

ARTÍCULO 003

**ECODISEÑO EN LA ELABORACIÓN
DE ELEMENTOS PREFABRICADOS
PARA ENTREPISOS Y TECHOS A
PARTIR DE BOTELLAS DE
POLIETILENO TEREFTALATO (PET)
Y MORTERO DE CEMENTO**

**Pedro José Montilla Moreno
Anmary C. Fernández Araujo
Jonder Torres
Wilver Contreras Miranda**

Artículo 003

ECODISEÑO EN LA ELABORACIÓN DE ELEMENTOS PREFABRICADOS PARA ENTREPISOS Y TECHOS A PARTIR DE BOTELLAS DE POLIETILENO TEREFTALATO (PET) Y MORTERO DE CEMENTO

*Ecodesign in the production of prefabricated elements for mezzanines
and ceilings from Polyethylene Terephthalate (PET)
bottles and cement mortar*

134

**Pedro José Montilla Moreno¹; Anmary C. Fernández Araujo²;
Jonder Torres³; Wilver Contreras Miranda⁴**

1. Universidad de Los Andes. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil, Departamento de Estructuras. E-mail: pedro.montillaula@gmail.com. ORCID: 0000-0002-4173-0806.
2. Investigadora. Ejercicio libre Ingeniero Civil. Egresado de la Universidad de Los Andes. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil, Departamento de Estructuras. E-mail: anmaryfernandezaraujo@gmail.com
3. Ingeniero Civil. Egresado de la Universidad de Los Andes. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil, Departamento de Estructuras.
4. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Laboratorio de Sostenibilidad y Ecodiseño. Mérida, Venezuela. E-mail: wilvercontrerasmiranda@gmail.com. ORCID: ORCID: 0000-0002-6407-5744.

Recibido: 13/07/22. **Aceptado:** 24/05/23

RESUMEN

En los últimos años hasta la actualidad, la gravedad de los problemas ambientales se ha hecho notable a nivel mundial. La industria de la construcción se enfrenta a un reto fundamental que será el de proponer nuevas alternativas constructivas que generen un impacto ambiental menor y más favorable para nuestro medio ambiente. De allí que, el presente trabajo propone la realización de un nuevo material constructivo para la elaboración de entresijos y techos, capaz de sustituir al bloque, tradicional o tabelón, o al tabique tradicional empleado para estos sistemas constructivos. En virtud del planteamiento anterior, surge la necesidad de determinar el comportamiento y la factibilidad del plástico como material reciclable y reutilizable para la elaboración de elementos prefabricados para la construcción de (bloques y tabelones) a través del manejo y reutilización de botellas de Polietileno Tereftalato (PET) de diferentes diámetros y formas, aglutinadas con mezclas de cemento; que

proporcionarán las características de resistencia, uso y calidad requeridas al utilizar los elementos y materiales tradicionales. En este sentido, se propone una solución ecológica para este tipo de material plástico, ya que, luego de su uso se transforman en desechos altamente contaminantes, motivo por el cual, este estudio proporciona usos alternos para su disposición final. Finalmente, como parte del análisis de sostenibilidad de las propuestas de los elementos prefabricados que resulten más favorables desde el punto de vista de capacidad y competencia resistente, se realizó un análisis del ciclo de vida (ACV) de las unidades prefabricadas en el marco del Ecodiseño, su sostenibilidad y, por ende, su viabilidad y justificación ecológica para su uso en la industria de la construcción.

Palabras clave: Desarrollo Sostenible, Arquitectura Sostenible, resistencia de materiales, bloques prefabricados.

SUMMARY

In recent years the severity of the environmental crisis has become remarkable worldwide. The construction industry faces the fundamental challenge of proposing new constructive alternatives that cause a smaller environmental impact and at the same time help to alleviate the damage already caused. Thus, this work proposes a new material to produce building blocks able to substitute the traditional blocks used to construct roofs and floors. Under the previous approach, there is a need to determine the behavior and feasibility of the new material: recyclable and reusable plastic, for the elaboration of prefabricated elements for the construction of blocks and mezzanine slabs, through the proper handling of PET bottles (polyethylene terephthalate) of different diameters and shapes, bound with cement mixtures; which will provide the same characteristics of resistance and quality when compared to traditional elements and materials. In this sense, an ecological solution is proposed for this type of plastic material, since, after its use becomes a highly polluting waste, for this reason the purpose of this study is to provide an alternative solution for its final disposal. Finally, as part of the sustainability analysis of the proposals for prefabricated elements that are most favorable from the point of view of capacity and resistant competence, a life cycle analysis (LCA) of the prefabricated units was carried out within the framework of Ecodesign, its sustainability and, therefore, its viability and ecological justification for its use in the construction industry.

Key words: Sustainable Development, Sustainable Architecture, resistance of materials, prefabricated blocks.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe la tendencia mundial a desarrollar proyectos e iniciativas amigables con el medio ambiente, en gran parte debido a los materiales que se utilizan en el sector de la construcción y por la cantidad de desechos que este genera, para evitar el uso indiscriminado, es necesario promover el desarrollo de nuevos materiales y métodos constructivos que sean más generosos con el medio ambiente. Con el fin de disminuir el impacto ambiental y producir materiales más sostenibles se toma el uso del reciclaje como una solución al problema de eliminación o tratamiento de los materiales, permitiendo así la reutilización de algunos elementos como el papel, cartón, vidrio, plásticos, entre otros, que de otra manera terminarían como desechos. Con estas iniciativas se busca que dichos materiales se combinen con los materiales de construcción, al igual que el aprovechamiento de otros de origen orgánico como el fique, derivado de la planta de sisal, y que tienen propiedades que han mostrado favorecer el comportamiento de algunos materiales convencionales de construcción.

En lo que respecta a los envases de plásticos usados en la industria, están compuestos por materiales poliméricos no degradables, que generan un alto nivel de contaminación después de su consumo. Por este motivo, existe la necesidad de intentar reciclar con eficacia aquellos materiales de desecho contaminantes y así contribuir a detener o intentar limitar el proceso de contaminación que éstos generan. Según sus características y composición física, los materiales de desecho o residuo plástico normalmente tardan cientos de años en degradarse por sí mismos y el tratamiento final que reciben para acelerar su descomposición no es el más adecuado, ya que terminan en relleno sanitarios, basureros o sufren procesos de incineración, además de ser botados sin control en carreteras, terrenos, fuentes de agua, ríos y mares.

De esta manera, el punto de partida del presente proyecto de investigación es la reutilización de botellas de Polietileno Tereftalato (PET) como elemento alternativo para la fabricación de elementos de construcción y con ello,

contribuir a minimizar el impacto que generan los desechos plásticos industriales, domésticos y de consumo masivo en el medio ambiente.

Adicionalmente, se han utilizado materiales de origen orgánico como el fique, la ventaja de este tipo de fibra reside en su estructura porosa, elasticidad, absorción, aislamiento térmico, por lo que apropiadamente tratada elimina impurezas, destacando así su resistencia al desgaste.

De ahí que, el presente trabajo se ha propuesto desarrollar materiales constructivos ecoinnovadores y alternativos a los tradicionales empleados en la elaboración de entrepisos y techos, a partir de la reutilización de envases plásticos tipo PET (Polietileno Tereftalato), mediante su incorporación a mezclas de mortero convencionales para que, una vez demostradas sus propiedades mecánicas, puedan ser utilizadas en obras o elementos que permitan obtener beneficios económicos, sociales y ambientales. Convirtiéndose en una iniciativa que ayuda a la conservación del planeta a través del Ecodiseño, el cual consiste en un proceso de diseño y ecoinnovación que permite proponer la creación de un producto artesanal, semi industrial o industrial que reemplace el material tradicional (bloques y tabelones) con la fabricación de materiales alternativos devenidos del proceso de reutilización, que les sustituyan cumpliendo igual o mejor funcionalidad. Así mismo se realizó el análisis de ciclo de vida a través del método ACV-Coclowen y, el análisis de las propiedades mecánicas y físicas de la combinación del mortero con material reutilizado (botellas de Polietileno Tereftalato-PET), con la finalidad de que la estructura sea resistente, económica y sostenible ambientalmente, al reutilizarlas como materia prima en nuevos productos; logrando así reducir la alta demanda en la extracción las mismas que tanto daño hace al ecosistema y mejorar la calidad de vida de los habitantes.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El fundamento de la presente trabajo está centrado en desarrollar materiales constructivos ecoinnovadores y alternativos a los tradicionales empleados en la elaboración de entresijos y techos, a partir de la reutilización de botellas de plásticos tipo PET (Polietileno Tereftalato) y PEAD (polietileno de alta densidad), mediante su incorporación a mezclas de mortero convencionales para que, una vez demostradas sus propiedades mecánicas, puedan ser utilizadas en obras o elementos que permitan obtener beneficios económicos, sociales y ambientales.

Ha sido un proceso metodológico de Ecodiseño de la propuesta de los nuevos materiales ecoinnovadores concebidos en el Laboratorio de Sostenibilidad y Ecodiseño ULA:UPV-CEFAP:LNPF (Figura 1) y el equipo de trabajo del presente proyecto, donde se llegó a implementar el proceso de reutilización de envases plásticos de aceite de motor vehicular, el cribado de alternativas mediante el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) a partir del método ACV-Coclowen, la posterior manufactura de la alternativa seleccionada y realización de ensayos mecánicos según las normas internacionales ASTM y nacional Fondonorma, con sus respectivos análisis con propuestas prospectivas de reconocimiento de uso, costos y normativas de implementación.

El diseño más apropiado para la investigación partió de la concepción cuasi experimental, que “es la investigación en donde el científico influye activamente en algo para observar sus consecuencias” (Explorable, 2018).

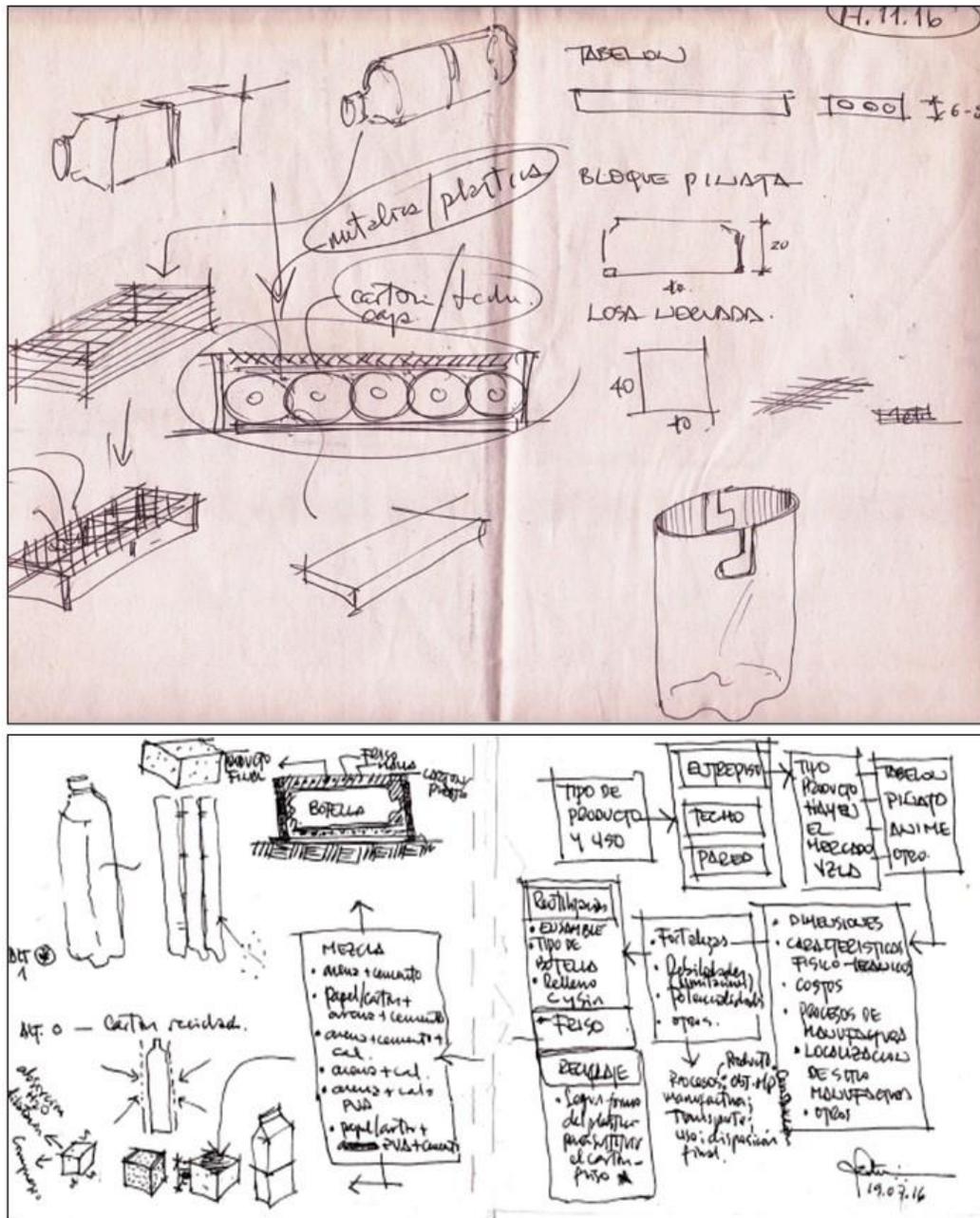


FIGURA 1. Dibujos y procesos conceptuales de reutilización de botellas PET de refresco para la elaboración de los bloques piñata; y similarmente proyectados para el uso de envases de aceite de motor de automóviles en esta investigación. Fuente: Wilver Contreras Miranda.

Según Albert, M. (2006) este tipo de investigación “se lleva a cabo en una situación real en la que una o más variables independientes son manipuladas por el investigador en condiciones controladas, sólo hasta donde lo permita la situación” (p.83). Se presentan entonces algunas variables que pueden quedar no controladas, pero que a su vez pueden influir en la variación de la variable dependiente.

Al respecto, es necesario considerar algunos factores importantes como la viabilidad, el tiempo, el costo, los equipos requeridos, los métodos utilizados y lo que se aspira probar. Atendiendo a estos factores, se ha considerado conveniente en este caso llevar a cabo un estudio piloto, ya que este permite obtener información previa acerca de posibles errores o problemas y, luego mejorar el diseño para la investigación real. Este estudio piloto se desarrolló en base a cuatro modelos:

1. Placas de mortero y fique, de diferentes espesores: 2, 2,5 y 3 cm.
2. Placas de mortero con malla plástica, con espesores de 2, 2,5 y 3 cm.
3. Bloque tipo piñata con 8 botellas/envases de refresco de PET de 2 L.
4. Bloque tipo tabelón con 4 botellas de aceite hidráulico de Polietileno de alta densidad y capacidad de 0,946 L.

No obstante, existe una serie de ensayos previos ya estandarizados y normalizados que sirven de soporte a este ensayo piloto, el cual está referido solo al componente elementos prefabricados (bloques y tabelones) (Figura 1) para entresijos y techos a partir de botellas de polietileno tereftalato (PET) y mortero de cemento. Es la ecoinnovación planteada en el contexto de la reutilización de las botellas plásticas para la elaboración de entresijos y techos, ya que lo tradicional es el empleo de los bloques y tabelones de cemento y arcilla. Por otra parte, según Peña (2011), define por bloques de cemento aquellos elementos prefabricados que se caracterizan por tener un tamaño más grande que el tradicional ladrillo cocido y, en general, son más pesados y menos

aislantes que los ladrillos. Son elementos constructivos con forma de paralelepípedo, al igual que los ladrillos, pero con dimensiones comunes de 10 x 20 x 30 cm de espesor, y 15 x 20 x 30 cm de longitud, siempre huecos, se manejan con las dos manos y se utilizan en la elaboración de paredes y elementos decorativos (Figura 2).

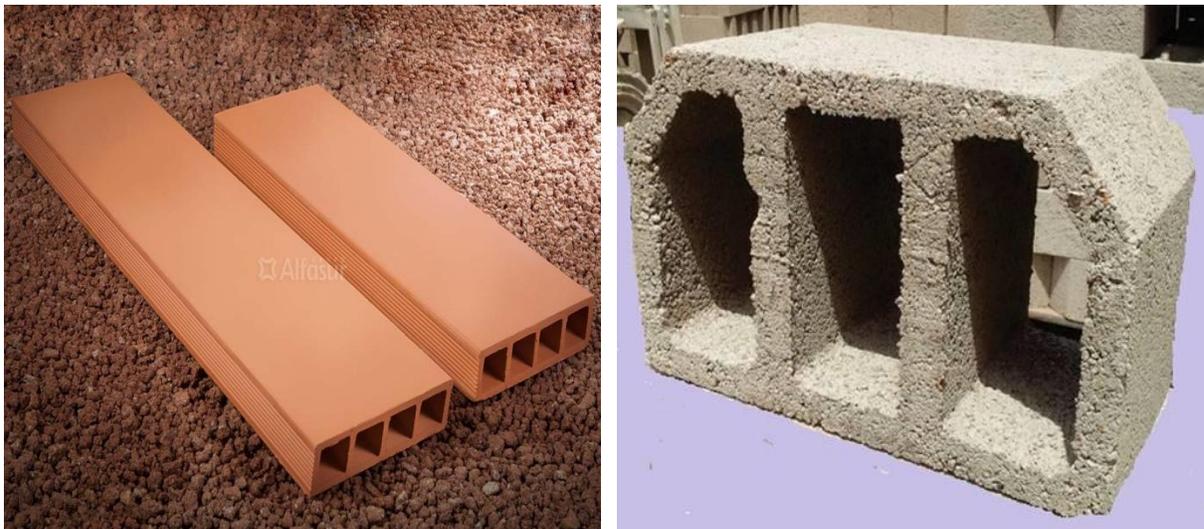


FIGURA 2. Bloque tabelón (izq.) y bloque piñata (der). Fuente: MAPRECA, 2019.

Como se puede apreciar en la figura 2, el bloque tabelón es un insumo constructivo de alma con varios huecos, teniendo dimensiones y diseños muy particulares, siendo generalmente elaborados con arcilla cocida. Comercialmente tienen una longitud de 60 a 80 cm, ancho de 20 y un espesor variable entre 6 y 8 cm. Son muy utilizados en la construcción de entrepisos livianos o techos.

En referencia al origen y desarrollo de los plásticos, estos son originados por un proceso conocido como polimerización, por medio de adición, condensación, o por etapas, es decir, creando grandes estructuras moleculares a partir de moléculas orgánicas. Las enormes moléculas de las que están compuestos pueden ser lineales, ramificadas o entrecruzadas, dependiendo del tipo de plástico a obtener. Algunas de las características de los plásticos son:

- ◆ Fáciles de trabajar y moldear.
- ◆ Poseen baja densidad.
- ◆ Suelen ser impermeables.
- ◆ Buenos aislantes eléctricos.
- ◆ Aceptables aislantes acústicos.
- ◆ Excelentes aislantes térmicos, aunque la mayoría no resisten temperaturas muy elevadas.
- ◆ Resistentes a la corrosión y a muchos factores químicos.
- ◆ Algunos no son biodegradables ni fáciles de reciclar, y si se queman, son muy contaminantes.

No todas estas propiedades se encuentran en todos los plásticos. Los plásticos se clasifican según la **Monómera Base**, en: **A. Plásticos Naturales** que son los polímeros cuyos monómeros son derivados de productos de origen natural con ciertas características como la celulosa, la caseína y el caucho. Los derivados de la celulosa son: el celuloide, el celofán y el cellón. Los derivados del caucho son: la goma y la ebonita; **B. Plásticos Sintéticos**, siendo aquellos que tienen origen en productos elaborados por el hombre, principalmente derivados del petróleo, como lo son las bolsas de polietileno.

Según Garavito (2007), los plásticos se pueden clasificar según su arreglo molecular. **La clasificación de Estructura Molecular y Comportamiento al Calor** se ve altamente afectada por los procesos de fusión y solidificación; siendo éstos dos los que determinan sus propiedades físicas y mecánicas, tal como se muestra en la tabla 1.

TABLA 1. Códigos de identificación de los plásticos atendiendo a su estructura y comportamiento al calor.

ESTRUCTURA	FORMACIÓN	CARACTERÍSTICA	EJEMPLO
Amorfa	Las moléculas no presentan ningún tipo de orden están dispuestas aleatoriamente	<p>Son normalmente transparentes.</p> <p>La fusión se realiza en un intervalo de temperatura, no existe un punto de fusión preciso.</p> <p>A medida que la temperatura aumenta, el material pasa de un estado sólido a uno pastoso, hasta convertirse finalmente en un fluido muy viscoso.</p> <p>En el intervalo de fusión pueden ser manufacturado por inyección extrusión, soplado, etc.</p> <p>Sin carga tiene una contracción en el moldeo de 0,3 % a 0,9 % con carga este valor es menor</p>	<p>PVC</p> <p>PS</p> <p>SAN</p> <p>ABS</p> <p>PMMA</p> <p>PC</p>
Cristalina	Al enfriarse, sus cadenas tienden a enlazarse muy ordenamiento por lo que se produce un empaquetamiento muy ordenado, que se denomina cristalización	<p>Son opacos</p> <p>Poseen un punto característico de fusión</p> <p>El intervalo útil de transformación está limitado a pocos grados centígrados un poco abajo del punto de fusión, está todavía sólido y no se puede moldear y no es prudente superar mucho la temperatura de fusión porque puede intervenir el fenómeno de degradación térmica.</p> <p>Tienen contracción para un polímero no reforzado varía de 1 al 5 %</p>	<p>PE</p> <p>PP</p> <p>POM</p> <p>PA</p> <p>PET</p>

Según el **Tipo de Termoplástico**, cada tipo de termoplástico está asociado a un número que identifica la naturaleza del material y sus usos y aplicaciones específicas, tal y como se indica en la tabla 2.

TABLA 2. Sistema de identificación de termoplásticos y sus aplicaciones. Fuente: Méndez (2012); Hachi (2010).

