dado buenos resultados al aportar resistencia a la fisuración por impactos a los paneles prefabricados propuestos, se recomienda estudiar las características y propiedades de otros tipos de fibras agrícolas como las de trigo, las de caña o las fibras de cocuiza para su implemento en la elaboración de elementos constructivo, contribuyendo así con la disminución de la contaminación ambiental originada por la quema de los mismos con el fin de eliminarlas.
- La utilización de friso con mortero de cemento dio buenos resultados como elemento protector de los paneles ante la acción del fuego y la penetración de agua. Pero se recomienda realizar estos ensayos con otras alternativas de revestimiento mucho más económicas, como el uso de placas de cartón u otro que contribuya a disminuir el peso de los paneles propuestos y su impacto ambiental.
- Debido al poco control que tienen muchas empresas dedicadas a la fabricación de boques de concreto y ladrillos de arcilla en cuanto a las cantidades, entradas de materiales y combustible que se necesitan para llevar cabo dichos elementos constructivos, es difícil recopilar información para llenar los datos de inventarios necesarios para realizar el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), por lo que se recomienda un monitoreo constante de todo esto por parte de estas empresas, ya sean industriales o artesanales, y así facilitar futuros estudios de ACV, ya que para ello es indispensable contar con una base de datos precisa y real.

- El Software Maprex utilizado para realizar Análisis de precios unitarios (A.P.U) y presupuestos no posee una base de datos acorde con los costos reales de materiales, equipos y mano de obra, los cuales cambian constantemente, por lo que se recomienda una actualización igual de constante de este programa o, en su defecto, sustituir los costos establecidos en el software manualmente por los costos reales para obtener resultados más representativos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Acosta, L. (2014). *Análisis comparativo de la resistencia a compresión de bloques huecos de concreto con la adición de fibra de polipropileno*. [Tesis de grado en línea]. Universidad Nueva Esparta, Caracas. Disponible en: <http://miunespace.une.edu.ve/jspui/bitstream/123456789/2371/1/TG5136.pdf> [Consulta: 2016, Octubre 10].
- ACI 216-1 (1997). *Método Normalizado para determinar la resistencia al fuego de las construcciones de hormigón y mampostería*. Disponible en: [https://www.inti.gob.ar/cirsoc/pdf/publicom/ACI\\_216-1-97.pdf](https://www.inti.gob.ar/cirsoc/pdf/publicom/ACI_216-1-97.pdf). American Concrete Institute [Consulta: 2016, Octubre20]
- Arias, F. (2006). *El proyecto de Investigación* (5ª. ed.). Caracas: Episteme.
- Arreaza, A. y Estrada, M. (2004). *Análisis Técnico de las condiciones estructurales de viviendas de interés social en la zona metropolitana de Maracaibo*. [Tesis de grado en línea]. Universidad Rafael Urdaneta, Maracaibo. Disponible en: <http://200.35.84.131/portal/bases/marc/texto/2301-04-00554.pdf> [Consulta: 2017, Agosto 15].
- ASTM D695 (2015). *Método de prueba estándar para medir la resistencia relativa de la construcción de paredes, pisos y tejados a la carga de impactos*. ASTM International, West Conshohocken, PA, 1979, doi: 10.1520/D0695-15, [www.astm.org](http://www.astm.org) [Consulta: 2017, Enero 15]
- ASTM E84 (2016). *Método de prueba estándar para las características de combustión superficial de los materiales de construcción*. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2005, doi: 10.1520/E0090-09, [www.astm.org](http://www.astm.org) [Consulta: 2016, Diciembre 09]
- ASTM E119 (2008). *Métodos de prueba estándar para pruebas de incendios para edificios y materiales de construcción*. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2000, doi: 10.1520/E0119-08, [www.astm.org](http://www.astm.org) [Consulta: 2017, Marzo 02]
- ASTM E514 (2008). *Método de prueba estándar para la penetración y fugas de agua a través de la mampostería*. ASTM International, West