TIPO DE TERMOPLÁSTICO	CLAVE DECODIFICACIÓN	TIPO DE USO
Polietileno Tereftalato (PET O PETE)	1	Se utiliza para botellas de refresco carbonato y para recipientes de comida
Polietileno de alta densidad (HDPE O PEAD)	2	Empleado en las botellas de leche, detergente, bolsas, entre otros
Poli cloruro de vinilo (PVC)	3	Frecuente en los envases de película fina y envoltura
Polietileno de baja densidad (LDPE)	4	Plástico fuerte, flexible y transparente que se puede encontrar en algunas botellas y bolsas muy diversas (de la compra o para comida congelada, pan etc.)
Polipropileno (PP)	5	Usado para las cajas de botellas, maletas tapas y etiquetas
Poli estireno (PS)	6	Empleado en la producción de vasos y platos de esterefón y artículos moldeados por inyección
Otros	7	Todas las demás resinas y materiales multilaminares. Son utilizados en producciones (defensas de autos postes, etc.)

Por interés de la investigación se cita a Pérez (2012), quién define al **Polietileno Tereftalato (PET) (1)**, como un derivado del petróleo, de la familia de los termoplásticos. Es producido a partir del petróleo crudo, gas y aire. A partir del petróleo crudo se extrae el xileno y se oxida con el aire para dar ácido tereftalico. Éste reacciona con otro petroquímico secundario, el mono etilenglicol, dando lugar al PET, en forma de gránulos, perlas o pellets blanquecinos. Se considera que un kilo de PET está compuesto por 64% de petróleo, 23% de derivados líquidos del gas natural y 13% de aire. La tabla 3 desarrollada por Palacios (2001), sintetiza las principales propiedades fisicoquímicas del PET (Tabla 3).

TABLA 3. Propiedades fisicoquímicas del PET. Fuente: Palacios (2001).

PROPIEDAD	VALOR	
Coeficiente de Volumen de expansión	De 30 a 60 °C	$1.6 \cdot 10^{-4}$ grados ⁻¹
	De 90 a 190°C	$3.7 \cdot 10^{-4}$ grados ⁻¹
Densidad específica a 25°C	Amorfo	1.335g/cc
	Cristal Orientado	1.390 g/cc
Temperatura de transición vítrea (Tg)	Amorfo	67°C
	Cristalino	81°C
	Cristalino y orientado	125°C
Punto de derretimiento	PET comercial	265°C
	Pet puro	271°C
Absorción de humedad (inmersión en agua a 25°C durante 1 semana)		0.80%
Resistividad	A 25°C	$1 \cdot 10^{18}$ ohmios*cm
	A 150°C	$1 \cdot 10^{13}$ ohmios*cm
Conductividad térmica		$3.36 \cdot 10^{-4}$ cal/(cm*s*°C)

Seguidamente, se definen los más importantes aspectos técnicos del proceso metodológico de la presente investigación:

2.1. Recolección de la información

La recolección de la información se refiere a dos aspectos básicos:

- A. Ensayos previos con los materiales convencionales que se utilizarán, atendiendo a la normativa COVENIN. En este caso, los instrumentos de recolección de datos son las planillas que utiliza regularmente el Laboratorio de Materiales y Ensayos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Los Andes, específicas para cada tipo de prueba.

B. Ensayos de elementos prefabricados (bloques y tabelones). Los datos son recogidos en tablas elaboradas al efecto y luego graficados.

La aplicación de estos instrumentos ocurre a través de los diversos ensayos previstos en el estudio piloto. Posteriormente se organizan los registros y mediciones para su correspondiente análisis.

2.2. Métodos de análisis de los datos

Los resultados de los ensayos previos con los materiales a utilizar se analizan considerando su comportamiento promedio y su ajuste a las normas. Los resultados de la prueba piloto de elementos prefabricados (bloques), se estudian a través de un análisis de resistencia.

El proceso de elaboración y aprovechamiento de los elementos prefabricados es examinado con el método Análisis del Ciclo de Vida ACV-Coclowen simplificado, para determinar el impacto que ejercen en el ambiente distintas actividades industriales; como es el caso de la fabricación de este tipo de bloques, y los resultados derivados de dicho proceso, comenzando desde el uso y la reutilización de materiales, hasta los procesos de manufactura y venta del producto. Este método establece una serie de parámetros que valoran los resultados a través de una escala numérica.

2.3. Materiales y métodos para el desarrollo del estudio piloto

Para el desarrollo del estudio piloto ha sido necesario establecer un método de trabajo que permita poner en práctica los supuestos de la presente investigación siguiendo una serie de pasos secuenciados y procedimientos ordenados, los cuales se resumen en la tabla 4 y figura 3.

TABLA 4. Procedimiento metodológico de la investigación. Fuente: Elaboración propia.

<p>Ensayos previos para medición y análisis de los materiales empleados</p>	<p>Prueba piloto a los elementos prefabricados (bloques y tabelones).</p>
<p>Determinación de las características de los envases utilizados:</p> <ul style="list-style-type: none"> Botellas de refresco PET. Envases de aceite hidráulico Polietileno de alta densidad. <p>Determinación de las características de los agregados:</p> <ul style="list-style-type: none"> Impurezas orgánicas en arenas para concreto. Peso específico y absorción del agregado fino. Composición granulométrica de agregados finos y gruesos. <p>Determinación por lavado del contenido de materiales más finos que el cedazo COVENIN 75micras en agregados minerales, norma COVENIN 258-77</p> <p>Determinación por secado del contenido de humedad total y superficial en el agregado.</p> <p>Tratamiento del sisal, previo al vaciado</p>	<p>Diseño y elaboración de los bloques:</p> <p>Para bloques tipo piñata.</p> <ul style="list-style-type: none"> Determinación del número y distribución de las botellas de refresco. Ensamble y embalado de las botellas. Elaboración del encofrado. Elaboración, vaciado y curado de los bloques. <p>Para bloques tipo tabelón.</p> <ul style="list-style-type: none"> Determinación del número y distribución de los envases de aceite hidráulico. Ensamble y embalado de los envases. Elaboración del encofrado. Elaboración, vaciado y curado de los tabelones.
<p>Pruebas al mortero en estado plástico endurecido:</p> <ul style="list-style-type: none"> Elaboración, curado y ensayo a compresión de probetas cilíndricas de mortero. Elaboración, vaciado y curado de placas de mortero con malla plástica de diferentes espesores: 2; 2.5 y 3 cm. Elaboración, vaciado y curado de placas de mortero con sisal de diferentes espesores 2; 2.5 y 3 cm. Ensayo de compresión de las placas de mortero con malla plástica en el laboratorio. Ensayo de compresión de las placas de mortero con sisal en el laboratorio. 	<p>Método de ensayo a compresión de los bloques:</p> <ul style="list-style-type: none"> Aplicación del ensayo para los bloques tipo piñata. Aplicación del ensayo para los bloques tipo tabelón.

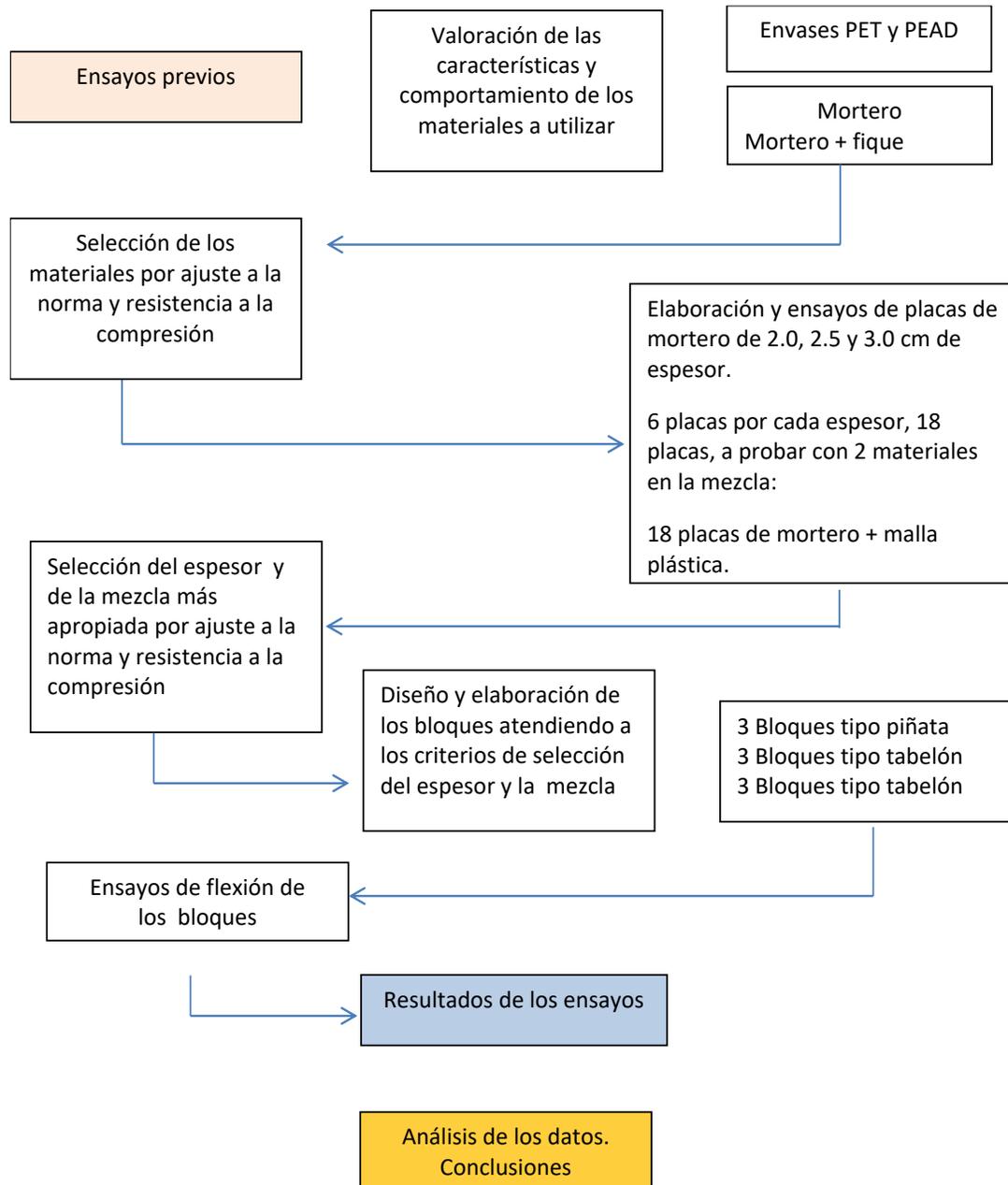


FIGURA 3. Flujo programático de diseño de la investigación. Fuente: Elaboración propia.

2.4. Determinación de las características de los envases

Se consideran dos tipos de envases de uso común y que abundan en los desechos sólidos: botellas de refresco de Polietileno Tereftalato (PET), identificado con el número 1 y, envases de aceite hidráulico de Polietileno de Alta Densidad (PEAD) identificado con el Número 2, según la clasificación hecha por la Sociedad de la Industria de Plásticos, según se muestra en la Tabla 2.

Se analizan las características de cada uno para poder determinar la conveniencia de su utilización a los fines de la presente investigación. Debido a sus dimensiones promedio y su forma cilíndrica, las botellas de refresco se consideran las más apropiadas para la elaboración de los bloques tipo piñata. Los envases de aceite hidráulico, por sus dimensiones promedio y su configuración geométrica de paralelepípedo, se adaptan mejor a las características de un bloque tipo tabelón.

2.4.1. Botellas PET

El PET es resistente, de alta transparencia, bajo peso, impermeable y es apto para uso alimentario. Es el más fácil de reciclar y también se puede reutilizar. En la presente investigación se utilizaron envases de Coca-Cola y PEPSI en las presentaciones de 1.5 L y 2 L., así como equipos del laboratorio de materiales. Los envases fueron clasificados de acuerdo a la marca del fabricante y a su capacidad. Se determina su peso, altura y diámetro, mediante las mediciones correspondientes.

2.4.1.1. Criterios de selección de las botellas PET

Para la selección de las botellas PET a utilizar en la elaboración de los bloques piñata, se han considerado los siguientes criterios:

Volumen. Lograr la mayor cantidad posible de espacios vacíos, en relación a las medidas del bloque. La longitud del bloque convencional tipo piñata es de 40 cm. La botella más aproximada al tamaño de dicho bloque es la PEPSI de 2 L, con 35.22 cm de altura y un diámetro promedio de 9.77 cm, por lo que resulta la más adecuada.

Facilidad de obtención. Se consideran las marcas más comerciales y de mayor consumo.

2.4.2. Envases de aceite hidráulico de Polietileno de Alta Densidad

El Polietileno de Alta Densidad PEAD (HDPE en inglés), es más rígido que el PET, tiene alta resistencia química y térmica, es el que se usa en las botellas de detergentes líquidos o en las garrafas de aceite.

Se utilizaron envases de aceite hidráulico de la marca Shell HELIX HX5 20W-50 (Figura 4), así como equipos del laboratorio de materiales. Como procedimiento se determinó el peso, altura y espesor de los envases, mediante las mediciones correspondientes.

150

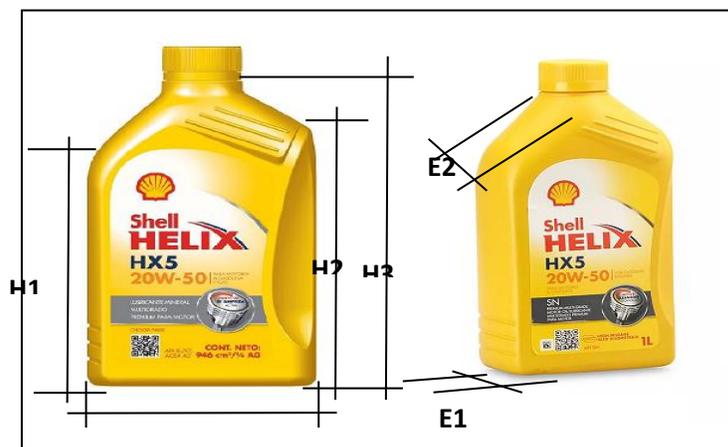


FIGURA 4. Dimensiones medidas del envase de aceite hidráulico HELIX HX5 20W-50: H1 (14,00 cm); H2 (16,50 cm); H3 (22,00 cm); E1 (6,10 cm); E2 (5,50 cm). Fuente: Elaboración propia.

2.4.2.2. Criterios de selección de los envases de aceite hidráulico de Polietileno de alta densidad

Para los envases a utilizar en la elaboración de los bloques tabelón, se han considerado los siguientes criterios:

Volumen. Lograr la mayor cantidad posible de espacios vacíos, en relación a las medidas del bloque, ajustadas a la norma. La mayor dimensión del envase de aceite hidráulico considerado es de 22,00 cm, por lo que puede ser usado para definir el ancho del bloque, mientras que la longitud (46 cm) se logra colocando 4 envases, uno al lado del otro.

Facilidad de obtención. Se consideran las marcas más comerciales y de mayor consumo.

2.5. Ensayos para la obtención de las características de los agregados

Los métodos y procedimientos para obtener las características de los agregados han sido tomados de Febres Cedillo (2006) y se exponen a continuación:

2.5.1. Determinación cualitativa de impurezas orgánicas en arenas para concreto

Este método de ensayo permite conocer en forma preliminar si una muestra de agregado fino es aceptable con respecto a los requerimientos de la norma venezolana para determinar el efecto de impurezas orgánicas de agregado fino en la resistencia de morteros y concreto, COVENIN 275-78 (COVENIN, 1978). Cuando una muestra sometida a este ensayo produzca un color más oscuro que el de la solución estándar, utilizada como color patrón de comparación, siguiendo el procedimiento de ensayo recomendado por la norma COVENIN 275-78, y de acuerdo con los resultados obtenidos, se debe proceder al lavado minucioso de la arena ensayada o a su descarte como material componente de la mezcla de concreto.

2.5.2. Determinación del peso específico y absorción del agregado fino

El peso específico de un cuerpo, masa o material es una característica usada generalmente para el cálculo del volumen que ocupa; en este caso los agregados finos, en las diferentes mezclas que lo contengan, incluyendo a los concretos de cemento Portland, concretos bituminosos y otras mezclas que son diseñadas, proporcionadas o dosificadas con base en un volumen absoluto.

El peso específico (SSS) se utiliza cuando el agregado se encuentra húmedo, es decir, si su absorción ha sido satisfecha. Contrariamente, el peso específico de la masa, seca al horno, se usa en el cálculo para el diseño de la mezcla cuando el agregado se supone seco al momento de su utilización.

El peso específico aparente se refiere a la densidad relativa del material sólido que conforma las partículas del agregado fino, sin incluir el espacio de los poros existentes dentro de las partículas y que son accesibles al agua.

Los valores de absorción se usan para calcular el cambio en peso de un agregado, debido al agua absorbida por los poros existentes entre las partículas que lo conforman, comparado con la condición seca, cuando se considera que el agregado ha estado en contacto con el agua el tiempo suficiente como para satisfacer gran parte del potencial de absorción (Febres Cedillo, 2006).

2.5.3. Composición granulométrica de agregados finos y gruesos

Se realiza a través de un ensayo de laboratorio que consiste en preparar una muestra de agregados seco de peso conocido y tamizarla a través de una serie de cedazos o tamices de aberturas progresivas menores, para determinar la distribución de los tamaños de las partículas.

Se utilizan principalmente para determinar la gradación de los materiales que se serán usados como agregados. Los resultados se usan para determinar si la distribución de tamaños de las partículas se encuentra de acuerdo con las especificaciones para la elaboración de mezclas de concreto y como información requerida para el control de la producción de los diversos agregados y elaboración de mezclas que contengan agregados (Febres Cedillo, 2006).

Expresión de los resultados del ensayo. Los porcentajes retenidos en cada cedazo se calcularán con base en el peso total de la muestra, incluyendo el material que pasa el cedazo COVENIN (N°100); en caso de conocerse, la cantidad de material más fino que el cedazo COVENIN 75 (N°200), determinado según la Norma Venezolana, para Métodos de Ensayo para la Determinación

por lavado del Contenido de Materiales, COVENIN258-77 (COVENIN, 1977), se calcula por porcentaje de material retenido y que pase el cedazo COVENIN 75 (N°200).

2.5.4. Determinación por lavado del contenido de materiales más finos que el cedazo COVENIN 75 micras en agregados minerales, norma COVENIN 258-77

153

El material más fino que el cedazo COVENIN 75 (N°200) puede ser separado de las partículas más grandes de manera eficiente mediante un cernido húmedo. Por lo tanto, cuando se desea la determinación precisa del material más fino que el cedazo 75, ya sea agregado fino o grueso, se usa este método de ensayo antes de realizar el cernido seco, de acuerdo al ensayo COVENIN 255-1998, y el contenido total de material más fino que el cedazo 75 obtenido del proceso de cernido seco es muy pequeño. Si resulta grane, se debe revisar la eficiencia de la operación de lavado. Puede ser también una indicación de degradación del material.

El agua común es adecuada para separar el material más fino que el cedazo 75. Del material más grueso en la mayoría de agregados. En algunos casos, el material más fino se adhiere a las partículas grandes, tal como recubrimientos de arcillas o recubrimientos sobre agregados que han extraídos de mezclas bituminosas. En estos casos, el material fino se separa más fácilmente colocando al agua un agente humedecedor y un agente dispersante, tal como detergente o lavaplatos, que promueven las separaciones de los materiales finos (Febres Cedillo, 2006).

2.5.5. Determinación por secado del contenido de humedad total y superficial en el agregado

Este método resulta suficientemente preciso como para ser usado en el ajuste del peso de los ingredientes del concreto al momento de un diseño de mezcla. En el caso en que los agregados hayan sido alterados por calor, o cuando se

requieran medidas más precisas, el ensayo se realizará utilizando un horno ventilado con control de temperatura (Febres Cedillo, 2006).

2.5.6. Tratamiento del sisal previo al vaciado

Este método permite eliminar las impurezas del sisal para que no afecten las características físicas y mecánicas de la mezcla de mortero.

154

2.5.7. Pruebas al mortero en estado plástico y concreto endurecido

2.5.7.1. Elaboración, curado y ensayo a compresión de probetas cilíndricas de mortero

Involucra una serie de procedimientos técnicos de uso de equipos y herramientas menores como la máquina de ensayo y moldes plásticos de los cilindros y barra compactadora. La elaboración de las probetas parte de su preparación según la mezcla a desarrollar, seguidamente se realiza el vaciado del mortero en los moldes cilíndricos, se compacta con la barra metálica con serie de golpes debidamente numerados en la cantidad de 25 por ser el cilindro de 3". En el proceso de curado de los cilindros, una vez elaboradas las probetas, deben protegerse de la pérdida de agua por evaporación cubriéndolas adecuadamente con un material impermeable o manteniéndolas constantemente a la sombra y, a menos que se indique otra cosa en las especificaciones, a una temperatura aproximada de 23 ± 1.5 °C. Los moldes deberán permanecer en una superficie horizontal rígida, libre de vibraciones y otras perturbaciones. Las probetas deben retirarse de los moldes en un lapso comprendido entre 20 y 48 horas después de su elaboración y se almacenan hasta el momento del ensayo, en este caso particular, directamente bajo agua saturada de cal.

2.5.7.2. Ensayo de los cilindros en el laboratorio

Los cilindros deben suministrar la información que el laboratorio supone importante para la interpretación de los resultados, como la hora y fecha de

elaboración, localización de la representación del concreto de la muestra con respecto a la estructura, resistencia de diseño del concreto, procedencia, etc.

Los ensayos se realizan usando la metodología de la norma ASTM C469, que describe el método estándar para calcular el módulo de elasticidad del concreto a compresión axial. A cada uno de los cilindros de concreto se les colocaron dos camisas metálicas, separadas a una distancia promedio de 15.2 cm, unidas por un deformímetro de alta precisión, marca Federal Products USA, con una apreciación de 0.000254 cm, el cual tiene como fin monitorear la deformación experimentada por el cilindro al aplicarle la carga axial.

Preparación de la muestra. Las caras del cilindro sometidas a compresión deben ser rematadas, de tal forma que se logre la horizontalidad o nivelación y el paralelismo entre las caras del cilindro. Las superficies de compresión deben ser visibles lisas y planas, sin grumos, ralladuras o defectos visibles.

Los cilindros se deben ensayar a la edad prevista, con una tolerancia de días, donde t es la edad prevista para el ensayo en días. La sección del cilindro se determina en su zona central y el diámetro de cálculo es el promedio de los diámetros ortogonales aproximados hasta el milímetro entero más próximo. La altura del cilindro se determina después de cementadas o rematadas sus caras. La altura se aproxima al milímetro entero más cercano

Procedimiento. Los cilindros se colocan en la máquina de ensayo. Se debería centrar cuidadosamente y se comprimen. Tanto las superficies rematadas de los cilindros y los platos de la máquina deben estar exentos de polvo, grasa o cualquier otro material extraño.

2.5.8. Elaboración y Curado de Placas con Mortero Reforzado

Como parte de los objetivos de la investigación planteada, se decidió elaborar placas de mortero reforzado de diferentes espesores, específicamente, de 2.0; 2.5 y 3.0 cm, con la finalidad de lograr determinar cuál espesor es el que resulte más conveniente y adecuado a los fines propuestos. Las placas serán elaboradas con mortero de arena y cemento, reforzado con malla plástica de

abertura romboidal de 1" y con fibra natural de Fique, curada y tratada químicamente en el laboratorio.

2.5.8.1. Preparación de la Mezcla de Mortero Arena – Cemento

Para la preparación de la mezcla de mortero, tanto para las placas reforzadas con malla plástica, como para las placas reforzadas con fibra natural de Fique, se utilizaron los mismos materiales y equipos ya descritos anteriormente para la elaboración de los cilindros de mortero patrón de arena y cemento, con la excepción que para la elaboración de las placas reforzadas con fibra natural de Fique al mortero se le agregó la fibra natural de Fique, previamente tratada, debidamente dosificada al 1% del volumen de la mezcla, de acuerdo con lo obtenido por López y Sifontes (2017), en su trabajo de grado, como proporción en volumen óptima de fibra natural de Fique para la mezcla de mortero arena-cemento reforzado con esta fibra natural.

La dosificación de los agregados se realizó en función de las respectivas proporciones en volumen de cada material, siguiendo la recomendación establecida por los mismos investigadores López y Sifontes (2017), que establece una dosificación de 5:1, es decir, cinco (5) partes de arena por una (1) parte de cemento, para la obtención de una mezcla óptima para la elaboración de unidades de bloques de mortero de arena y cemento. Para el agua se agregó la cantidad de agua requerida para garantizar una mezcla fluida, en condición plástica y trabajable. Para hacer más práctica y eficiente la dosificación de los materiales, los volúmenes fueron convertidos en pesos.

2.5.8.2. Elaboración de las Placas

La elaboración de las placas es la misma para los dos (2) tipos de placas reforzadas elaboradas, a saber, placas reforzadas con malla plástica y placas reforzadas con fibra natural de Fique. Los moldes deberán ser colocados en un lugar seguro, estable, nivelado y limpio para el posterior vaciado del mortero. El mortero se vacía en los moldes, se compacta y se enrasa (Figura 5).

Las placas deberán ser desencofradas 48 horas después de su elaboración, procediendo a almacenarlas bajo el agua, en el tanque especial, para su posterior curado. Las placas serán retiradas del tanque al cumplir los 28 días de elaboradas. Ensayo de Flexión Biaxial con Carga Concéntrica de las Placas Reforzadas. Para este ensayo de flexión de las placas reforzadas se diseñó un dispositivo especial, que permitiera obtener datos de deformación en función de la carga de concéntrica aplicada. Este método de ensayo será aplicado a ambos tipos de placas reforzadas, es decir, tanto para las placas reforzadas con malla plástica, como para las placas reforzadas con fibra natural de Fique.

Una vez transcurrido el periodo de 28 días, se ensayaron las placas de los diferentes espesores en la máquina de ensayos universal. La máquina fue calibrada para realizar el ensayo y medir la deformación ocasionada a cada 20 kgf de fuerza normal aplicada.

Finalmente, la expresión de los resultados obtenidos para los dos (2) tipos de placas reforzadas ensayadas, con refuerzo de malla de plástico y con refuerzo de fibra natural de fique (Figuras 5 y 6), se encuentran mostrados y graficados en el apartado siguiente, correspondiente al análisis e interpretación de resultados.



FIGURA 5. Proceso secuencial gráfico que expone las formaletas de madera para desarrollo de placas con refuerzo de malla metálica; el pesaje de los distintos materiales (arena, cemento Portland gris y fibra natural de fique); vertido de los agregados con pala para la elaboración del mortero de arena y cemento reforzado con fibra natural de fique; toma de los cilindros de muestra de cada una de las mezclas de mortero realizadas en el laboratorio; Vaciado y acabado final de las placas de mortero reforzado realizadas en el laboratorio y, por último, en este proceso, el almacenaje y curado de las placas y cilindros de muestra en el tanque especial. Fuente: Elaboración propia.



FIGURA 6. Máquina de ensayos universal calibrada, con el dispositivo especial instalado y preparada para ensayar las placas reforzadas. Se resalta que las placas se colocaron en la máquina de ensayos universal, marca RIEHLE, para la rotura de las probetas a flexión biaxial con carga concéntrica, con un dispositivo cilíndrico con un peso de 3.18 kg y diámetro 9.61 cm, colocado en la cara superior de la placa, apoyado en el centro de la misma, que sirve como carga puntual para producir flexión biaxial. Fuente: Elaboración propia.

2.5.9. Método de Diseño y Elaboración de los Bloques de Relleno para Losas de Entrepiso y Techo

2.5.9.1. *Ensamble y Embalaje de las Botellas de Refresco de PET para el Bloque Tipo Piñata*

En función de los resultados obtenidos en los ensayos de flexión biaxial realizados a las placas de mortero reforzado se seleccionó, como la mezcla de mortero reforzado óptima o más adecuada, la mezcla de mortero de arena y cemento gris reforzada con fibras naturales de Fique. En la elaboración de la mezcla reforzada seleccionada para la construcción de los bloques piñata se

siguió un procedimiento muy similar al utilizado para la elaboración de las placas de mortero reforzado. Para la elaboración de los bloques piñata con relleno de botellas de PET se siguió el siguiente procedimiento (Figura 7):

1. Una vez conocido el peso y las dimensiones de las botellas PET de baja densidad, se procedió a colocarlas dentro de las cajas de cartón previamente acondicionadas, colocando dos (2) filas de cuatro (4) botellas cada una, para un total de 8 botellas de refresco de 2 litros de capacidad por caja. Las dimensiones del grupo o paquete de botellas, sin embalar, son: 24.0 cm de alto, 37.5 cm de longitud y 35.5 cm de profundidad.
2. Se realiza el proceso de embalaje de las botellas de PET de refresco dentro de las cajas de cartón previamente confeccionadas.
3. Luego de embalar y sellar bien las cajas se procede al pesaje de cada una de ellas.



FIGURA 7. Colocación final de las botellas de PET de refresco en la caja de cartón previamente acondicionada; Embalaje de las botellas de PET dentro de las cajas de catón con cinta plástica de embalar; Pesaje de las cajas de cartón con las botellas de PET incorporadas. Fuente: Elaboración propia.

2.5.9.2. Ensamblaje y Embalado de las Botellas de PEAD de Aceite Lubricante en Cajas de Cartón para la Elaboración de Bloques Tipo Tabelón

Se utilizaron los mismos equipos y herramientas menores utilizadas para el ensamblaje y embalado de las botellas de PET de refresco en cajas de cartón para la elaboración de los bloques tipo piñata. En este caso, las botellas de reciclaje utilizadas son botellas de PEAD de alta densidad que sirven como envase de aceite lubricante para motores de combustión a gasolina. El procedimiento de embalaje de las botellas de aceite lubricante para motor, se especifica a continuación (Figura 8):

162

1. Se colocan y organizan las botellas de PEAD de aceite lubricante de motor para su medición de ensamblaje dentro de las cajas de cartón, colocándose una (1) sola fila con cuatro (4) botellas de PEAD alineadas.
2. Una vez definidas las dimensiones finales del bloque tabelón, se efectúa el trazado para los cortes de las cajas y el ensamblaje de las botellas de PEAD en las cajas de cartón, según medidas.
3. Se procede al pesaje de la caja ensamblada, una vez finalizado el embalado de las botellas de PEAD de aceite lubricante.



FIGURA 8. Colocación y organización de los envases de PEAD de aceite lubricante para su ensamblaje dentro de las cajas de cartón, con el previo trazado de medidas finales de la caja de cartón para el embalaje y ensamblaje de las botellas de PEAD de aceite lubricante de motor; y finalmente, Pesaje de la caja, ya embalada, de relleno del bloque tipo tabelón. Fuente: Elaboración propia.

2.5.9.3. Elaboración del Encofrado para los Bloques Tipo Piñata

En la realización de esta actividad se utilizaron los mismos equipos y herramientas menores utilizadas en la elaboración del encofrado para los bloques tipo piñata, anteriormente listados. Adicionalmente se utilizaron marcos de perfiles de plástico rígido para la confección de los encofrados, en sustitución de la madera reciclada.

La elaboración de los bloques tipo piñata con mortero de arena y cemento y material de relleno reutilizable se realizó en el Laboratorio de Materiales y Ensayos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de los Andes, con la asistencia técnica y colaboración de los técnicos del laboratorio José Becerra y Oneyde Uzcátegui. Se utilizaron los mismos materiales y procedimientos ya descritos para la elaboración de las placas con Sisal o Fique, y la misma dosificación de arena y cemento de 5:1, es decir, cinco (5) partes de arena por una (1) parte cemento, tal como lo recomiendan López y Sifontes (2017) en su trabajo de grado.

El procedimiento seguido para la elaboración de la mezcla de mortero y toma de cilindros de muestra es idéntico al procedimiento seguido para la elaboración de las placas de mortero reforzado con fibras naturales de Sisal o Fique, antes indicado. En esta sección sólo se tratará el procedimiento para la elaboración de los bloques tipo Piñata, expuesto seguidamente (Figura 7):

1. Se vacía y distribuye la capa requerida de la mezcla de mortero reforzado con fibra natural de Fique, previamente preparada, en el fondo del encofrado, luego se coloca, debida y adecuadamente las cajas de relleno, previamente ensambladas, dentro del molde de encofrado, sobre la capa de mortero previamente colocada, tratando de que se mantengan uniformes las distancias entre la caja, el encofrado y el piso del fondo, a los fines de que los espesores de las paredes y del fondo sean los previstos y adecuados.

2. La mezcla de mortero reforzado con fibra natural de Fique, previamente preparada, se vacía en el encofrado, se distribuye y compacta, sobre y los alrededores de la caja de relleno, a través del método de la barra. La mezcla colocada en exceso es retirada con una regla de madera.
3. Los bloques tipo Piñata, una vez fraguados, se deben desencofrar 48 horas después de su fabricación, procediendo a colocarlos en cámara húmeda, manteniéndolos humedecidos con un rociador, al menos durante los siguientes siete (7) días, para que el mortero se consolide y endurezca con total normalidad, adquiriendo la resistencia deseada.
4. Los bloques tipo piñata, poco antes de su almacenamiento en cámara húmeda, son identificados mediante una codificación, la cual inicia con la letra “B” seguida del número de la muestra.
5. Una vez identificados los bloques tipo piñata, se procede con la medición de sus dimensiones finales y el pesaje de los mismos.

2.5.9.4. Elaboración y Curado de los Bloques Tipo Tabelón. Al igual que en el caso de los bloques tipo piñata, la elaboración de los bloques tipo tabelón con material reutilizable se realizó en el Laboratorio de Materiales y Ensayos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de los Andes, con la asistencia técnica y colaboración de los técnicos del laboratorio José Becerra y Oneyde Uzcátegui. Se utilizaron los mismos materiales y procedimientos ya descritos para la elaboración de las placas con Sisal o Fique, y la misma dosificación de arena y cemento de 5:1, es decir, cinco (5) partes de arena por una (1) parte cemento, tal como lo recomiendan López y Sifontes (2017).

El procedimiento seguido para la elaboración de la mezcla de mortero y toma de cilindros de muestra es idéntico al procedimiento seguido para la elaboración de las placas de mortero reforzado con fibras naturales de Sisal o fique. En esta sección sólo se tratará sobre el procedimiento para la elaboración de los bloques tipo Tabelón, con las condiciones y medidas adaptadas al tamaño de bloque Tabelón seleccionado, en este caso de dimensiones

aproximadas de 26 x 50 x 11.5 cm x cm x cm. En este sentido, se siguió el procedimiento siguiente:

1. Se vacía y distribuye la capa requerida de la mezcla de mortero reforzado con fibra natural de Fique, previamente preparada, en el fondo del encofrado, luego se coloca, debida y adecuadamente la caja de relleno, previamente ensamblada, dentro del molde de encofrado, sobre la capa de mortero previamente colocada, tratando de que se mantengan uniformes las distancias entre la caja, el encofrado y el piso del fondo, a los fines de que los espesores de las paredes y del fondo sean los previstos y adecuados.
2. La mezcla de mortero reforzado con fibra natural de Fique, previamente preparada, se vacía en el encofrado, se distribuye y compacta, sobre y los alrededores de la caja de relleno, a través del método de la barra. La mezcla colocada en exceso es retirada con una regla de madera.
3. Los bloques tipo Tabelón, una vez fraguados, se deben desencofrar 48 horas después de su fabricación, procediendo a colocarlos en cámara húmeda, manteniéndolos humedecidos con un rociador, al menos durante los siguientes siete (7) días, para que el mortero se consolide y endurezca con total normalidad, adquiriendo la resistencia deseada.

166

2.5.10. Ensayos de Laboratorio en los Bloques

2.5.10.1. Ensayo a Compresión con Carga Concéntrica de los Bloques Tipo Piñata

Con este ensayo se quiere conocer la carga concéntrica máxima que pueden soportar los bloques sometidos al estado de esfuerzos, producto de la flexión uniaxial inducida por dicha carga concéntrica, ejercida a través de la máquina universal de ensayos, marca TINIUS OLSEN, del Laboratorio de Materiales y Ensayos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Los Andes, ULA. La carga aplicada en las condiciones establecidas en el laboratorio trata de simular, de la manera más precisa y realista posible, las condiciones de trabajo y carga

máxima que experimentarán los bloques elaborados, tipos Piñata y Tabelón, durante el proceso de construcción de una losa nervada de techo o entrepiso que use este tipo de bloques como elementos de relleno (Figura 6).

2.5.10.2. Ensayo a Flexión Uniaxial con Carga Concéntrica de los Bloques Tipo Tabelón

Al igual que en el caso de los bloques tipo piñata, con este ensayo se quiere conocer la carga puntal concéntrica máxima que pueden soportar los bloques tipo tabelón, sometidos a flexión uniaxial con carga concéntrica, a través de la máquina de ensayos universal, marca TINIUS OLSEN del Laboratorio de Materiales y Ensayos de la Universidad de Los Andes. Asimismo, se utilizaron los mismos materiales y procedimientos ya descritos para el ensayo a flexión biaxial con carga concéntrica de los bloques tipo piñata.

El procedimiento seguido para el ensayo a flexión uniaxial con carga concéntrica de los bloques tipo tabelón es idéntico al procedimiento seguido para el ensayo a flexión biaxial con carga concéntrica de los bloques tipo piñata. En esta sección sólo se relacionará un resumen de aquellos detalles adicionales de procedimiento dignos de mencionar destacar relacionados con este ensayo. En este sentido, se siguió el procedimiento siguiente:

1. Conocidas las medidas del bloque tipo tabelón, se trazan líneas con la ayuda de la tiza para denotar 6 partes iguales en todo lo largo, es decir, seis (6) segmentos a cada $L/6$, de 8.33 cm de longitud cada uno.
2. Una vez ubicadas las líneas divisorias, se coloca el bloque sobre los apoyos, en las últimas líneas, líneas extremas del bloque, centrándolo, luego, se coloca, en la parte central superior del bloque, la rueda de carretón que simulará la carga puntal más desfavorable sobre el bloque. Previamente, debajo de la rueda se colocó una pequeña placa metálica y un pedazo de neopreno para lograr una distribución uniforme de la carga actuante sobre el área bajo el bloque a ensayar.

3. Los bloques son ensayados bajo flexión uniaxial con carga concéntrica hasta que fallen.
4. Los bloques tipo Tabelón, poco antes de su almacenamiento en cámara húmeda, son identificados mediante una codificación, la cual inicia con la letra “T” seguida del número de la muestra, tal como se hizo para las muestras de los bloques tipo Piñata.
5. La expresión de los resultados del ensayo de flexión biaxial con carga concéntrica, serán presentados en el apartado correspondiente al análisis e interpretación de resultados.

2.5.11. Metodología Análisis de Ciclo de Vida – ACV Coclowen Simplificado

Según la Norma ISO (<http://www.iso.org>, citado por Cloquell, Contreras, Owen y Vivancos (2006), se entiende por Análisis de Ciclo de Vida (ACV) “como la recopilación y evaluación de las entradas y salidas y los potenciales impactos medioambientales del Sistema del Producto a lo largo de su ciclo de vida”

Además, el Análisis del Ciclo de Vida o, como se conoce por sus siglas ACV, es un proceso objetivo que nos permite evaluar las cargas ambientales que están asociadas a un producto en particular, proceso o actividad, identificando y cuantificando tanto el uso de materia y energía como las emisiones que este proporciona al entorno, para determinar el impacto de ese uso de recursos y esas emisiones y para evaluar y llevar a la práctica estrategias de mejora ambiental.

De acuerdo con los informes técnicos de la Comisión Europea COM 302 (2003); COM 666 (2005); COM 670 (2005) y COM 397 (2008), citados por CIRCE (2012), en la actualidad, la metodología del Análisis de Ciclo de Vida, ACV, constituye el mejor marco disponible para evaluar los impactos ambientales potenciales de cualquier tipo de actividad, producto o servicio sin límites geográficos, funcionales o temporales, ya que se examinan todos los procesos seguidos por las materias primas, desde su extracción, transformación y uso hasta su retorno a la naturaleza en forma de residuos.

El ACV incluye el ciclo completo del producto, proceso o actividad, teniendo en cuenta las etapas de extracción y procesado de materias primas, producción, transporte y distribución, uso, reutilización y mantenimiento, reciclado y disposición final (Figura 9). Por ello, el método ACV-Coclowen, es una herramienta metodológica derivada del ACV creada para la realidad Latinoamericana, enfocada en el campo del diseño industrial y proyectado al sector de la construcción de edificaciones y objetos con materia prima sostenibles.



FIGURA 9. Ciclo de vida de un producto industrial. Fuente: CIRCE (2012).

Esta herramienta nos permite valorar, cuantificar y desarrollar proyectos habitacionales acorde con las nuevas exigencias mundiales, por ser proyectos que requieren el uso de materia prima natural, este sistema identifica cuales son las etapas que requieren más cuidado al momento de la producción tratando de corregir aquellos impactos ambientales y minimizarlos lo más posible. Todo esto englobado con los estudios que generen impactos al ambiente, desde la obtención de todas las materias primas que conforman el producto industrial final, hasta su disposición final, cuando éste cumpla su fin de servicio; permitiendo analizar cuáles son los puntos críticos y posibles

medidas a tomar para mejorar la eficiencia sin descuidar el daño que pueda llegar a generarse por las distintas actividades realizadas.

El análisis del ciclo de vida, ACV, estudia los aspectos ambientales y los impactos potenciales a lo largo del ciclo de vida de un producto o de una actividad, es decir, como se expuso anteriormente, toda la historia del producto, desde su origen como materia prima hasta su final como residuo. Se tienen en cuenta todas las fases intermedias como transporte y preparación de materias primas, manufactura, transporte a mercados, distribución, uso, entre otros.

En un ACV completo se atribuyen a los productos todos los efectos ambientales derivados del consumo de materias primas y de energías necesarias para su manufactura, las emisiones y residuos generados en el proceso de producción, así como los efectos ambientales procedentes del fin de vida del producto cuando este se consume o no se puede utilizar (Figura 2.8). Además, el ACV consiste por tanto en un tipo de contabilidad ambiental en la que se cargan a los productos los efectos ambientales adversos, debidamente cuantificados, generados a lo largo de su ciclo de vida.

Las categorías generales de impactos medioambientales que precisan consideración incluyen el uso de recursos, la salud humana y las consecuencias ecológicas (ISO International Standard, 1997). La complejidad del ACV requiere un protocolo al cual deberá ajustarse todo estudio de ACV. Dicho protocolo se haya establecido en la normativa elaborada por la Organización de Normas Internacionales, en inglés, International Standards Organization (ISO), en las cuales las más importantes son:

ISO 14040 (1997): especifica el marco general, principios y necesidades básicas para realizar un estudio de ACV, no describiéndose la técnica del ACV en detalle (ISO-14040 1997).

ISO 14041 (1998): en esta normativa se especifican las necesidades y procedimientos para elaborar la definición de los objetivos y alcance del

estudio y para realizar, interpretar y elaborar el informe del análisis del inventario del ciclo de vida, ICV (LCI) (ISO-14041, 1998).

ISO 14042 (2000): en ella se describe y se establece una guía de la estructura general de la fase de análisis del impacto, AICV (LCIA). Se especifican los requerimientos para llevar a cabo un AICV y se relaciona con otras fases del ACV (ISO-14042, 2000a).

ISO 14043 (2000): esta normativa proporciona las recomendaciones para realizar la fase de interpretación de un ACV o los estudios de un ICV, en ella no se especifican metodologías determinadas para llevar a cabo esta fase (ISO-14043, 2000b).

Sumado a ello, se han elaborado otros documentos técnicos para ayudar a la elaboración de estudios de ACV, como los que se exponen a continuación:

ISO/TR 14049 (1998): este informe técnico proporciona ejemplos para realizar un ICV de acuerdo con ISO 14041. Estos ejemplos deberán entenderse como no exclusivos y que reflejan parcialmente un ICV (ISO-14049, 1998).

ISO TR 14047 (2002): proporciona un ejemplo de cómo aplicar la norma ISO 14042 (ISO-14047, 2002).

ISO/CD TR 14048 (2002): este documento proporciona información en relación con los datos utilizados en un estudio de ACV (ISO-14048, 2002).