- Conshohocken, PA, 1974, doi: 10.1520/E0514-08, [www.astm.org](http://www.astm.org) [Consulta: 2017, Febrero 08]
- Brundtland, G. (1987). *Del desarrollo sustentable según Brundtland a la sustentabilidad como biomimesis*. País Vasco: Hegoa.
- Cajadecartón.es (2015). *Datos curiosos sobre el reciclaje de cartón*. [Sitio web en línea]. Disponible en: <http://blog.cajadecarton.es/como-reciclar-el-carton/> [Consulta: 2017, Noviembre 20].
- Catálogo ASTM Internacional (2010). *¿Qué es ASTM Internacional?* [Artículo en Línea]. Disponible en: [https://www.astm.org/GLOBAL/images/What\\_is\\_ASTM\\_Spanish.pdf](https://www.astm.org/GLOBAL/images/What_is_ASTM_Spanish.pdf) [Consulta: 2016, Noviembre 20].
- Catálogo de Normas Venezolanas COVENIN (2001). *COVENIN Comisión Venezolana de Normas Industriales*. [Artículo en Línea]. Disponible en: <https://www.aqc.com.ve/Covenin.html> [Consulta: 2016, Noviembre 20].
- Clasf (2018). Paneles emedos [Figura 5]. Recuperado de <https://www.clasf.com.ar/paneles-de-poliestireno-expandido-en-argentina-5793747/> [Consulta: 2017, Noviembre 12].
- COVENIN 337-78. *Definiciones y terminología referentes al concreto*. Edición 1978. Norma Venezolana.
- COVENIN 42-82. *Bloques huecos de concreto*. Edición 1982. Norma Venezolana.
- De Mena, J. (2014). *Materiales de rápida renovación para la construcción*. [Sitio web en línea]. Disponible en: <http://www.mimbrea.com/materiales-de-rapida-renovacion-para-la-construccion/> [Consulta: 2016, Junio 01]
- Fermín, C. (4 de Septiembre de 2013). El problema del reciclaje en Venezuela. *Actualidad*. Disponible en: <https://www.aporrea.org/actualidad/a172923.html> [Consulta: 2017, Febrero 20].
- Fernández, C. (2012). *Ensayo de permeabilidad en fachadas tubo en L o tubo Rilem*. [Sitio web en línea]. Disponible en: <https://www.patologiasconstruccion.net/2012/11/ensayo-de-permeabilidad-en-fachadas-tubo-en-l-o-tubo-rilem/> [Consulta: 2016, Septiembre20]

- Frías, A. (2014). Hacia una construcción industrializada y sustentable con prefabricados de concreto. *Construcción y Tecnología en concreto* [Revista en línea], p.48-52. Disponible en: <http://www.revista.cyt.com.mx/index.php/contenido/voz-del-experto/238-hacia-una-construccion-industrializada-y-sustentable-con-prefabricados-de-concreto> [Consulta: 2016, Septiembre 23].
- García, L., Merlín, L., Olivares, R., Kolaev, S. y LM004 (2014). *¿Qué ventajas tienen las placas de cartón yeso?*. [Sitio web en línea]. Disponible en: <https://comunidad.leroymerlin.es/t5/Bricopedia-Construcci%C3%B3n/Qu%C3%A9-ventajas-tienen-las-placas-de-cart%C3%B3n-yeso/ta-p/4992> [Consulta: 2018, Enero 10].
- González, J. (2016). *Responsabilidad, la clave de la edificación sustentable*. [Sitio web en línea]. Disponible en: <http://civilgeeks.com/2016/07/08/responsabilidad-la-clave-la-edificación-sustentable/> [Consulta: 2016, Agosto 10].
- González, F. (2012). *Análisis del Ciclo de Vida de materiales de construcción convencionales y alternativos*. [Trabajo de grado en línea]. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México. Disponible en: <http://evirtual.uaslp.mx/habitat/innobitat01/cahs/ss%20arq%20arista/direcci%C3%B3n%20individualizada/licenciatura/analisis%20de%20ciclo%20de%20vida%20de%20materiales%20de%20construccion%20convencionales%20y%20alternos.%20fgm.%20aggj.%2012.pdf> [Consulta: 2017, Marzo18].
- Gutiérrez, A. (2014). *Fibra de coco utilizada en la construcción*. [Artículo en línea]. Disponible en: <https://www.veoverde.com/2014/05/fibra-de-coco-utilizada-en-la-construccion/> [Consulta: 2017, Agosto 27].
- Hernández, A. y Reiznik, N. (2004). Etapas del A.C.V. [Figura 2.6]. Disponible en: <http://www.ISO140-40%20ACV/An%C3%A1lisis%20del%20ciclo%20de%20vida.html> [Consulta: 2016, Noviembre 18].
- ISO 140-40 (2006). Gestión Ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Principios y marco de referencia.