El ACV puede dividirse en cuatro fases: objetivos y alcance del estudio, análisis del inventario, análisis del impacto e interpretación.

Objetivos y alcance de estudio. En esta fase se define el tema de estudio y se incluyen los motivos que llevan a realizarlo. Es importante resaltar que un ACV no sirve para comparar productos entre sí, sino servicios y/o cantidades de producto que lleven a cabo la misma función. Por ejemplo, no sirve para comparar 2 productos en vista de cual es peor, si no de la utilidad que generan los mismos.

Inventario. Esta fase comprende la obtención de datos y los procedimientos de cálculo para identificar y cuantificar todos los efectos ambientales adversos asociados a la unidad funcional. De una forma genérica denominaremos estos efectos ambientales como "carga ambiental". Esta se define como la salida o entrada de materia o energía de un sistema causando un efecto ambiental negativo. Con esta definición se incluyen tanto las emisiones de gases contaminantes, como los efluentes de aguas, residuos sólidos, consumo de recursos naturales, ruidos, radiaciones, olores, entre otros.

Análisis del impacto. La estructura de esta fase viene determinada por la normativa ISO 14042, distinguiendo entre elementos obligatorios y elementos opcionales. Los elementos considerados obligatorios son:

Selección de las categorías de impacto, indicadores de categoría y modelos.

Clasificación. En esta fase se asignan los datos procedentes del inventario a cada categoría de impacto según el tipo de efecto ambiental esperado. Una categoría de impacto es una clase que representa las consecuencias ambientales generadas por los procesos o sistemas de productos.

Caracterización. Consiste en la modelización, mediante los factores de caracterización, de los datos del inventario para cada una de dichas categorías de impacto. Cada categoría de impacto, ejemplo: "Emisión de polvillo por lijado de las chancas" precisa de una representación cuantitativa denominada indicador de la categoría, ej. "Emisión de polvillo". La suma de diferentes intervenciones ambientales para una misma categoría se hará en la unidad del indicador de la categoría que se le otorga, en base a 1, 10 o 100, queda al criterio del investigador. Para así crear una cuadrilla que genere una sumatoria y nos muestre la gravedad del impacto.

Interpretación. Esta es la fase de un ACV en la que se combinan los resultados de análisis del inventario con la evaluación de impacto. Los resultados de la

interpretación pueden adquirir la forma de conclusiones y recomendaciones para la toma de decisiones. Permite determinar en qué fase del ciclo de vida del producto se generan las principales cargas ambientales y por tanto que puntos del sistema evaluado pueden o deben mejorarse. En los casos de comparación de distintos productos se podrá determinar cuál presenta un mejor comportamiento ambiental. Dependiendo de los datos arrojados por los análisis se puede localizar que puntos son más vulnerables en el proceso y a partir de ello se toman decisiones que ayuden a disminuir los impactos ocasionados, tomando medidas que controlen y reduzcan las cargas ambientales.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. EL ECODISEÑO COMO FUNDAMENTO DE LA INVESTIGACIÓN

En un mundo en que las afectaciones ambientales son cada vez mayores se tiene que buscar soluciones en materia de reciclaje y reutilización de los residuos sólidos urbanos. La sobrepoblación, las actividades humanas modernas y el consumismo provocan un considerable aumento en la cantidad de residuos generados, razón por la cual el hombre contemporáneo fabrica, usa y consume infinidad de artículos para satisfacer una creciente demanda, lo que conlleva a la acumulación de un gran volumen de desechos. Aunado a esta situación, la ineficiencia con que los residuos urbanos e industriales son manejados, el resultado es la contaminación de aguas, suelos y aire, manifestándose en problemas de salud pública y efectos adversos sobre el ambiente, conflictos sociales y políticos.

Por consiguiente, en la actualidad existe un gran interés por la conservación del medio ambiente. Hay una gran cantidad de materiales que pueden ser aprovechados nuevamente por diferentes métodos de reciclaje y reutilización, siendo uno de ellos el incorporarlos como sustitutos de agregados en la construcción, puesto que los recursos que intervienen en este proceso suelen estar en riesgo de agotarse con el paso del tiempo.

En la actualidad venezolana, producto de la grave situación económica por la cual atraviesa y afecta a todo el contexto social y productivo nacional, y en especial la industria inmobiliaria y de la construcción, se tiene escasez de materiales de construcción por falta de materia prima para la fabricación de los mismos. El uso de materiales para la construcción no ha experimentado una variación considerable, de bahareque a piedra, de piedra a bloques de cemento y ladrillos refractarios, pero la utilización de materiales alternativos es limitada, ya sea por escasa variedad en el mercado de la construcción, por falta de un soporte adecuado de investigación al respecto o por costumbre de usuarios y constructores. El producto que más se utiliza es el bloque de concreto y de arcilla, con una amplia diversidad, existiendo, entre otros, bloques para muros con funciones estructurales y bloques que precisan de una cara especialmente preparada para no requerir de revestimiento.

De allí que, el tema de la utilización de los desechos sólidos urbanos e industriales sea de gran relevancia hoy por hoy, por lo cual es fundamental continuar el proceso de concienciación acerca de reducir, transformar, reciclar y reutilizar los materiales que se adquieren para satisfacer las necesidades personales, los cuales en su mayoría son artículos que tienen componentes plásticos que tardan años para descomponerse. De ahí que, la reutilización de botellas plásticas de consumo masivo como las de Polietileno Tereftalato (PET), en la manufactura de productos para la construcción, sea una alternativa viable, ya que permite disminuir significativamente el volumen de los residuos sólidos generados en los botaderos, además de tener una alternativa económica y duradera para la construcción y amigable con el medio ambiente. En relación con lo anterior, la presente investigación se enfoca en analizar mezclas de mortero con botellas plásticas (PET), con el fin de reutilizar este material que hoy es uno de los que causan mayor impacto ambiental en el país y a nivel mundial.

Lo antes dicho, es en virtud de que en la gran mayoría de los países en vías de desarrollo industrial, entre ellos Venezuela, estos productos no se están reinsertando como materias primas recicladas o reutilizadas, constituyendo un

serio problema ecológico, higiénico, sanitario, político, social y económico, pues el costo de la recolección, transporte, y eliminación es cada vez más elevado y desde el punto de vista estructural se desaprovecha su potencial como materia prima para la construcción.. El uso de las botellas de PET en el proceso constructivo surge por iniciativas ya demostradas desde el punto de vista técnico con el trabajo de Contreras *et al.* (2012), que, entre otras experiencias, es uno de los pioneros que, internacionalmente reportan el propósito de transformar y aprovechar los desperdicios disponibles en el lugar, así como brindar una fuente de empleo a la población local.

Considerando los antecedentes de los últimos tiempos respecto al deterioro ambiental en Venezuela y el resto del mundo, así como el aumento de población, la demanda en el sector de la construcción y las investigaciones y diseños ecoinnovadores como los que viene adelantando el Laboratorio de Sostenibilidad y Ecodiseño de la Universidad de Los Andes (ULA), Mérida, Venezuela y Universidad Politécnica de Valencia, España, a partir del uso de materiales de reciclaje y reutilización de residuos urbanos, industriales y agroindustriales, - y que en esta oportunidad involucra a la Escuela de Ingeniería Civil de la ULA-, surge como proyecto ecoinnovador la reutilización del material plástico PET del tipo botellas de refrescos de 2 litros y botellas de aceite hidráulico. Estos envases se unen, se revisten con cartón reutilizado y malla y se frisan con una mezcla de mortero convencional. Conociendo el comportamiento de la mezcla del mortero con adición de agregado no convencional y con el propósito de darle un uso adecuado con los resultados de los análisis de laboratorio, se considera que el mismo puede llegar a disminuir el costo y la densidad del mortero, así como resolver porcentualmente los problemas del medio ambiente.

De ahí que, esta investigación cobre notable importancia por la conjunción de aspectos, que involucra la Ecología Industrial con visión de futuro, al proyectar la posibilidad de consolidar micros y pequeñas empresas manufactureras de estos materiales de construcción a precios competitivos y buena calidad,

incorporando mano de obra desempleada que habita en ámbitos urbanos populares, articulados a un sistema integral de manejo de residuos sólidos.

El presente trabajo se plantea como meta: contribuir con el mejoramiento del medio ambiente y un mejor estilo de vida, aportando beneficios en el sector de la construcción. A lo largo de muchos años, debido al avance de la tecnología, los hábitos de gran parte de la población mundial se han modificado, predominando prácticas como el consumismo, que han conducido a una producción desmedida de productos hechos o derivados del plástico para satisfacer las necesidades personales, sin tener en cuenta la huella ecológica ocasionada.

Según el reporte anual de la empresa Amcor, una de las dos (2) mayores y más grandes empresas proveedoras de botellas PET para Latinoamérica y el Caribe, para junio del año 2016 Venezuela figura entre los países del área con mayor consumo anual de botellas PET por habitante, con 5,30 kg/año/hab, ocupando el cuarto lugar de la región, incluidos los países de la América Central, Estados Unidos y México, tal y como se ilustra en la figura 10.

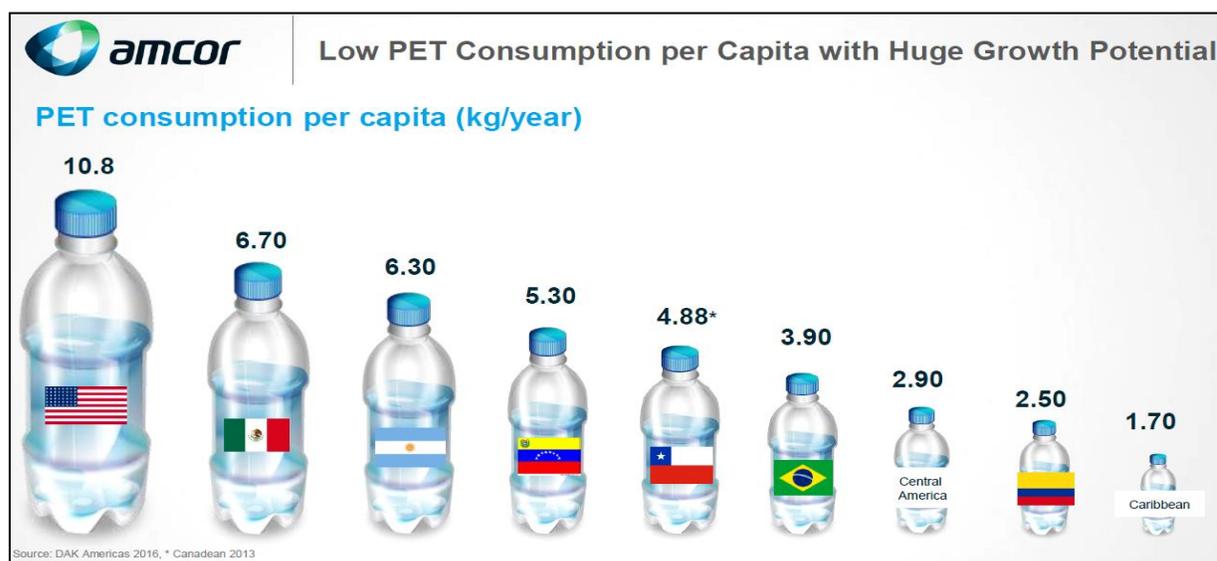


FIGURA 10. Consumo de botellas PET por habitante y por año en Latinoamérica y el Caribe. Fuente: Amcor (2016).

En la actualidad, se considera que el reciclaje y la reutilización de materiales no degradables, como el plástico, ayudarán a disminuir el calentamiento global y otros problemas ambientales. Sin embargo, el sector de la construcción de viviendas es uno de los que menos ha aplicado tecnologías que permitan hacerlo realidad, puesto que en Venezuela y América Latina se mantiene vigente la frase expuesta por Ramírez (2012): “La basura es dinero y la gente no lo sabe”.

Este trabajo favorecerá el impulso de dichas tecnologías, ya que estudia formas de aprovechamiento de las potencialidades de materiales considerados “basura”, en la elaboración de elementos prefabricados para entrepisos y techos.

Teniendo presente que el mortero es un material esencial para el sector de la construcción, es necesario hacer investigaciones para poder hallar técnicas, tecnologías y la posible utilización de otros productos no convencionales, en este caso el plástico, que permitan mezclas de mortero más adecuadas, eficientes, livianas, ecológicas y económicas.

3.1.1. Reutilización de botellas PET en la elaboración de paneles

El Polietileno Tereftalato (PET) fue producido por primera vez en 1941 por los científicos británicos Whinfield y Dickson, quienes lo patentaron como polímero para la fabricación de fibras. Se considera que un kilo de PET está compuesto por 64% de petróleo, 23% de derivados líquidos del gas natural y 13% de aire. Su desarrollo fue consecuencia de que Inglaterra estaba en plena Segunda Guerra Mundial y existía una apremiante necesidad de buscar sustitutos para el algodón proveniente de Egipto.

Su historia indica de manera sinóptica que a partir de 1946 se empezó a utilizar industrialmente como fibra y su uso textil ha proseguido hasta el presente. En 1952 se comenzó a emplear como película para envasar alimentos. Pero la aplicación que le significó su principal mercado fue en envases rígidos, a partir

de 1976. Pudo abrirse camino gracias a su aptitud para la fabricación de botellas para bebidas poco sensibles al oxígeno, por ejemplo, el agua mineral y refrescos carbonatados. Desde principios del año 2000 también es utilizado para el envasado de cerveza.

El PET empezó a ser utilizado como materia prima en fibras para la industria textil y la producción de películas fotosensibles, pero hoy día es uno de los plásticos favoritos para otros usos, como la producción de envases diversos, botellas plásticas para el consumo de bebidas, bandejas y láminas. Se puede inyectar, extruir, laminar y soplar, además de modificar varias veces con fuerza mecánica o calorífica, haciéndolo un plástico 100% reciclable.

Para Bonnet (2005), el PET es un material caracterizado por su gran ligereza y resistencia mecánica a la compresión y a las caídas, alto grado de transparencia y brillo, conserva el sabor y aroma de los alimentos, es una barrera contra los gases, es reciclable 100% y con posibilidad de producir envases reutilizables, lo cual ha llevado a desplazar a otros materiales como, por ejemplo, el PVC.

Distintos estudios han demostrado que la botella de PET es muy competitiva por el bajo consumo de energía necesario en su producción, y en la generación de residuos en comparación con otros materiales. En este aspecto, los envases de PET son más amigables con el ambiente en relación a los envases fabricados con otros materiales por ejemplo el vidrio y el aluminio que requieren mayor consumo de energía para su transformación.

Además, debido a su menor peso, el consumo de combustible y la emisión de contaminantes durante su transporte es menor que cuando se comparan con envases equivalentes de vidrio (el segundo material más utilizado en la elaboración de envases para agua y refresco y el más recomendado por cuestiones de salud). Un camión que transporta refresco en envase de vidrio lleva varias toneladas más de peso muerto que el que transporta botellas de PET (un envase de PET es aproximadamente 7 veces más ligero) (Ramírez, 2011).

En un estudio llevado a cabo por la Franklin Associates Limited 2003 se comparó la eficiencia en cuanto a energía consumida de envases equivalentes de diferentes materiales. El resultado indica que el envase de PET requiere menos energía que la necesaria para la producción de envases de aluminio y de vidrio. Además, se observó que el impacto ambiental de los envases de PET es menor.

Igualmente, el PET tiene una gran versatilidad tecnológica y dependiente del producto a envasar, de las condiciones del mercado (climatología, temperatura, humedad, condiciones de almacenamiento, nivel de automatización y de la calidad del envasado) y de su diseño, lo que permite optimizar el peso del envase y adecuarlo a las necesidades requeridas. Hoy por hoy, la tecnología de producción de envases ha permitido esta optimización en el peso de los envases sin detrimento de poner en el mercado una amplia colección de diseños atractivamente comerciales.

De esta forma, la evolución tecnológica ha permitido el desarrollo de las siguientes etapas:

1. Sustitución de otros materiales y evolución del peso del envase de PET.
2. Evolución de materiales constituyentes o relacionados con el envase.
3. Impacto en la logística – distribución.
4. Desarrollo de la industria y de la tecnología de reciclado.
5. Desarrollo de mercados usuarios de PET.

Según Serrano (2001), la producción de resina para botellas gaseosa tenía un incremento de 11,3% anual en 1999; mientras que la tasa de aumento en el reciclaje de las mismas botellas de PET llegaba a 10,5%. Por otro lado, ese mismo año, el uso de la resina para hacer botellas de agua se estaba incrementando a más del 30%.

En la última década el PET ha sido el material más utilizado e importante en el mundo y en el mercado de las botellas de agua, refrescos y alimentos con una producción aproximada de 11 millones de toneladas, debido a su buena

combinación de propiedades como la transparencia, baja densidad, alta resistencia, flexibilidad de formatos, buenas propiedades organolépticas, entre otros.

De igual forma, existen estudios de la necesidad de reciclar y reutilizar los materiales PET que almacenan líquidos, ya que según estudios de la Food and Drug Administration de Estados Unidos (FDA), pequeñas partículas de PET pueden desprenderse y quedar flotando en los alimentos. Las consecuencias en la salud después de la ingestión continua de estas partículas van desde afecciones respiratorias, hasta problemas en el desarrollo del feto.

Este producto presenta una gran problemática, debido a que tarda 100 a 1.000 años en degradarse incluyendo su acelerada demanda y producción, lo que resulta que se incrementa el impacto ambiental, ya que, para producir 1.000 millones de botellas se requieren 24 millones de galones de petróleo, entre otras sustancias tóxicas, metales pesados, químicos y pigmentos que permanecen en el aire.

Estas botellas al ser desechadas terminan en un vertedero, donde el agua de lluvia fluye a través de los residuos de la misma y absorben los compuestos solubles de agua que estos contienen y que son altamente tóxicos; juntos crean un líquido llamado Lixiviado, dicho líquido pasa a las napas subterráneas, al suelo y luego a las corrientes de agua causando daño al ecosistema y a la vida silvestre.

A principios del siglo XXI el profesor Takamatsu *et ál.* (2003), obtuvieron por primera vez un concreto polimérico a partir de botellas de PET. Los concretos poliméricos sólo se usan en pequeña escala y en limitadas aplicaciones en las que el beneficio de sus propiedades físicas supera su elevado costo con respecto al concreto elaborado con cemento Portland (de cinco a seis veces más caro), pero este costo se ve enormemente disminuido mediante la elaboración de los polímeros a partir del reciclado del Polietileno Tereftalato (PET). **Con la creación de este cemento se logra atacar parte de un importante problema de desechos sólidos a un costo muy bajo.**

A través de la descomposición química del PET se obtiene poliéster insaturado el cual, mediante entrecruzamiento, forma una especie de red tridimensional resultando una estructura interconectada, amplia y muy fuerte. Si esta matriz es llenada con arena y grava, el producto resultante es un concreto polimérico, ya que la pasta de agua - cemento es sustituida por el polímero obtenido del reciclado del PET.

Por su parte, en el año 2002, Iván Escalona realizó en México D.F, una investigación descriptiva titulada *“Producción química: El mundo de los plásticos”*, cuyo objetivo era describir las propiedades de los plásticos, así como sus orígenes y utilidades. Su metodología consistió en el análisis bibliográfico de diversas fuentes para la obtención de conceptos y la descripción de los compuestos químicos que conforman los diversos tipos de plásticos.

El antecedente anteriormente mostrado se relaciona con la presente investigación debido a que en la misma se utilizan materiales descritos en el antecedente mostrado, por lo que el mismo resulta un excelente sustento teórico que puede ser tomado en cuenta a la hora de llevar a cabo la experimentación.

En Mendoza, Argentina, Gaggin *et al.* (2006), realizaron una investigación titulada *“Ladrillos, bloques y placas con plásticos reciclados para viviendas de interés social”*, con el fin de utilizar plásticos reciclados como áridos en mezclas cementicias para fabricar mampuestos y placas, aplicables en cerramientos laterales no portantes. Sus objetivos fueron abaratar los costos en la construcción de viviendas de interés social, dar un destino útil, con una visión ecológica, a parte de los residuos que contaminan el ambiente y generar nuevas fuentes de trabajo y organización comunitaria en sectores de escasos recursos.

Su metodología consistió en seleccionar los residuos plásticos, los cuales se trituran con un molino especial y así se incorporan a mezclas cementicias, sin necesidad de un lavado previo (salvo en el caso que se utilicen residuos muy contaminados tomados de la basura, sin un acopio separado). No es necesario retirar rótulos y tapas de los envases. Para la fabricación de los elementos

constructivos se utiliza un procedimiento similar al de un hormigón común, pero reemplazando áridos por plásticos reciclados. Aditivos químicos se incorporan al agua de mezclado como acelerantes de fraguado, dependiendo de la temperatura ambiente. Gracias a lo que se observó en la experimentación, se llegó a la conclusión de que los materiales plásticos reciclados (en este caso PET), pueden ser utilizados como áridos en mezclas cementicias para fabricar mampuestos y placas, aplicables en cerramientos laterales no portantes.

Este antecedente se relaciona con la presente investigación debido a que se pretende reutilizar elementos plásticos reciclables y reciclados, para fabricar bloques de construcción ecológicos y económicos. También contribuye a la misma, debido a que sus técnicas empleadas pueden servir como base para la metodología que se empleará en esta investigación.

Gaggino Rosana y otros (Gaggino *et al.*, 2007) desarrollaron la “Aplicación de material de plástico reciclado en elementos constructivos a base de cemento”, con el fin de demostrar la posibilidad de utilizar plásticos reciclados PET como una alternativa ecológica para la fabricación de elementos de construcción a base de cemento (Figura 11).



FIGURA 11. Elementos constructivos fabricados con plásticos reciclados. Fuente: Gaggino *et al.*, 2007.

Sus objetivos fueron: solución del déficit habitacional y la desocupación en Argentina, impulso de tecnologías ambientalistas dentro de la industria de la construcción, desarrollo de nuevos procedimientos para elaborar elementos

constructivos buscando descontaminar el ambiente. En el curso de la investigación realizada obtuvieron piezas prefabricadas consistentes en un ladrillo de 5,5 cm x 26,2 cm; bloques de 20 cm x 20,5 cm; y placas de 240 cm x 28 cm x 5,6 cm.

Otro ejemplo es el realizado por Contreras Owen *et al.* (2012), en la investigación titulada *Elaboración de panel Aislante Acústico y térmico a partir de la reutilización de botellas plásticas de polietileno Tereftalato (PET)*. La finalidad de esta investigación fue buscar solución a dos problemas: el impacto ambiental por residuos sólidos y el déficit de elementos constructivos que posean propiedades de aislamiento térmico y acústico para la fabricación de viviendas en áreas urbanas y rurales (Figura 12).

183



FIGURA 12. Formaleta con el vaciado de la mezcla sobre las botellas. Contreras Owen *et al.* (2012).

En el diseño experimental se establecen dos variables independientes: aislamiento acústico y aislamiento térmico y cuatro variables dependientes: nivel de ruido exterior y nivel de ruido interior, temperatura ambiente exterior y temperatura ambiente interior. Diseñaron once (11) alternativas y fabricaron igual cantidad de tipos de paneles con el interior de botellas y un friso de aglomerante de cal, cemento y arena. Lo evaluaron aplicando de decisión multicriterio con el programa Expert Choice. Los resultados que obtuvieron

fueron disminución de la temperatura interior en 14,3 °C, y sumado a ello permiten un aislamiento acústico de 20 dB.

De igual forma, el Laboratorio de Sostenibilidad y Ecodiseño de la Universidad de Los Andes y creado en convenio en 2009 con la Universidad Politécnica de Valencia, ha desarrollado en los últimos años una buena cantidad de productos ecoinnovadores a partir del uso de diversos tipos de residuos plásticos para entrepisos, techos y paredes, con notable éxito demostrado en su funcionalidad.

184

3.2. RESULTADOS DE LOS COMPONENTES Y DE LOS BLOQUES TABELON Y PIÑATA

3.2.1. Resistencia de los Cilindros con Mezcla Patrón y Mezcla de Fibrocemento

Los ensayos fueron realizados una vez transcurridos 28 días de su elaboración, con esto se intenta valorar los resultados de resistencia de cada mezcla y la firmeza del Figue al transcurrir el tiempo.

En las figuras 13 y 14, se muestran los valores de esfuerzo-deformación alcanzados durante los ensayos de compresión para los siete (07) cilindros con la mezcla patrón y once (11) cilindros de la mezcla de Fibrocemento. Se muestran los resultados en una misma gráfica con el propósito de simplificar, facilitar su interpretación y comparación.

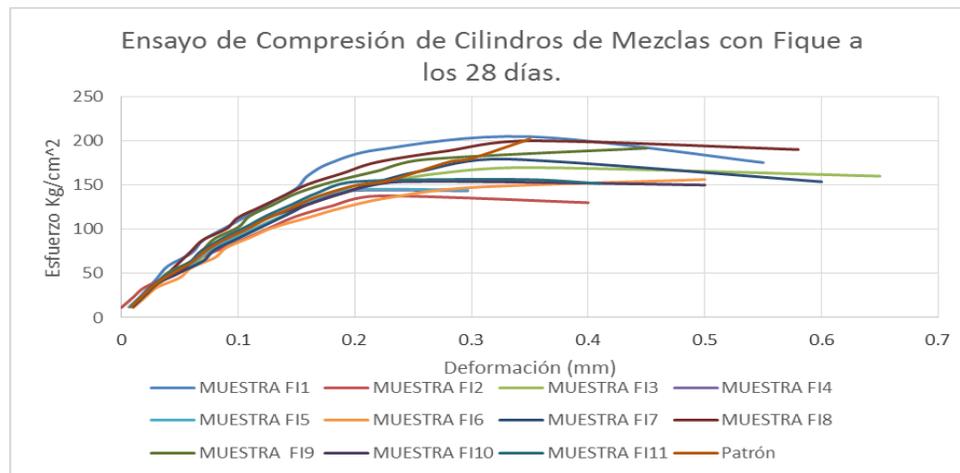


FIGURA 13. Ensayo a compresión de muestra de Mortero de Fibrocemento con dosificación 5:1., y 230 gr de fibra. Fuente: Elaboración propia.

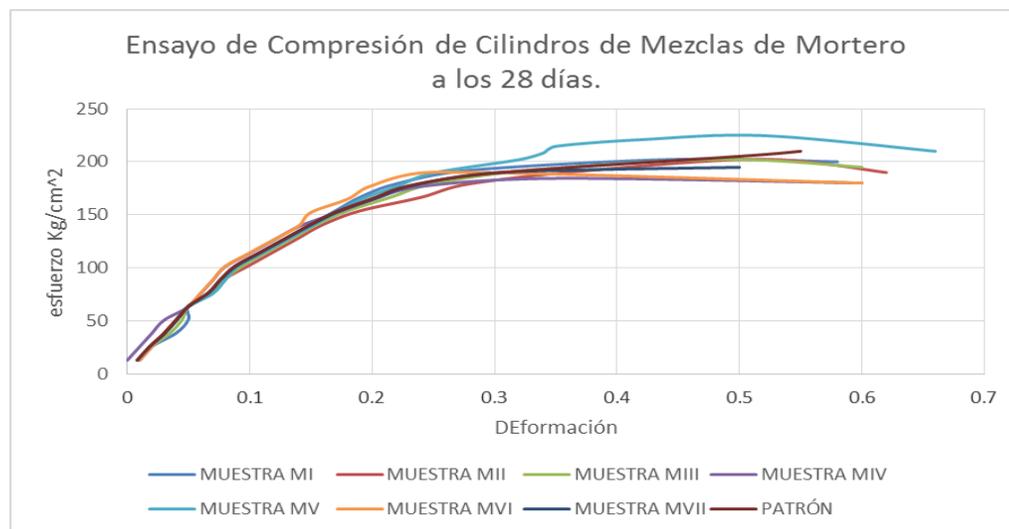


FIGURA 14. Ensayo a compresión de muestra de Mortero Patrón con dosificación 5:1. Fuente: Elaboración propia.

En las gráficas 13 y 14, se evidencia que las muestras para mortero de mezcla patrón tienen mejor comportamiento con relación a la resistencia a la compresión que las muestras con mortero de Fibrocemento.

En la figura 15, se comparan los resultados de ambas mezclas. Se destaca el comportamiento que obtuvo la mezcla patrón; así como la sucesión de los ensayos a compresión uniaxial de los cilindros de Mortero Patrón y Mortero de Fibrocemento, una vez transcurridos 28 días de su elaboración. En la figura 16, se observan en parte de las probetas cilíndricas las roturas de 35 grados con respecto a la horizontal.

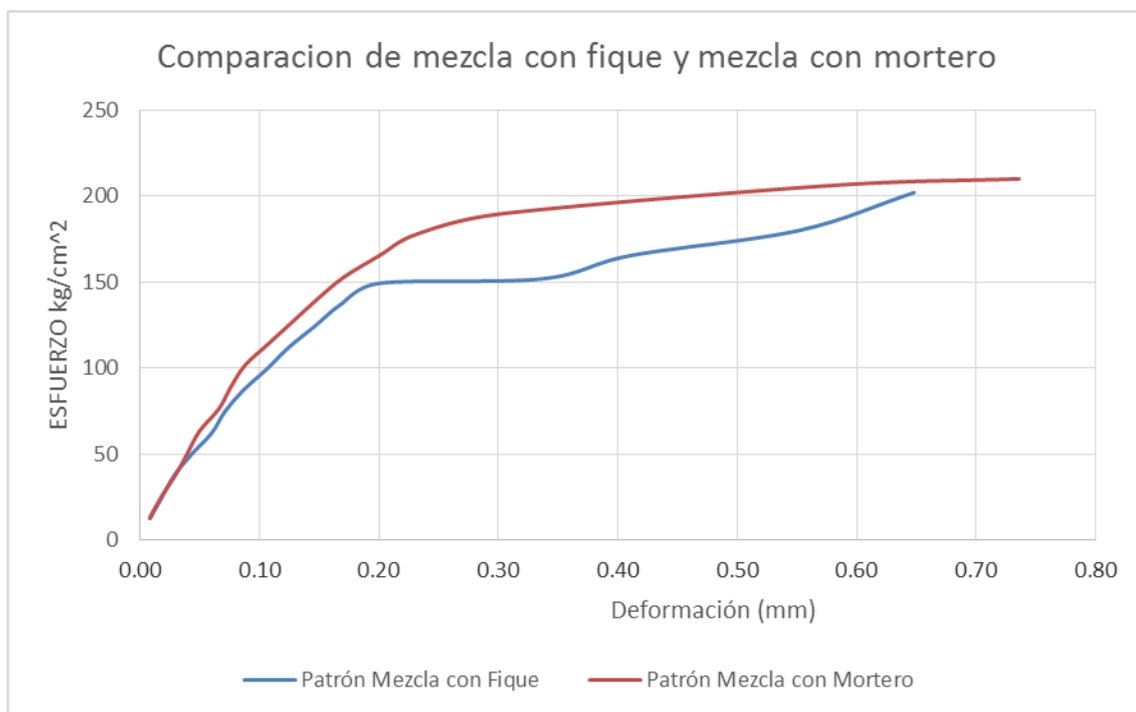


FIGURA 15. Comparación de ensayos a Compresión Mezcla Patrón vs Mezcla de Fibrocemento, a los 28 días de elaborados. Fuente: Elaboración propia.



FIGURA 16. Colocado del cilindro en la máquina RIEHLE para rotura de probetas a compresión y la muestra en una de las probetas de cilindro de mortero ensayado a compresión con rotura de 35 grados; y de igual manera la probeta F15 cilindro de mortero con fique ensayado a compresión con rotura de 35 grados. Fuente: Elaboración propia.

Los valores de resistencia obtenidos en el ensayo a compresión de cilindros de dos tipos de mezclas se verán reflejados en las tablas 5 y 6, reportándose en la muestra MV la de mayor resistencia.

TABLA 5. Valores de carga, deformación, diámetro, área, resistencia a la compresión a los 28 días de Cilindros de Mezcla de Mortero (Mezcla Patrón). Fuente: Elaboración propia.

Muestra	Carga Máxima (Kg)	Deformación (mm)	Diámetro	Área cm ²	Resistencia (Kg/cm)
MI	7900	0.45	7.05	39.04	202
MII	7900	0.13	7.05	39.04	202
MIII	7900	0.14	7.05	39.04	202
MIV	7300	0.11	7.1	39.59	184
MV	8900	0.17	7.1	39.59	225
MVI	7850	0.10	7.085	39.42	199
MVII	7475	0.12	7.35	42.43	176

TABLA 6. Valores de carga, deformación, diámetro, área, resistencia a la compresión a los 28 días de cilindros de Mezcla de Fibrocemento. Fuente: Elaboración propia.

Muestra	Carga Máxima (Kg)	Deformación (mm)	Diámetro	Área cm ²	Resistencia (Kg/cm)
FI1	7050	0.46	6.6	34.21	206
FI2	6250	0.31	7.45	43.59	143
FI3	7300	0.35	7.4	43.01	170
FI4	7150	0.39	7.3	41.85	171
FI5	7150	0.39	7.275	41.57	172
FI6	6900	0.60	7.5	44.18	156
FI7	7250	0.50	7.05	39.04	186
FI8	7950	0.35	7.115	39.76	200
FI9	7550	0.59	7.06	39.15	193
FI10	6250	0.33	7.05	39.04	160
FI11	6250	0.24	7.05	39.04	160

4.4. Resistencia de las Placas de Mortero con Fique y Placas con Malla Plástica

Para definir cuál sería la mezcla a utilizar en la investigación, se elaboraron placas de 2, 2.5 y 3 cm de espesor, las mismas se pesaron y se ensayaron a los 28 días de elaboradas, para así conocer si cumplían con los requerimientos establecidos en la norma COVENIN 42-82.

Los valores de carga y peso correspondientes a cada una de las placas fabricadas con la mezcla anteriormente mencionada, se muestran en las tablas 7 y 8.

TABLA 7. Valores de carga y peso de las Placas con Fique de diferentes espesores. Fuente Elaboración propia.

Muestra	Carga(kg) para 2 cm de espesor	Peso (kg)	Carga(kg) para 2.5cm de espesor	Peso(kg)	Carga(kg) para 3cm de espesor	Peso(kg)
1	279	8.20	391	8.51	525	10.53
2	449	7.92	432	9.36	538	11.59
3	365	8.12	269	8.61	600	11.66
4	302	7.13	560	9.64	379	10.19
5	331	7.72	390	9.04	395	10.45
6	363	7.69	256	9.57	340	10.42
Promedio	348.16	7.80	387.50	9.12	462.83	10.80

TABLA 8. Valores de carga y peso de las Placas con Malla Plástica de diferentes espesores. Fuente: Elaboración propia.

Muestra	Carga (kg) para 2 cm de espesor	Peso (kg)	Carga(kg) para 2.5cm de espesor	Peso (kg)	Carga(kg) para 3cm de espesor	Peso (kg)
1	600	8.05	300	8.91	347	10.21
2	250	7.50	249	9.32	449	9.71
3	550	7.70	263	9.51	365	9.85
4	443	7.94	480	9.50	302	9.97
5	550	7.77	328	9.19	331	10.42
6	614	8.46	400	9.25	363	10.17
Promedio	501.2	7.90	336.67	9.28	348.16	10.05

Cada una de las placas alcanzó variaciones en su resistencia, resultando las de mayor aguante las de Fibrocemento de 2 cm de espesor, con una carga promedio de 501.02 kg. En la figura 17 se observa la secuencia de ensayos a compresión uniaxial realizados para cada una de las placas.

190



FIGURA 17. Ensayo a Compresión de las Placas con Malla Plástica; muestra final de ensayo a compresión de Placa con Malla Plástica; y restos de placa ensayada con mezcla fibra de Fique.

4.5. Curvas Esfuerzo-Deformación

Los ensayos realizados a compresión se llevaron a cabo con la finalidad de verificar valores de esfuerzo-deformación para las 36 placas elaboradas con cada mezcla. Dichos ensayos se muestran gráficamente por espécimen fabricado y por espesor.

4.6. Ensayo a compresión de las placas con Mortero y Malla plástica

Las figuras 18, 19, 20, se ilustran el comportamiento de las placas de mortero y malla plástica a diferentes espesores.

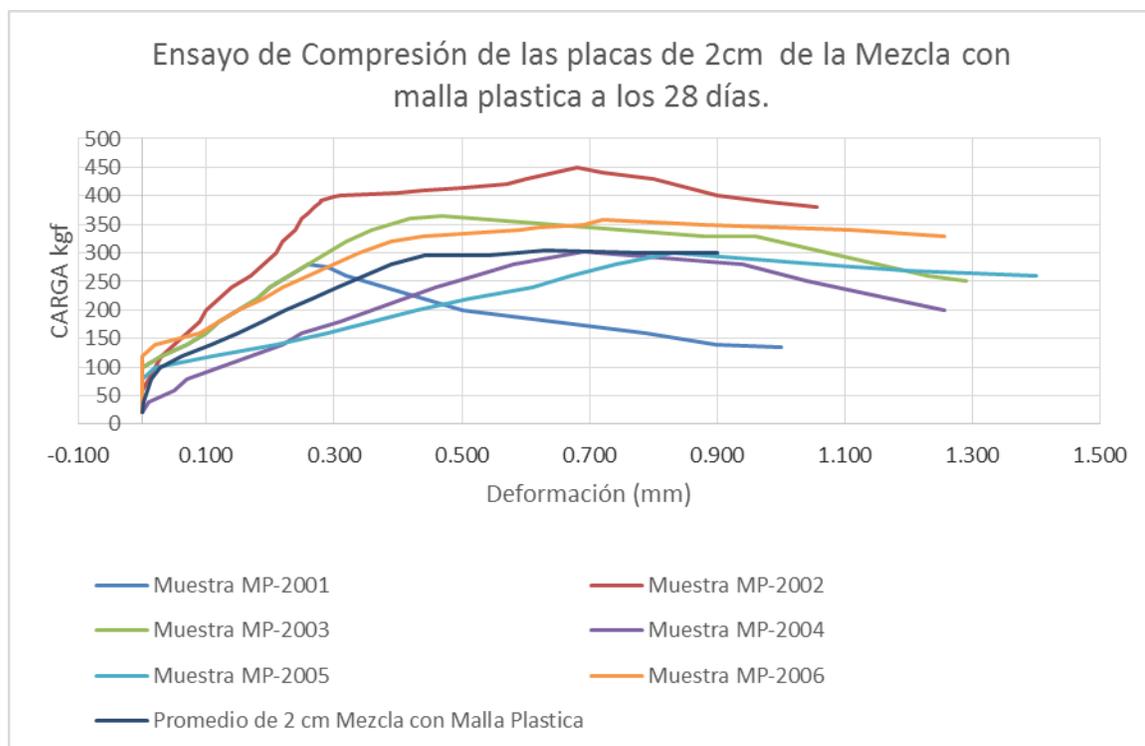


FIGURA 18. Ensayo a compresión de placas con malla plástica de 2cm, con dosificación 5:1. Fuente: Elaboración propia.

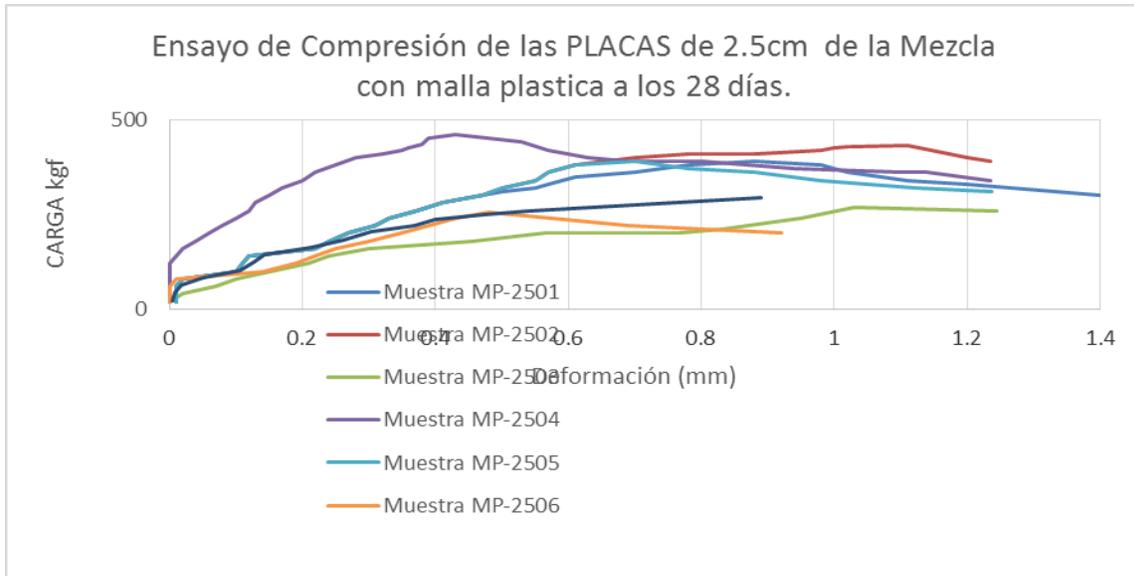


FIGURA 19. Ensayo a compresión de placas con malla plástica de 2.5cm, con dosificación 5:1. Fuente: Elaboración propia.

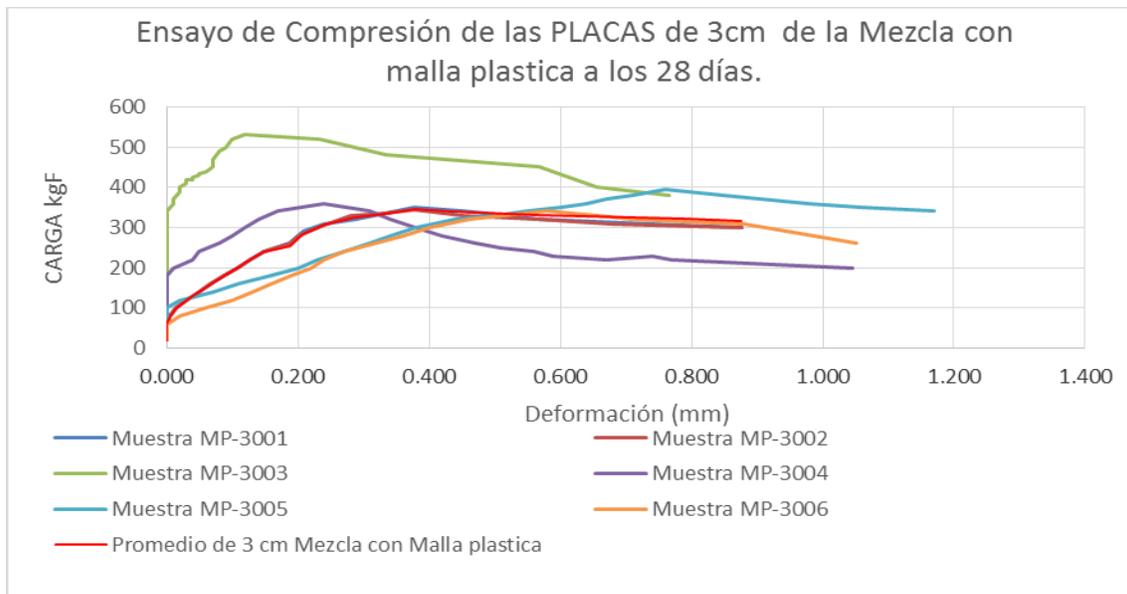


FIGURA 20. Ensayo a compresión de placas con malla plástica de 3cm, con dosificación 5:1. Fuente: Elaboración propia.

Se observa que las placas ensayadas con diferentes espesores, se comportan de acuerdo a lo esperado, arrojando una tendencia a la resistencia por encima de la resistencia de diseño. Es importante destacar que se requiere que las placas soporten el peso de un trabajador de la construcción (90Kg, según el promedio) junto con el peso de los materiales (90kg).

4.7. Ensayo a compresión de las placas con Mortero Patrón y Mortero de Fibrocemento

Al analizar las figuras 21, 22 y 23 que los ensayos a compresión de las placas para este tipo de muestra, soportan resistencias mayores a las esperadas.