- Jiménez, U. (2013). Análisis de Ciclo de Vida de las botellas de PET que se recolectan como residuo en el Municipio de Ecatepec de Morelos. Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F. [Trabajo de grado en línea]. Disponible en: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/6157/tesis.pdf?sequence=1> [Consulta: 2017, Julio 15].
- Ladrillos y bloques (2010). [Sitio web en línea]. Disponible en: <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Tema4.MaterialesCONSTRUCCION.PetreosArtificiales.TipologiaPIEZAS.Ensayos.2009.2010.pdf> [Consulta: 2017, Noviembre 26].
- Lfg Cartonaje (2016). *Propiedades Físicas, Químicas y mecánicas del cartón*. [Sitio web en línea]. Disponible en: <http://www.lfgcartonaje.com/blog/item/11-propiedades-fisicas-quimicas-y-mecanicas-del-carton> [Consulta: 2017, Enero 31].
- Montañez, A. y Uzcátegui, I. (2009). Utilización de la fibra de coco como sustituto del amianto en los procesos industriales. *Revista Ingeniería UC*. [Revista en línea], 16(2), 20-26. Disponible en: <http://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/a16n2/art3.pdf> [Consulta: 2017, Mayo 28].
- Muñoz, V. (10 de Octubre de 2016). Precio del cemento subió a Bs 6 mil en ferreterías. *El Tiempo*. Disponible en: <http://eltiempo.com.ve/locales/puertocruz/economia/precio-del-cemento-subio-a-bs-6-mil-en-ferreterias/230806> [Consulta: 2016, Noviembre 10].
- Pérez, J. y Gardey, A (2013). *Definición de propiedad química*. [Sitio web en línea]. Disponible en: <http://definicion.de/propiedad-quimica/> [Consulta: 2016, Septiembre 18].
- Rivera, L. (2013). *Materiales alternativos para la elaboración de tabiques ecológicos*. [Trabajo de grado en línea]. Instituto Tecnológico de Sonora, Obregón. Disponible en: [http://biblioteca.itson.mx/dac\\_new/tesis/738\\_rivera\\_luis.pdf](http://biblioteca.itson.mx/dac_new/tesis/738_rivera_luis.pdf) [Consulta: 2016, Junio 10].
- Rodríguez, I. (2016). *Características de los materiales*. [Documento en línea]. Disponible en: <https://prezi.com/x8a5xasriszk/caracteristicas-de-los-materiales/> [Consulta: 2017, Julio 20].