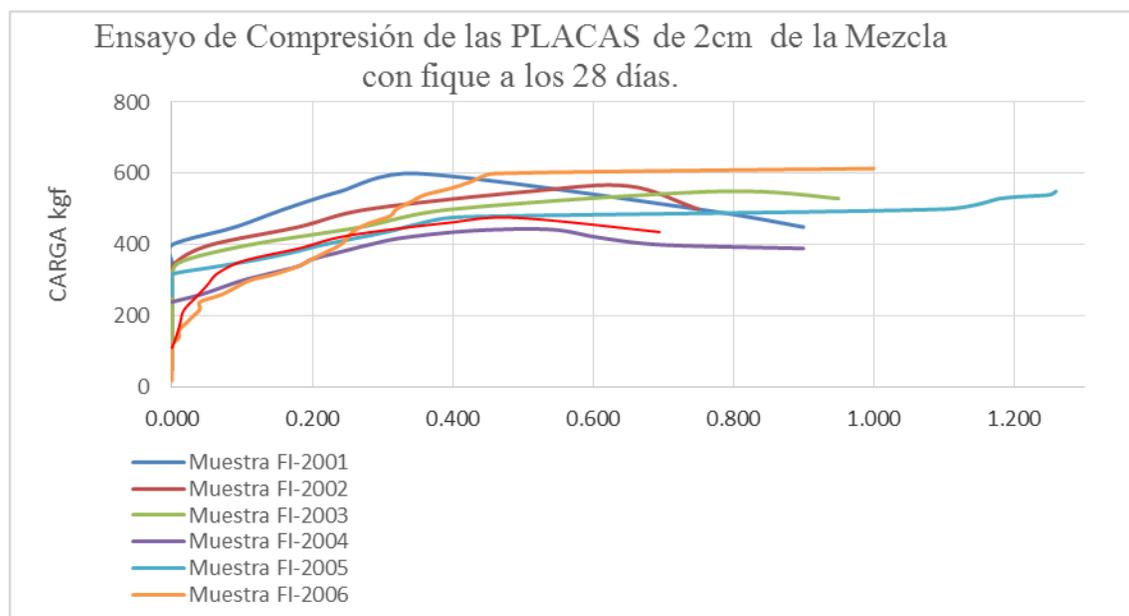


FIGURA 21. Ensayo a compresión de placas con Fique de 2cm, con dosificación 5:1. Deformación en mm. Fuente: Elaboración propia.

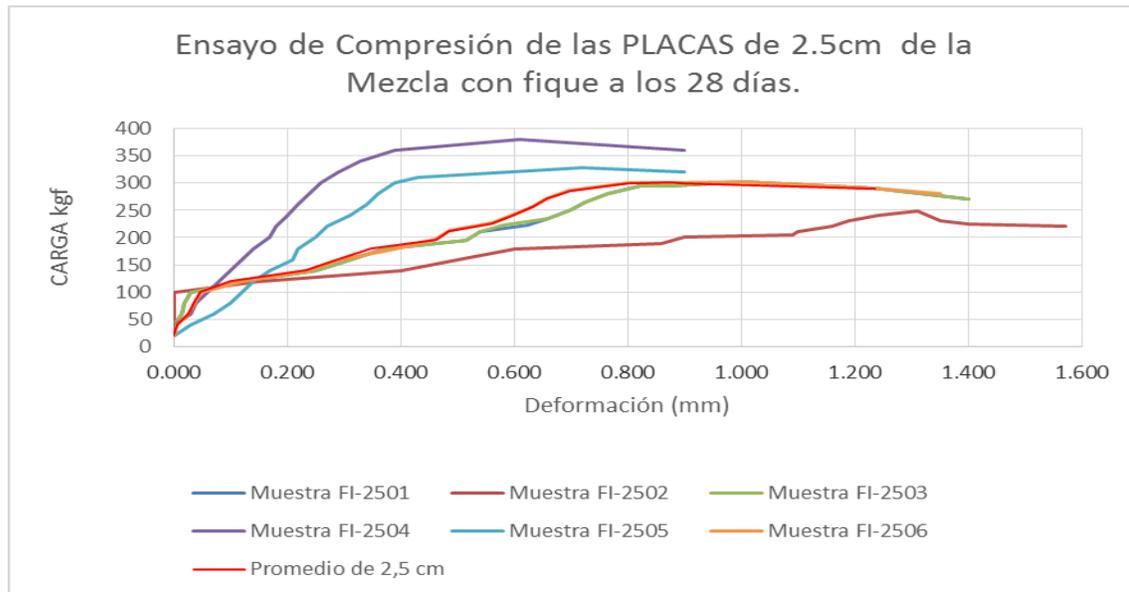


FIGURA 22. Ensayo a compresión de placas con Fique de 2cm, con dosificación 5:1. Fuente: Elaboración propia.

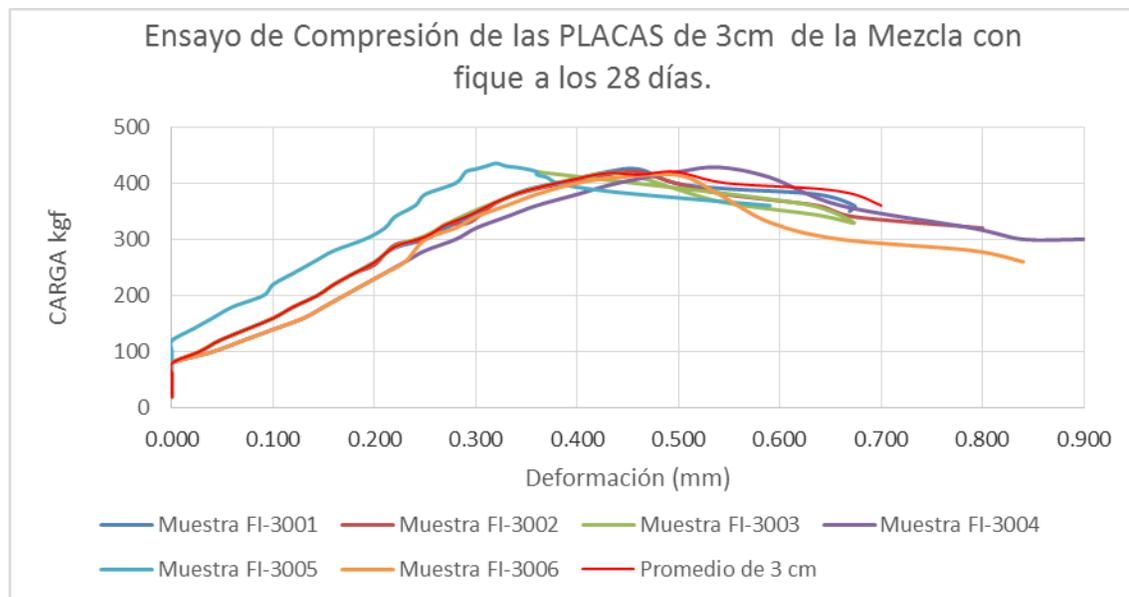


FIGURA 23. Ensayo a compresión de placas con Fique de 3 cm, con dosificación 5:1. Fuente: Elaboración propia.

4.8. Comparación de ensayos a compresión de placas con Mortero Patrón y placas de Fibrocemento

En la figura 24 se presenta una gráfica comparativa de las curvas de esfuerzo-deformación entre las placas con Mortero Patrón y Malla plástica vs las placas de Mortero de Fibrocemento, con el propósito de apreciar y analizar su comparación relativa ante el esfuerzo de compresión aplicado.

195

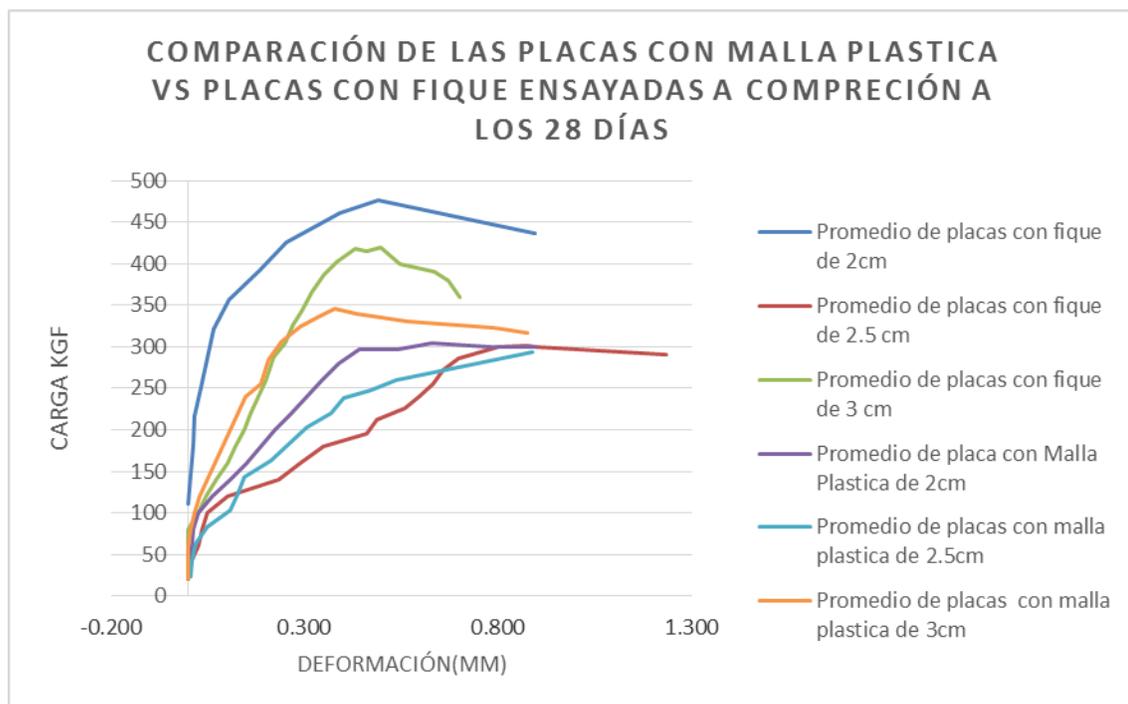


FIGURA 24. Comparación de ensayos a Compresión de placas con Malla plástica vs placas de Fibrocemento, a los 28 días de elaborados. Fuente: Elaboración propia.

Al comparar los resultados de los ensayos de compresión se puede observar la baja resistencia de las placas con malla plástica. Por su parte, tal como lo demuestran los ensayos realizados, la placa de Fibrocemento de 2 cm de espesor es la que muestra una tendencia equivalente a la del Patrón, superándolo en resistencia y deformación.

4.9. Ensayo a Compresión de los bloques

La fabricación de los bloques con fibra de Fique y en su interior botellas de refresco o envases de aceite hidráulico de polietileno tereftalato (PET), define la última etapa experimental de esta investigación.

Para la fabricación de los bloques, se utilizó la mezcla que obtuvo los mejores resultados del ensayo a compresión uniaxial de las placas, por ello se tomó la Fibra como agregado adicional, ya que soporta cargas mayores en comparación a la malla plástica. A los 28 días de fraguado y curado se procedió a realizar los ensayos a compresión en el laboratorio de materiales y ensayos de la Universidad de los Andes.

4.10. Ensayo a compresión de bloques tipo Tabelón

Los resultados de cargas, pesos y resistencia a la compresión uniaxial obtenidos de cada uno de los bloques se ven reflejados en la tabla 9 y se ilustran en la figura 25. En la figura 26 se exponen algunas fotografías de los bloques ensayados y posteriormente seccionados.

TABLA 9. Valores de Carga y Peso para bloques tipo Tabelón. Fuente: Elaboración propia.

Bloque Tabelón	Peso	Carga Máxima (kgf)	Resistencia a la Compresión (kgf/cm ²)	Peso de la Rueda(kg)
1	15.83	388		
2	17.10	417		8.79
3	17.79	426		



FIGURA 25. Ensayo a compresión de bloques tipo Tabelón; muestra final del ensayo a compresión; y detalle muestra final ensayo a compresión.



FIGURA 26. Vista de las secciones de uno de los bloques tipo Tabelón elaborado con PEAD después del ensayo a Compresión, donde se puede apreciar el grosor de la placa que conforma los planos estructurales del mismo y la poca deformación de los envases plásticos.

Las figuras anteriores permiten destacar que al realizar el ensayo a compresión a los bloques tipo tabelón, se presentaron deformaciones solo en la zona de contacto y en sus zonas laterales, mientras que la zona inferior de la misma no sufrió daño alguno.

4.11. Ensayo a Compresión uniaxial de los Bloques tipo Piñata

En la tabla 10, se muestran los resultados obtenidos en el ensayo a compresión de bloques tipo Piñata. Por su parte, la figura 27 evidencia la falla en la parte superior del bloque, mientras que en la figura 28 se aprecia la estructura interna de las botellas de refresco PET y las placas envolventes de la mezcla de cemento y agregados minerales. Al igual que el bloque tabelón, el bloque piñata solo se deformó en la zona de contacto y sus zonas laterales, por lo que la zona inferior y su parte interna permanece intacta.

199

TABLA 10. Valores de Carga y Peso para bloques tipo Piñata. Fuente: Elaboración propia.

Bloque piñata	Peso (Kg)	Carga Máxima (kgf)	Resistencia a la Compresión (kgf/cm ²)	Peso de la Rueda (kg)
1	36.24	247		
2	37.04	172		8.79
3	33.55	188		



FIGURA 27. Ensayo a Compresión de los bloques tipo Piñata y muestra final ensayo a Compresión.



FIGURA 28. Vista de las secciones de uno de los bloques tipo Piñata conformado por botellas de refresco manufacturada con plástico PET después del ensayo a Compresión; se puede apreciar el grosor de la placa que conforma los planos estructurales del mismo y parte de una de las fallas laterales entre.

4.13. Análisis de Carga

La figura 29 representa a un trabajador con peso promedio de 90 kg, al momento en que desplaza una carga de ladrillos (90 Kg) sobre los dos tipos de bloques de Tabelón y Piñata, con la representación de sus fuerzas de reacción, la cual soportarían los elementos de piso, es decir el entrepiso al momento de su fabricación.

202

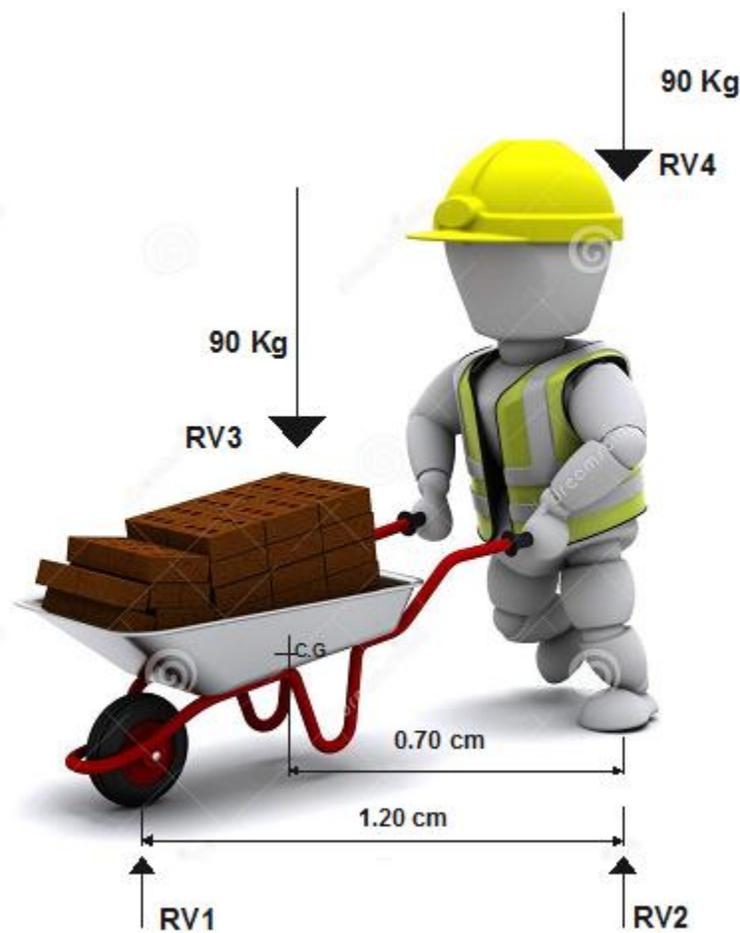


FIGURA 29. Análisis de carga a la cual estarán sometidos los bloques Piñata y Tabelón.

4.14. Análisis del ACV con el proceso de manufactura de elementos prefabricados para entresijos y techos a partir de botellas PET y mortero de cemento

Por medio del Análisis del Ciclo de Vida ACV-COCLOWEN simplificado se puede determinar el impacto que ejercen en el ambiente las distintas actividades industriales, específicamente en la fabricación de bloques tipo piñata y tabelones y lo que genera el proceso de esta fabricación, desde el reciclaje hasta la manufactura y venta del producto.

Este impacto se valora en una escala numérica, donde +3 significa altamente beneficioso, 0 dato irrelevante (que según criterio de los expertos puede ser valorado de manera positiva); y -3, altamente impactante o peligroso. Todo esto, en base a un criterio consciente de las cantidades estimadas de residuos que puede dejar un proceso industrial.

En caso de ser (+3) o altamente beneficioso, es necesario ofrecer una explicación del por qué se está valorando de este modo y como se puede aprovechar este recurso; y de tratarse de altamente impactante (-3), se explica brevemente como se puede evitar, mitigar o compensar el daño que puede conllevar alguna fase del ciclo de vida del producto. En primer lugar, se caracteriza el sistema producto para cada uno de los tipos de bloques, a partir del Análisis de Ciclo de Vida ACV-COCLOWEN (Tablas 11 y 12).

Luego se considera el sistema producto, con entradas y salidas, del Ecodiseño de cada uno de los elementos prefabricados: bloque tipo piñata y bloque tipo tabelón. A partir de allí se obtiene una puntuación del Sistema Producto, atendiendo a una Escala de Sostenibilidad, que muestran gráficamente los 6 niveles de sostenibilidad (Figuras 30 a; 30b; 30c).

Para los valores positivos (+3 a +1): Muy alta (completamente utópica), alta (altamente beneficioso), Baja (se limita a compensar los daños causados).

Para los valores negativo (-1 a -3, insostenible) o por debajo de 0, se debe rediseñar el producto y hacer modificaciones a aquellos procesos o etapas donde los niveles de ecoeficiencia son bajos, ya que genera un impacto ecológico dañino que puede no tener reversibilidad. Lo importante es generar un producto que sea factible ecológicamente.

Posteriormente se evalúa en la matriz COCLOWEN, cada una de las etapas del ciclo de vida de ambos sistemas de productos y su impacto ambiental y social.

Al respecto, se ha desarrollado el ejemplo hipotético de una planta de elaboración industrial de bloques de piñata y tabelones partir de botellas PET y mortero de cemento reforzado con fique (fibra del sisal), a fin de aplicar el Análisis del Ciclo de Vida ACV-Coclowen.

TABLA 11. Bloques tipo piñata y tipo tabelón. Definición de los aspectos y detalles del Análisis de Ciclo de Vida a partir del ACV-Coclowen. Fuente: Elaboración propia.

<p>PROYECTO: Ecodiseño en la elaboración de elementos prefabricados para entrepisos y techos a partir de botellas de polietileno tereftalato (PET) y mortero de cemento</p> <p>INVENTARIO DEL SISTEMA DE PRODUCTO: Cemento, botellas de refresco, arena polvillo, sisal-cal, cinta plástica, aceite quemado, madera, clavos y cartón reutilizable.</p> <p>AUTORES: Jonder Torres López, Anmary Fernández Araujo, Dr. Wilver Contreras Miranda, MSc. Pedro Montilla Moreno</p> <p>CLIENTE: Laboratorio de Sostenibilidad y Ecodiseño, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. Universidad Politécnica de Valencia, España.</p> <p>FECHA DE DESARROLLO DEL ACV: Octubre, 2018. NORMA: ISO 14.040. Ambiental</p>	
SECTOR.	Industria de la construcción
INDUSTRIA.	Bloques tipo piñata y bloques tipo tabelón.
OBJETIVOS	Realizar un ACV para la industria de elementos prefabricados para entrepisos y techos con botellas de polietileno tereftalato PET y mortero de cemento, a partir del método analítico y gráfico ACV-COCLOWEN
ALCANCES	Determinación de los principales impactos ambientales positivos y negativos que ocurren en la producción de los bloques tipo piñata y tipo tabelón, manufacturados por una industria de la construcción de elementos prefabricados, ubicada en el Estado Trujillo, Venezuela. La definición de las valoraciones de esos impactos ambientales, entre otros, se ha elaborado a partir de los indicadores de daños ocasionados a la salud humana, el ecosistema y los recursos naturales.
FUNCIONES DEL SISTEMA ESTUDIADO	Desarrollo de la manufactura industrial para la producción de bloques tipo piñata y tipo tabelón, fabricados con botellas PET, mortero, Figue y cartón reutilizable.
<p>UNIDAD FUNCIONAL 1</p> 	<p>La unidad funcional 1 del presente ACV es para mil (1.000) bloques tipo piñata prefabricados con mortero, cuyas dimensiones son: 28 cm. de alto, 41cm. de longitud y 39.5 cm. de profundidad. Se calcula que el peso estimado del bloque tipo piñata es de 35kg de la unidad funcional.</p> <p>Se estima que en el proceso de fabricación de los bloques produce elementos como residuos de cartón que pueden ser reciclados y usados en la construcción de maquetas.</p>
<p>UNIDAD FUNCIONAL 2</p> 	<p>La unidad funcional 2 del presente ACV es para mil (1.000) bloques tipo tabelón prefabricados con mortero, cuyas dimensiones son: 11.5cm de alto, 50cm. de longitud y 26 cm. de profundidad. Se calcula que el peso estimado del bloque tipo tabelón es de 17 kg de la unidad funcional.</p> <p>Se estima que en el proceso de fabricación de los bloques produce elementos como residuos de cartón que pueden ser reciclados y usados en la construcción de maquetas.</p>

Continuación tabla 11...