- Sabino, C. (2003). *El proceso de investigación*. Buenos Aires: Panapo.
- Sampieri, R. Fernández, C. y Baptista, P. (2010). *Metodología de la investigación* (5ta. ed.). D.F: McGraw Hill
- Serrano, P. (2014). *Arquitectura sostenible y ecológica utilizando paja como material constructivo*. [Sitio web en línea]. Disponible en: <http://www.certificadosenergeticos.com/arquitectura-sostenible-ecologica-utilizando-paja-material-constructivo> [Consulta: 2016, Octubre 02].
- UNE-EN 13501-1 (2010). *Clasificación en función del comportamiento frente al fuego de los productos de construcción y elementos para la edificación* (6<sup>ta</sup>. ed.). Madrid: Aenor.
- Vitalis (2016). *Reciclaje en Venezuela*. [Sitio web en línea]. Disponible en: <https://www.vitalis.net/reciclaje/> [Consulta: 2017, Marzo 05].
- Zuluaga, F. (2013). *Evaluación del comportamiento del concreto elaborado con desechos de icopor*. [Trabajo de grado en línea]. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá. Disponible en: <http://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/001/56/1/Trabajo%20final%20versi%C3%B3n20final.pdf> [Consulta: 2016, Octubre 20].

## HOJAS DE METADATOS

### Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 1/6

|                  |  |
|------------------|--|
| <b>Título</b>    | “Propuesta para el uso de viruta de madera y cartón reciclado en la elaboración de paneles prefabricados.” |
| <b>Subtítulo</b> |  |

Autor(es)

| <b>Apellidos y Nombres</b> | <b>Código CVLAC / e-mail</b> |                       |
|----------------------------|------------------------------|-----------------------|
| Bastidas Vladysbel         | <b>CVLAC</b>                 | 24.577.101            |
|                            | <b>e-mail</b>                | vladys.1702@gmail.com |
|                            | <b>e-mail</b>                |                       |
|                            | <b>CVLAC</b>                 |                       |
|                            | <b>e-mail</b>                |                       |
|                            | <b>e-mail</b>                |                       |

Palabras o frases claves:

|                    |
|--------------------|
| reciclaje          |
| impacto ambiental  |
| propiedades        |
| tabiquerías        |
| viviendas sociales |
|                    |
|                    |
|                    |



## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 2/6

Líneas y sublíneas de investigación:

| Área                                       | Subárea          |
|--|------------------|
| Escuela de Ingeniería y Ciencias aplicadas | Ingeniería Civil |
|  |                  |
|  |                  |

Resumen (abstract):

### Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo proponer el uso de desechos como el aserrín y el cartón para la elaboración de elementos constructivos, todo esto como una manera de impulsar el reciclaje de los mismos, evitar su acumulación en vertederos, promover el cuidado del ambiente y elaborar elementos más livianos y económicos al usar pocas cantidades de cemento. Los mismos se utilizaron en la elaboración de paneles prefabricados que cumplirán la función de tabiquerías en viviendas. Para evaluar su comportamiento fue necesario realizar diversos ensayos según las normas ASTM E514, D695, E84 y ACI 216.1-97 para medir sus propiedades impermeabilizantes, resistencia al impacto, dispersión de la llama, resistencia al fuego y coeficiente térmico respectivamente. Al analizar los resultados se concluyó que los paneles elaborados con los materiales ya mencionados (reforzados con fibras de coco y utilizando como aglutinantes cemento y almidón) cumplen con los criterios mínimos establecidos en las normas correspondientes, lo que lo convierte en ideal para su uso como tabiques en viviendas sociales, además de presentar una reducción de los costos de fabricación de los mismos y bajo impacto ambiental de acuerdo al análisis de Ciclo de Vida (A.C.V.) en comparación con los sistemas tradicionales.

**Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 3/6**

Contribuidores:

| <b>Apellidos y Nombres</b>  | <b>ROL / Código CVLAC / e-mail</b> |                                  |  |           |  |           |          |           |          |  |  |
|-----------------------------|------------------------------------|----------------------------------|--|-----------|--|-----------|----------|-----------|----------|--|--|
| <b>Prof. Jesús Álvarez</b>  | <b>ROL</b>                         | <b>CA</b>                        |  | <b>AS</b> |  | <b>TU</b> | <b>X</b> | <b>JU</b> |          |  |  |
|                             |                                    |                                  |  |           |  |           |          |           |          |  |  |
|                             | <b>CVLAC</b>                       | <b>4.510.362</b>                 |  |           |  |           |          |           |          |  |  |
|                             | <b>e-mail</b>                      | <b>Sainca40@yahoo.com</b>        |  |           |  |           |          |           |          |  |  |
|                             | <b>e-mail</b>                      |                                  |  |           |  |           |          |           |          |  |  |
| <b>Prof. Laurimar Rojas</b> | <b>ROL</b>                         | <b>CA</b>                        |  | <b>AS</b> |  | <b>TU</b> |          | <b>JU</b> | <b>X</b> |  |  |
|                             |                                    |                                  |  |           |  |           |          |           |          |  |  |
|                             | <b>CVLAC</b>                       | <b>15.563.371</b>                |  |           |  |           |          |           |          |  |  |
|                             | <b>e-mail</b>                      | <b>laurimarrojas@hotmail.com</b> |  |           |  |           |          |           |          |  |  |
|                             | <b>e-mail</b>                      |                                  |  |           |  |           |          |           |          |  |  |
| <b>Prof. Daniel Cabrera</b> | <b>ROL</b>                         | <b>CA</b>                        |  | <b>AS</b> |  | <b>TU</b> |          | <b>JU</b> | <b>X</b> |  |  |
|                             |                                    |                                  |  |           |  |           |          |           |          |  |  |
|                             | <b>CVLAC</b>                       | <b>17.421.606</b>                |  |           |  |           |          |           |          |  |  |
|                             | <b>e-mail</b>                      | <b>danielcabrera@udo.edu.ve</b>  |  |           |  |           |          |           |          |  |  |
|                             | <b>e-mail</b>                      |                                  |  |           |  |           |          |           |          |  |  |

Fecha de discusión y aprobación:

| <b>Año</b>  | <b>Mes</b> | <b>Día</b> |
|-------------|------------|------------|
| <b>2019</b> | <b>04</b>  | <b>25</b>  |

Lenguaje: SPA

**Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 4/6**

Archivo(s):

| <b>Nombre de archivo</b>    | <b>Tipo MIME</b>       |
|-----------------------------|------------------------|
| <b>Tesis-VladysbelB.doc</b> | <b>Aplication/word</b> |
|                             |                        |
|                             |                        |
|                             |                        |
|                             |                        |

Alcance:

Espacial: UNIVERSAL

Temporal: INTEMPORAL

**Título o Grado asociado con el trabajo:**

**Ingeniero Civil**

**Nivel Asociado con el Trabajo: Pregrado**

**Área de Estudio:**

**Escuela De Ingeniería Y Ciencias Aplicadas**

**Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado:**

**Universidad de Oriente**

# Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 5/6



UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
CONSEJO UNIVERSITARIO  
RECTORADO

CUN° 0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano  
**Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ**  
Vicerrector Académico  
Universidad de Oriente  
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009"**.

Leído el oficio SIBI – 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

|                                      |
|--------------------------------------|
| UNIVERSIDAD DE ORIENTE               |
| SISTEMA DE BIBLIOTECA                |
| RECIBIDO POR <i>[Signature]</i>      |
| FECHA <u>5/8/09</u> HORA <u>5:30</u> |

Cordialmente,

*[Signature]*  
**JUAN A. BOLANOS CUNPEL**  
Secretario



C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Teleinformática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YGC/maruja

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 6/6

**Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJO DE PREGRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicación CU-034-2009):** “Los trabajos de grados son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y solo podrá ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Concejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Concejo Universitario, para su autorización”.

---

**Vladysbel Yackelin Bastidas Carrasco**  
**AUTOR**

---

**Prof. Jesús Álvarez**  
**TUTOR**