SISTEMA DE PRODUCTO Y LÍMITES	El sistema de producto se definirá en la figura siguiente, con sus entradas, etapas de procesos y salidas a través de las principales etapas del ciclo de vida del producto.
NIVEL DE DIFICULTAD	La determinación de los impactos ambientales, según las características propias del método ACV-COCLOWEN en el presente trabajo, se expone en un nivel medio de dificultad por hacer uso de la matriz simplificada donde se analiza cada uno de los procesos y etapas de fabricación de los bloques bajo diferentes criterios.
PROCEDIMIENTOS UTILIZADOS EN LA ASIGNACION DE CARGAS	Análisis de ciclo de vida a partir del método analítico y gráfico ACV- COCLOWEN.
TIPOS DE IMPACTO Y METODOLOGIA USADA	Indicadores de impactos ambientales de daños a la salud humana, de daños a los ecosistemas y daños a los recursos naturales; impacto socioeconómico y de seguridad industrial.
METODO DE RECOPIACIÓN	COCLOWEN
GENERADOR, TRATAMIENTO DE DATOS Y SUCALIDAD	Jonder Gregorio Torres López y Anmary Carolina Fernández Araujo.
VERIFICACION	Dr. Wilver Contreras Miranda, MSc Pedro R. Montilla Moreno y Dra. Mary E. Owen de C.
COMENTARIOS FINALES	El presente trabajo parte de la valoración de la fabricación de bloques realizados con botellas Pet y mortero, el objetivo de este estudio se dirige a evaluar si es factible y rentable ecológica y financieramente. Además, la matriz simplificada ACV-COCLOWEN, muestra todos los impactos posibles que pueden generar en el ambiente, tanto en lo social como en lo económico para la elaboración de este producto. La utilización de este método permitirá obtener detalles que pueden mejorar la creación del diseño y del producto.

TABLA 12. Sistema producto con entradas y salidas del Ecodiseño de los bloques tipo piñata y tipo tabelón.
Fuente: Elaboración propia.

Entradas Materias Primas Energía	Procesos	Salidas Impactos Ambientales a la atmósfera, residuos al suelo, vertidos al agua.
Cemento, arena, polvillo, agua, Fique-cal, botellas PET, madera, clavos, aceite quemado, cartón	Materiales Adquiridos	Gases de CO ₂ , polvo
Combustible gasoil, aceite lubricante	Transporte de materia prima	Ruido, gases de combustión, daños al pavimento
Consumo de energía eléctrica	Diseño y almacenaje	Electricidad
Consumo de energía eléctrica, proceso de esterilización	Limpieza, ensamblaje de botellas PET	Consumo de agua residual
Consumo de energía eléctrica	Corte de material de cartón y Fique	Residuos de cartón
Consumo de energía eléctrica por utilización de equipos. Taladros y por lámparas	Encofrado	Riesgo laboral, ruido, aceite, residuo de materia orgánica
Consumo de energía eléctrica, combustible de gasolina, lubricantes, aceite, consumo de agua	Mortero – Vaciado	Ruido, emisión de gases CO ₂ , residuos
Energía eléctrica, horas hombre	Desencofrado	Consumo de energía eléctrica,
Consumo de aceite, gasolina	Transporte al sitio	Emisión CO ₂ , impacto en el pavimento
Energía eléctrica, combustible gasolina, lubricantes	Instalación	Gases de emisión de CO ₂ , consumo de energía eléctrica
Vida Útil	Uso	80 años
Retiro. Disposición final. Reciclaje: 70%, vertedero: 30%		

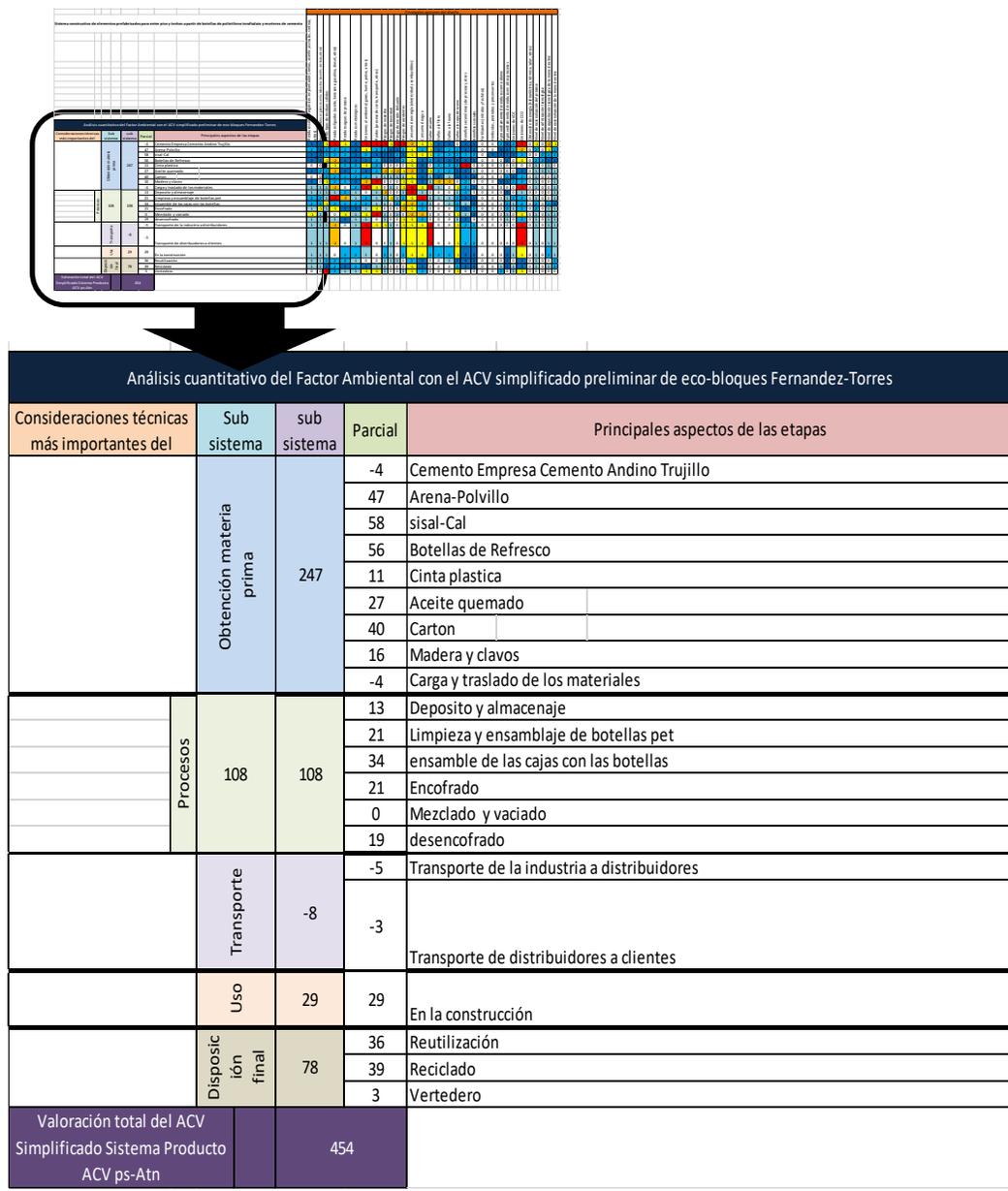
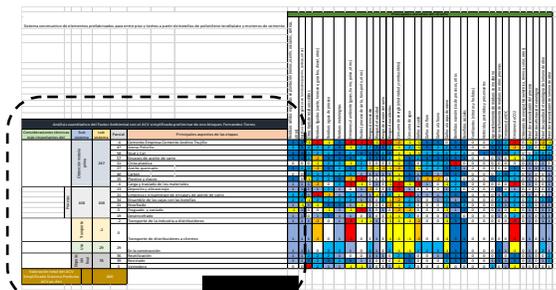


FIGURA 30a. ACV Coclowen Simplificado de los bloques tipo Tabelón. Fuente: Elaboración propia.



Análisis cuantitativo del Factor Ambiental con el ACV simplificado preliminar de eco-bloques Fernandez-Torres				
Consideraciones técnicas más importantes del	Sub sistema	sub sistema	Parcial	Principales aspectos de las etapas
	Obtención materia prima	247	-4	Cemento Empresa Cemento Andino Trujillo
			47	Arena-Polvillo
			58	Sisal y Cal
			57	Envases de aceite de carro
			11	Cinta plastica
			27	Aceite quemado
			40	Carton
			15	Plastico y clavos
			-4	Carga y traslado de los materiales
	Procesos	108	13	Deposito y almacenaje
			21	Limpieza y ensamblaje de envases de aceite de carro
			34	Ensamble de las cajas con las botellas
			21	Encofrado
			0	Fraguado y vaciado
			19	Desencofrado
	Transporte	-2	-2	Transporte de la industria a distribuidores
			0	Transporte de distribuidores a clientes
	Uso	29	29	En la construcción
	Disposición final	78	36	Reutilización
			39	Reciclado
			3	Vertedero
Valoración total del ACV Simplificado Sistema Producto ACV ps-Atn			460	

FIGURA 30b. ACV Coclowen Simplificado de los bloques tipo Tabelón con mezcla de sisal y su valor de sostenibilidad positivo (PU= 460). Fuente: Elaboración propia.

4.15. Estimación de impactos antrópicos

Empresa productora del cemento utilizado para elaborar los elementos prefabricados

Cemento Andino Trujillo, ubicada en Monay, estado Trujillo, es una empresa dedicada a la fabricación de cemento Portland blanco tipo I, cemento Portland gris tipos I y II y cemento Portland gris tipo CPCA1 y CPCCA2. Este último es utilizado para la fabricación de elementos para la construcción de aceras, brocales, nivelaciones, pisos placas, platabandas, escaleras, canales, fundaciones, columnas machones y vigas, pudiendo llegar a una resistencia de hasta 250 kg/cm².

Instalaciones de la Empresa Cemento Andino. Monay, Estado Trujillo

El mayor beneficio de la empresa de cemento es la fuente de trabajo a la población y que el producto es distribuido a nivel nacional, por lo que existe un gran número de personas beneficiarias. Adicionalmente, los procesos de fabricación de los elementos constructivos prefabricados son sencillos, lo que favorece la incorporación de trabajadores no especializados de la zona.

Sin embargo, la empresa genera grandes emisiones de humo, polvo, gases de CO₂, así como también ruidos que pueden perturbar a los habitantes y a las especies aledañas a la zona. Atendiendo a lo señalado en la matriz de análisis cualitativo del factor ambiental del ACV (tablas 11 y 12), se asigna a la empresa un valor de (-3) Si no se toman las medidas preventivas necesarias para reducir dichos daños, podría traer consecuencias graves al personal, a las comunidades vecinas y al ecosistema.

Otro aspecto que genera valores de (-3) en la matriz ACV es que la empresa trabaja con maquinarias industrializadas que producen residuos líquidos de lubricantes y combustibles; es necesario mantener la maquinaria en óptimas condiciones aplicando los procedimientos recomendados por los expertos.

El riesgo de accidentes y el peligro de incendios es otro impacto negativo, ya que se trabaja a altas temperaturas en el horno. La empresa debe proveer al personal con el entrenamiento y equipamiento necesarios para evitar accidentes.

Obtención de la materia prima

La materia prima utilizada en la elaboración de los bloques tipo piñata y tipo tabelón es similar, variando básicamente el tipo y cantidad de envases PET que se utiliza en cada uno de los casos (botellas de baja densidad en bloques tipo piñata y de alta densidad en bloques tipo tabelón).

Valoraciones positivas (+3 a +1)

Botellas de refresco para la unidad funcional 1 (valoración +3). La reutilización de este material es muy significativa, ya que se consigue en cualquier bote de basura de cada hogar. Con la fabricación de 1000 bloques tipo piñata son reutilizadas 8000 botellas de refresco y esto equivale a 355.2 kg menos de basura.

Envases de aceite hidráulico para la unidad funcional 2 (valoración +3). Es muy importante la reutilización de dicho material debido a que este envase por lo general es desechado o no se vuelve a utilizar para otra cosa. Con la fabricación de 1000 bloques tipo tabelón son reutilizadas 4000 envases de aceite hidráulico y esto equivale a 958.4 kg menos de basura.

La arena polvillo es proveniente del eje vial, ubicado en la vía Valera Trujillo. Tiene valoración positiva (+3) debido a los beneficios sociales y económicos ya que se aprovecha casi todo el material explotado, utilizable en construcción y como abono.

Fique (+2) y cal (+3). Estos productos son adquiridos cerca de las zonas aledañas a la empresa, al ser combinados ofrecen una mejor resistencia al mortero ya que con la fibra se hace una especie de amarre al fraguar la mezcla. Su valoración es positiva por cuanto genera un gran comercio con otras localidades, además de

que este producto no solo se puede utilizar en la construcción sino también en la agricultura como abono y herbicida.

Cartón para la unidad funcional 1 (bloques piñata), valoración (+3). Se obtiene de cajas que van a ser desechadas en los supermercados. El peso aproximado de cada caja es de 500 gr entonces con 1000 bloques tipo piñata se está recuperando 500kg de cartón que de otro modo irían a parar al vertedero de basura.

Cartón para la unidad funcional 2 (bloques tipo tabelón), valoración (+3). Se obtiene también de cajas que van a ser desechadas en los supermercados. El peso aproximado de cada caja es de 245.4 gr, entonces con 1000 bloques tipo tabelón se está recuperando 245 kg de cartón que de otro modo va a parar en el vertedero de basura.

Plásticos (de refresco y aceite hidráulico) (+2). Se adquieren de manera gratuita reutilizándose, productos que de otro modo van a parar al vertedero.

Clavos (+3). Se adquieren de manera gratuita, reutilizándose productos que de otro modo van a parar al vertedero.

Aceite quemado: este producto se obtiene a bajo costo por que lo convierte en una valoración (+3) positiva.

La carga y traslado de los materiales como el cartón, los envases de aceite hidráulico, el plástico, la cinta plástica y el aceite quemado, no es tan prolongado; pueden ser adquiridos en la misma capital del estado Trujillo, su traslado no ocasiona daños al pavimento ni al medio ambiente.

Valoraciones negativas (-3 a -1)

Un impacto negativo resaltante, con valores (-2) y (-3), es la obtención de la madera que va a ser utilizada en el encofrado, ya que esto genera la tala y corte de árboles; se recomienda aplicar planes de siembra donde se extrae la madera.

Otro punto desfavorable es el consumo de energía eléctrica, tanto para el proceso de almacenaje, como de ensamble. Es recomendable usar lámparas de bajo consumo energético, como las del tipo fluorescente.

Obtención de cinta plástica (-3), ya que genera costos económicos y no beneficia al medio ambiente, originalmente se pensó en utilizar elementos ecológicos como cabuya, pero no dieron los resultados esperados, se puede buscar otra alternativa más ecológica y que no genere costos.

Por su parte el traslado del cemento de Monay a Trujillo si ocasiona daños al pavimento debido al peso del material y del camión donde es trasladado. También produce daños al medio ambiente, debido al consumo de gasolina, emisiones de CO₂, polvo. El trayecto es de aproximadamente 29.4km, con una duración de 39 minutos como se muestra la figura 3.60. Se recomienda utilizar vehículos de mayor capacidad o buscar una distribuidora más cercana donde se adquiera la materia prima.

Etapa de transporte

Tanto para los bloques tipo piñata como para el tipo tabelón, los procesos seguidos en el transporte y su valoración son iguales, por lo que los impactos son los mismos.

El derrame de residuos líquidos de combustibles y lubricantes por parte de los vehículos se considera negativo (-2) en la escala de valoración de la matriz ACV. Para evitar o reducir estos botes deben ejecutarse planes de servicio y cuidados a los vehículos.

Para residuos de gases y emisiones de CO₂ al ambiente, se encuentran valores de (-3) en la matriz ACV. Para trasladar 1000 bloques piñata de Trujillo a Valera, un camión tipo tritón, que es uno de los más comúnmente usados, debe hacer 5 entregas. El peso máximo que puede trasladar es de 7500 kg y en cada viaje puede

cargar 215 bloques. La distancia de Trujillo a Valera es 35.6 km; para completar la ruta hay que considerar el recorrido de ida y vuelta, lo que implica un total de 356 km. Por cada kilómetro recorrido se generan 127,7 gramos/CO₂ para un total de 46,636 gramos/CO₂ en el recorrido completo. Una manera de mitigar la expulsión de gases de CO₂ al ambiente es trasladarlo en un vehículo de mayor capacidad.

En el caso del traslado de los bloques tipo tabelón entre las mismas ciudades e igual distancia de 35.6 km, la valoración para la producción de residuos de gases y emisiones de CO₂ al ambiente también es de -3, si bien para trasladar 1000 bloques de este tipo, un camión tritón tiene que hacer 3 entregas ya que, siendo su capacidad máxima de carga de 7500 kg, en cada viaje puede cargar 441 bloques.

Los beneficios positivos (2) y (2) en la escala de valoración de la matriz ACV (Tabla 12), es la generación fuente de empleos, y el dinero extra que se cobraría por la venta y traslado de los bloques.

Estimación de impactos antrópicos en la etapa de uso de los elementos prefabricados

En la matriz del ACV puede observarse que el valor que alcanza el uso tanto de los bloques tipo piñata como tipo tabelón es +3. Dichos valores se consideran porque son productos fabricados bajo estándares que cuidan y mantienen el ambiente.

Etapas de disposición final (materia a ser reciclada, reutilizada y vertedero).

En la etapa final de los bloques, se alcanzan valores de (+3) y (+2) ya que su ciclo no se lleva a la producción de un desecho como tal; al contrario, y como se ha observado en este trabajo, las posibilidades de reutilización y reciclaje son amplias, ya que en la primera se puede usar nuevamente para la construcción y en la parte de reciclaje se puede utilizar como relleno, como abono en algunas plantas ornamentales.

El material cuyo destino final son los vertederos produce unos valores negativos -3 y -1, debido a que son residuos sólidos no reutilizables, además de la emisión de polvo al ambiente.

Gráficas de sostenibilidad

Una vez realizado el análisis ACV–Coclowen Simplificado, se ha tomado el resultado sobre los aspectos de Ecodiseño que se evalúan durante el proceso de manufactura, comercialización, uso y desecho de los bloques y se ha localizado en el gráfico de sostenibilidad de un producto para determinar qué tan sustentable es el mismo respecto a los enfoques ecológicos que dicta el Laboratorio de Productos Forestales. Recordando que esta herramienta es un facilitador para la toma de decisiones, las propuestas derivadas determinan si se puede optimizar procesos y métodos para reducir los daños posibles.

Las figuras 29 y 30 muestran las gráficas de sostenibilidad para los bloques piñata y tabelón, respectivamente.

Para el caso de los bloques piñata, se ha obtenido un valor de 485 (Figura 29). Dicho valor se encuentra en un nivel bajo de generación de beneficios ambientales, pero aceptable desde el punto de vista ecológico. Se puede compensar los impactos ambientales de su ciclo de vida con estrategias ecológicas como reducir la cantidad de cemento portland y polvillo y aumentar el porcentaje de Fique en la mezcla de mortero para hacer los bloques más ligeros y así no tener inconvenientes con el traslado del producto.

En el caso de los bloques tipo tabelón se ha obtenido un valor de 454 (Figura 30). Este valor se encuentra en un nivel más bajo de generación de beneficios ambientales, pero aún aceptable desde el punto de vista ecológico y se pueden compensar los impactos ambientales de su ciclo de vida con estrategias ecológicas como las señaladas para los bloques tipo piñata.

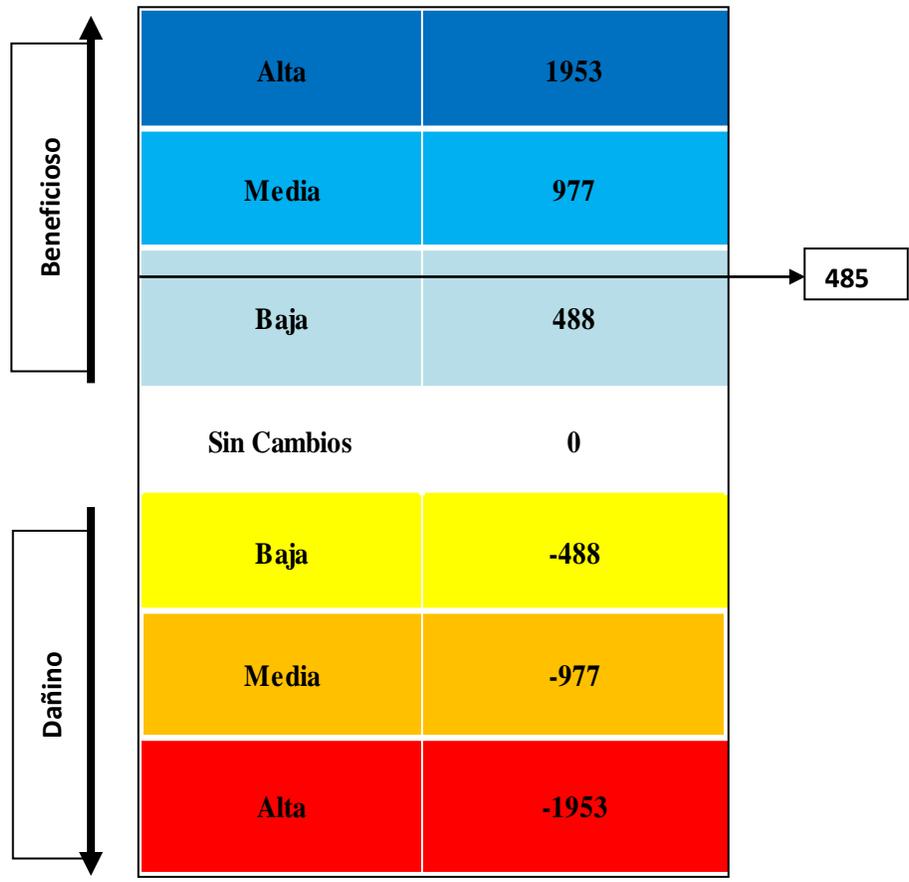


FIGURA 29. Gráfica de sostenibilidad para bloques tipo piñata.
Fuente: Elaboración propia.

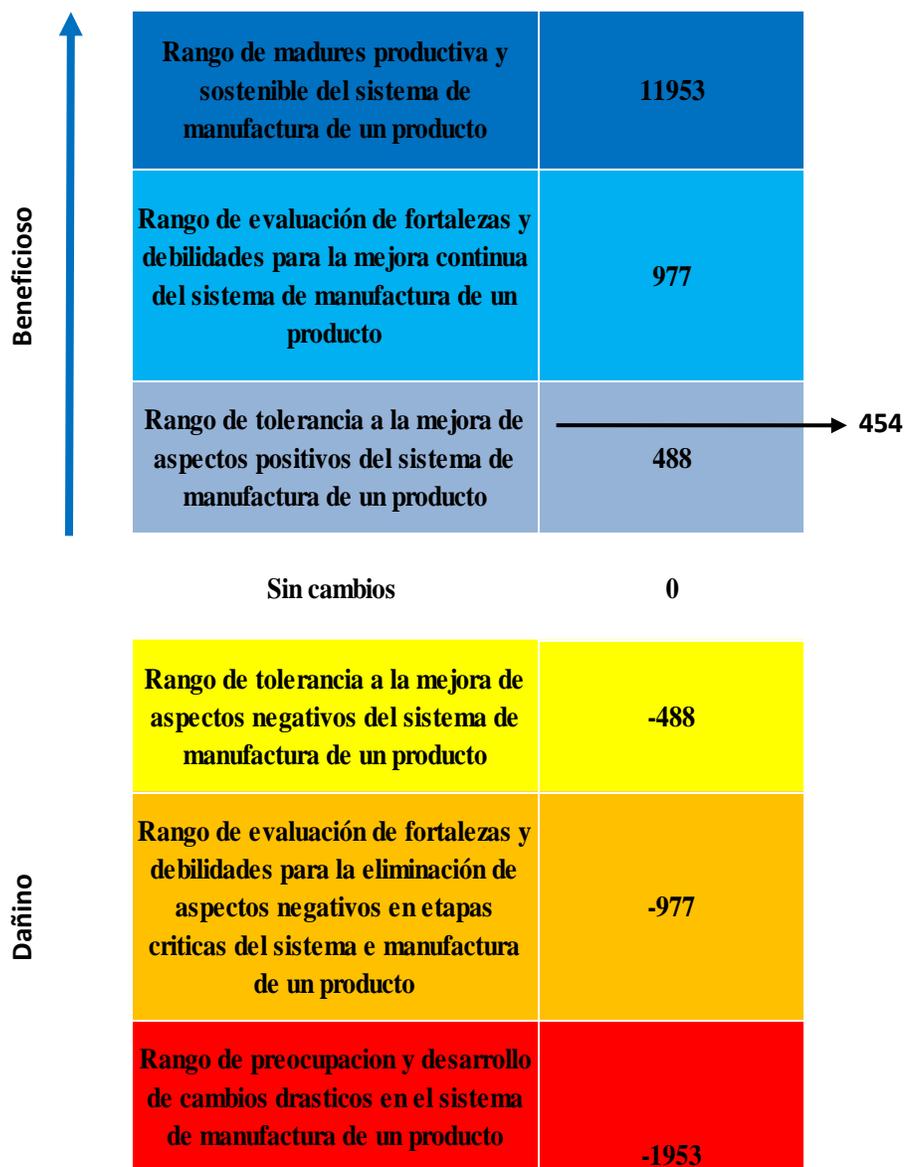


FIGURA 30. Gráfica de sostenibilidad de bloques tipo tabelón
Fuente: Elaboración propia.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con base en los resultados obtenidos de los ensayos realizados en la presente investigación, se concluye de la siguiente manera:

Que se ha cumplido con el objetivo general planteado en la presente investigación, el cual fue definido en desarrollar materiales constructivos ecoinnovadores y alternativos a los tradicionales empleados en la elaboración de entresijos y techos de edificaciones, a partir de bloques tipo piñata y tablero manufacturados, el primero, con la reutilización de botellas de plástico tipo Polietileno Tereftalato (PET), y el segundo, con Polietileno de Alta Densidad (PEAD); mediante su incorporación a mezclas de mortero reforzado con malla plástica y fibras naturales de fique y paredes de espesor promedio 2.0 cm. Además, permitió demostrar que sus propiedades mecánicas superan la resistencia al ser sometido a cargas de trabajabilidad al paso de carretillas y de personal obrero. Los dos tipos de bloques pueden ser utilizados en obras de construcción, permitiendo, desde el contexto del Desarrollo Sostenible y del Ecodiseño, obtener beneficios económicos, sociales y ambientales para la sociedad.

En referencia a los objetivos específicos, éstos, fueron cumplidos en su totalidad, ya que se proyecta y demuestra de manera positiva la factibilidad técnica de construir bloques para entresijos y techos de edificaciones con el material reutilizado de plástico PET y PEAD, garantizando sus aspectos funcionales, económicos y de seguridad, una vez que están puestos en servicio como material de construcción.

En referencia a la carga que pueden soportar las placas, se determinó que las que fueron elaboradas con mortero de cemento reforzado con malla plástica y espesor de 2.00, 2.50 y 3.00 cm, todos los ensayos arrojaron resultados altamente positivos, siendo el de mayor resistencia las placas de 3.00 cm de espesor con una carga puntual de promedio de 462 kg. Esto se debió a los siguientes aspectos: mayor espesor y más material; mayor uniformidad de la mezcla de mortero; buena cohesión entre la mezcla y la malla plástica, siendo un factor importante la resistencia del plástico al esfuerzo de aplastamiento y fatiga del material por su característica de mejor elasticidad, además de que en los planos internos de los cuadrados que forma la malla, están rellenos de la mezcla y aumenta su sistema de traba. Otra evidencia destacable en el ensayo realizado a estas placas, la constituye el hecho de que el refuerzo de malla plástica, colocado a mitad del espesor, en el plano central de la placa, influye favorablemente en el comportamiento de ésta, siendo mayor cuanto mayor es el espesor.

En cuanto a la deflexión máxima alcanzada por las placas ensayadas, se observó claramente que las placas de mortero reforzado con malla plástica, presentaron su deflexión máxima antes de llegar al estado de colapso, cuyos valores máximos aproximados rondan los valores de 1.30; 1.25 y 1.05 mm para las placas de espesor 2.0, 2.5 y 3.0 cm, respectivamente. Y se comportan de acuerdo a lo esperado, pues a medida que incrementa el espesor la placa se torna más rígida, alcanzando una menor deflexión máxima antes de llegar al colapso.

En este sentido, nuevamente, se evidenció con claridad que las placas de mortero reforzado con fibras naturales de fique ensayadas, en cuanto a la deflexión máxima obtenida antes de alcanzar el estado de colapso, cuyos valores máximos aproximados rondan los 1.00; 0.90 y 0.80 mm para las placas de espesor 2.0, 2.5 y

3.0 cm, respectivamente, se comportan de acuerdo a lo esperado; pues, a medida que incrementa el espesor, la placa tiende a alcanzar una menor deflexión máxima antes de llegar al colapso, indicando, como era de esperarse, que la placa de mortero reforzado con fibra de fique se toma más rígida, con menor ductilidad, a medida que incrementa su espesor; salvo en algunos casos de comportamiento un tanto anómalo, como ocurrió en la placa de espesor 2.5 cm.

Al comparar el comportamiento entre los dos tipos de placas ensayadas, placas con mortero reforzado con malla plástica y con fibras de fique, presentan conjuntamente curvas promedio de carga-deflexión donde cada tipo de placa y espesor considerado, hace notable como las placas de mortero reforzado con fibra de fique, comparadas con las de mortero reforzado con malla plástica de su mismo espesor, tienden a ser más rígidas, menos dúctiles. Este hallazgo se aprecia más claramente al observar las gráficas carga-deflexión de todas las placas ensayadas, haciéndose evidente que las curvas correspondientes a las placas de mortero reforzado con fibra de fique, independientemente de su espesor, presentan una pendiente más pronunciada, evidenciando su mayor rigidez y menor ductilidad con respecto a las placas de mortero reforzado con malla plástica.

Respeto a las placas elaboradas con mezcla de mortero y fique de sisal, con los mismos espesores de 2.00 cm, 2.50 cm y 3.00 cm., todos los resultados de carga fueron altamente resistentes. Se debe resaltar que el espesor de placa de mayor valor promedio de resistencia a la carga fue la de espesor de 2.00 cm alcanzando un valor promedio de 501 kg. Se puede inferir que este alto valor se debe a los siguientes aspectos técnicos: una mejor uniformidad de los agregados en la mezcla de mortero que junto al fique mineralizado con cal ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), se logró una

mayor cohesión y traba entre el cemento y la fibra natural de fique entrelazada, resaltándose que mediante el tratamiento del fique de sumergir esta fibra con agua de cal (Ca(OH)_2) por 24 horas, permitió quitar los azúcares de la fibra y aumentar el enlace por ionización del cemento y la fibra.

En virtud de lo anteriormente analizado y comentado, se decidió tomar como factibles para esta investigación las placas de mortero reforzado con fibras naturales de fique de espesor 2.0 cm, por su adecuado y suficiente comportamiento y resistencia para los fines planteados en la investigación propuesta y, adicionalmente, por ser de construcción más práctica y económica, y por su evidente mayor tendencia a constituir un elemento constructivo más sostenible que los elementos constructivos fabricados con reforzados con malla plástica.

Es importante destacar que, para la investigación planteada, la placa seleccionada cumplió una resistencia mínima requerida consistente para soportar el peso promedio de un trabajador de la construcción, estimado en unos 90 kgf.; junto con el peso correspondiente a la reacción máxima, producto de la carga que implica el transporte de la mezcla, por medio del carretón de construcción, sobre los bloques colocados en el empotrado de la losa de entrepiso o techo, el cual, como se demostró, es de 45.0 kgf, adicionales, para un total máximo de aproximadamente 135.0 kgf, en el punto de apoyo del trabajador.

Para el caso de bloque tipo piñata, es de reconocer que, aun cuando se obtuvieron en los ensayos resultados irregulares respecto a la carga máxima resistente del bloque, con el valor más bajo de 172.00 kgf., el mismo, está por encima de la carga máxima estimada que pudiera llegar a soportar la unidad de bloque piñata

durante la construcción de la losa nervada de entrepiso o techo, cuyo valor esperado es de unos 135.00 kgf. Esta observación, constituye un hallazgo importante y satisfactorio para el logro de los objetivos planteados durante la presente investigación, permitiendo demostrar la factibilidad de manufactura artesanal y semi industrial de los bloques piñatas con PET, haciéndose, entre otras, las debidas correcciones a los pequeños detalles constructivos de su manufactura, en especial, disminuir los espesores y pesos del mismo para mejorar su maniobrabilidad y carga a la estructura de una edificación.

Para el caso del bloque tipo Tabelón, es de reconocer que los resultados obtenidos lucen bastante razonables, aceptables y, por tanto, confiables, y de ninguna manera inesperados o ilógicos. En virtud de esto último, puede decirse que la carga máxima resistente del bloque obtenida en los ensayos, aun considerando el más bajo de los resultados (388.00 kgf), está muy por encima de la carga máxima estimada que pudiera llegar a soportar la unidad de bloque Tabelón durante la construcción de la losa nervada de entrepiso o techo, cuyo valor esperado es de unos 135.00 kgf, resultado que, sin duda alguna, constituye un hallazgo importante y satisfactorio para el logro de los objetivos planteados durante la presente investigación.

El desarrollo del Análisis de Ciclo de Vida a partir del método ACV-Coclowen simplificado de los elementos constructivos prefabricados de bloques piñata y tabelón para entresijos y techos a partir de mortero de cemento y botellas de PET y PEAD, y que podrían ser manufacturados en la ciudad de Trujillo, capital del estado Trujillo, fue realizado en las instalaciones del Laboratorio de Sostenibilidad y Ecodiseño UPV-ULA: CEFAP-LNPF, deja claro su metodología sencilla, pero pragmática, exige por parte de los evaluadores, tener una visión sistemática e

integradora de todo el sistema producto, además, altos conocimientos técnicos para tener los mejores criterios de evaluaciones en las interrelaciones entre los indicadores y las múltiples sub etapas, pero en especial, evitar riesgos de hacer equivocadas proyecciones prospectivas en las evaluaciones del sistema producto total, dejando de precisar las causas que generan los impactos negativos detectados y poder proponer las alternativas que permitan disminuirlos, y así permitir generar nuevos productos ecoinnovadores.

En este sentido, al aplicar la metodología de evaluación del ACV, permitió llegar a inferir y corroborar que, dada las características físico-mecánicas de los bloques tipo Piñata y Tabelón elaborados en la etapa experimental en el Laboratorio de Materiales y Ensayos de la Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela, los cuales obtuvieron valores promedio referidos en las normas COVENIN, pero aceptables y satisfactorios para los objetivos planteados en el presente trabajo de investigación, existen muestras claras de factibilidad en la proyección de su uso propuesto, como elementos de relleno en losas de entrepiso y techo, para la industria de la construcción.

El ACV, determinó que las etapas de obtención de la materia prima, proceso de ensamblaje, usos y disposición final obtuvieron valoraciones positivas en las puntuaciones únicas interrelacionadas con los indicadores. Mientras que las etapas de transporte, y sumando todas las etapas de movilización de bienes y servicio, es la que da mayor cantidad de valores negativos de sostenibilidad.

Como **recomendaciones** para la investigación realizada y tomando en cuenta los resultados obtenidos, correspondientes análisis realizados y conclusiones derivadas de la misma, se plantea en que una investigación importante y con

grandes expectativas como esta, debe plantearse y planificarse con miras a que haya una mejora continua del mismo. Se debe evaluar una propuesta normativa de la recolección y reutilización de las botellas de refresco de PET y de los envases de aceite hidráulico para motor PEAD a la Alcaldía del Municipio Libertador, extensiva al resto de alcaldías del estado Mérida y del país.

225

Continuar el tema de estudio de esta investigación, tomando en cuenta la posibilidad de utilizar un espesor de pared de los elementos constructivos menor a 2.0 cm, ya que esta investigación mostró que, para el mortero reforzado con fibra natural de fique, pudiera existir la posibilidad de lograrse resultados aceptables y satisfactorios con elementos constructivos con menor espesor al utilizado en este trabajo de investigación, en el cual se utilizó un espesor de pared promedio de 2.0 cm. De ahí que se sugiere ampliar la investigación realizada, enfocando la atención en otros factores influyentes en el comportamiento estructural de los elementos constructivos propuestos, donde se estudie la proporción o dosificación de los agregados de la mezcla para disminuir el porcentaje de mortero arena-cemento en la mezcla de mortero reforzado, con la incorporación de más fibras naturales, sin alterar sustancialmente su resistencia.

Finalmente, se debe procurar el desarrollo de proyectos de investigación donde se estudie el uso de otros envases de PET y PEAD de elementos prefabricados para obras civiles y así determinar, en qué tipo de obra es ideal su utilización. Es una apuesta de futuro que permite seguir haciendo alianza estratégica entre la Escuela de Ingeniería y el Laboratorio de Sostenibilidad y Ecodiseño ULA: UPV.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALESMAR, L., RENDON, N., y M.E. KORODY** 2008. La Scientific Electronic Library Online- Scielo. En línea: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0798-40652008000100006&script=sci_abstract [Consultado: 16/07/2018].
- BLANKENBER, D., G. V. KUSTER, N. CORAOR y M. MANGA.** 2010. Galaxy: a web-based genome analysis tool for experimentalists. *Current protocols in molecular biology*: 10-19).
- BOLGER, A. y F. GIORGI. TRIMMOMATIC.** s.f.). A Flexible Read Trimming Tool for Illumina NGS Data. En línea: <http://www.usadellab.org/cms/index.php>. [Consultado: 17/07/2018].
- BORACHI, C.** 2008. *Manual de buenas prácticas constructivas para viviendas unifamiliares.* Universidad Interamericana de Costa Rica. San José de Costa Rica, Costa Rica.
- CIRCE.** 2012. *Manual Explicativo del Análisis de Ciclo de Vida Aplicado al Sector de la Edificación.* Proyecto EnerBuiLCA. Centro de Investigación de Recursos y Consumo Energético CIRCE. Valencia, España.
- CLOQUELL, V., W. CONTRERAS MIRANDA, M. E. OWEN de C., y J. VIVANCOS.** 2006. *Evaluación del nivel de sostenibilidad de la madera y productos forestales. Método análisis del ciclo de vida. ACV-COCLOWEN.* Departamento de Proyectos de Ingeniería e Innovación. Universidad Politécnica de Valencia, España; Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.
- CORRALES, E. V.** 2016. Monografía. En línea: <https://www.monografias.com/docs110/desarrollo-mezclas-concreto-residuos-plasticos-eps-y-pet-concreto-convencional/desarrollo-mezclas-concreto-residuos-plasticos-eps-y-pet-concreto-convencional2.shtml> [Consultado: 09/10/2018].
- EXPLORABLE.** 2008. Investigación experimental. En línea: <https://explorable.com/es/investigacion-experimental> [Consultado: 05/11/2018].
- LOPEZ JIMENEZ, W. J. y G.B. SIFONTES GONZALEZ.** 2017. *Comportamiento mecánico del mortero de cemento reforzado con fibras naturales para la elaboración de bloques de Fibrocemento.* Mérida: Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela.

- Mariano.** 2011. Tecnología de los plásticos. En línea: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/05/proceso-de-reciclaje-del-pet.html> [Consultado: 15/07/2018].
- NORMA VENEZOLANA COVENIN 270-1998.** 1998. *Extracción de muestra para morteros y concreto.* FONDORAMA. Caracas, Venezuela.
- NORMA VENEZOLANA COVENIN 255-1998.** 1998. *Determinación de la Composición Granulométrica.* FONDORAMA. Caracas, Venezuela.
- NORMA VENEZOLANA COVENIN 258-77.** 1977. *Método de ensayo para la determinación por lavado del contenido de materiales más finos que el cedazo Covenin 74 micras en agregados minerales.* FONDORAMA. Caracas, Venezuela.
- NORMA VENEZOLANA COVENIN 277:2000.** 1978. *Concreto. Agregados Requisitos. Tercera Revisión.* FONDORAMA. Caracas, Venezuela.
- GIARDINE, B., C., RIEMER, R. BURHANS, P. SHAH y A. NEKRUTENKO.** 2005. Galaxy: a platform for interactive lar-scale genome analysis. *Genome research*: 23- 57.
- NORMA VENEZOLANA COVENIN 338:2002.** 2002. *Concreto. Método para elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto.* Segunda Revisión. FONDORAMA. Caracas, Venezuela.
- RESEARCH, S. I.** s/f. ¿Qué es la investigación cuantitativa? En línea: www.sisinternational.com/investigacion-cuantitativa [Consultado: 03/09/2018].
- RICA, U. C.** 2017. Tipos de investigación: Descriptiva, Explorativa y Explicativa. En línea: <http://noticias.universia.cr/educacion/noticia/2017/09/04/1155475/tipos-investigacion-descriptiva-exploratoria-explicativa.html> [Consultado: 15/08/2018].
- SEMANA SOSTENIBLE.** 2016. PET un plástico amigable pero no ofensivo. En línea: <https://sostenibilidad.semana.com/negocios-verdes/articulo/plastico-pet-un-amigable-pero-no-inofensivo/36282> [Consultado: 21/09/2018].
- SEMANA SOSTENIBLE.** 2017. ¿Es recomendable reutilizar las botellas de plástico? En línea: <https://sostenibilidad.semana.com/impacto/articulo/es-recomendable-reutilizar-las-botellas-de-agua/39121> [Consultado: 15/10/2018].

- SIS INTERNATIONAL RESEARCH.** 2018. ¿Qué es una investigación cuantitativa? En línea: <http://www.sisinternational.com/investigacion-cuantitativa/> [Consultado: 15/08/2018].
- UNIVERSIDAD DE COSTA RICA.** 2017. Investigación Descriptiva. En línea: <http://noticias.universia.cr/educacion/noticia/2017/09/04/1155475/tipos-investigacion-descriptiva-exploratoria-explicativa> [Consultado: 22/07/2018].
- PÉREZ, B., E. BARBERA, V. CALVAN y A. CURRAS, A.** 1985. *La resistencia a Tracción indirecta del hormigón por doble punzonamiento. Influencia del tamaño máximo del árido y de la excentricidad.* Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
- ASTM C496/C496-04e1.** 2003. *Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Tracción indirecta de Especímenes de Cilindros de Concreto.* Historical Standard. Philadelphia: American Society for Testing and Materials. USA.
- ASTM C143/C143M-15a.** 2003. *Método de Ensayo Normalizado para Asentamiento de Concreto de Cemento Hidráulico.* Philadelphia, Philadelphia: American Society for Testing and Materials. USA.
- J., A.** 2004. *Bioinformatics in the post-genomic era: Genome, transcriptome, proteome, and information-based medicine.* Addison-Wesley Professional.
- FEBRES CEDILLO, R. J.** 2006. *Materiales de construcción y ensayos relacionados.* Escuela de Ingeniería, Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela.
- GARAVITO, J.** 2008. *Identificación de plásticos protocolo.* Curso de Materiales. Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá, Colombia.
- ANDREWS, S. F.** 2010. A quality control tool for high throughput sequence data.
- HACHI QUINTANA, J. D.** 2010. *Estudio de factibilidad para reciclar envases plásticos de polietileno tereftalato (PET), en la ciudad de Guayaquil.* Guayaquil, Ecuador.
- LUNA, D. S.** 2011. *Propuesta de un material compuesto con base al PET reciclado con aplicación en construcción.* Bucaramanga, Colombia.
- RAMÍREZ, D. S.** 2011. *Propuesta de un material compuesto con base PET reciclado con aplicaciones en construcción.* Bucaramanga, Colombia.

- LILIANA, M.** 2012. *Estudio del uso del Polietileno Tereftalato (PET) como material de restitución en suelos de baja capacidad de carga.* Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F., México.
- PÉREZ, L. M.** 2012. *Estudio del uso del Polietileno Tereftalato (PET) como material de restitución en suelos de baja capacidad de carga.* México, D.F. México.
- VASQUEZ CORRALES, E.** 2016. *Desarrollo de mezclas de concreto con residuos de plásticos EPS y PET en concreto convencional.* San José de Costa Rica, Costa Rica.