

DISEÑO DE CASETONES Y MUROS NO ESTRUCTURALES CON BOTELLAS PET PARA CONSTRUCCIONES EN OBRAS CIVILES

DESIGN OF CASETONES AND NON-STRUCTURAL WALLS WITH PET BOTTLES FOR CONSTRUCTION IN CIVIL WORKS

DIEGO ALEJADRO CHAVEZ

Estudiante de ingeniería civil
Universidad Santo Tomas
Villavicencio, Colombia
diegochavez@usantotomas.edu.co

DAYAN SMITH LONDOÑO ANGEL

Estudiante de ingeniería civil
Universidad Santo Tomas
Villavicencio, Colombia
dayanlondono@usantotomas.edu.co

Resumen: En muchos países el poliestireno expandido (icopor) han sido fuertemente cuestionados en los últimos años debido a los riesgos que representa no solo para el medio ambiente si no para la salud humana a causa del largo tiempo de descomposición, los impactos negativos generados al medio ambiente, su corta vida útil y a que su precio de reciclaje es bajo. Los envases PET son otra problemática que día a día afecta al medio ambiente debido a que se generan grandes cantidades de estos residuos de los que una pequeña parte son reciclados y el restante son enviados a rellenos sanitarios o simplemente quedan desechados en el suelo o en los afluentes.

Para el desarrollo de este documento se implementó una metodología investigativa debido a la poca aplicación de envases PET como material alternativo en obras civiles, permitiendo que los casetones y muros no estructurales presenten resultados positivos por su enfoque ambiental. Para establecer la fiabilidad de los casetones se realizaron ensayos de compresión con cargas soportando pesos entre 155.2 Kg y 254.2 Kg sin presentar un gran daño, y con la máquina universal de compresión se realizó pruebas con diferente tipos de dimensiones dando que los de mayor dimensiones tuvieron resultados de 30KN en su punto máximo, para los muros no estructurales no se realizó ensayos en laboratorio para carga axial, pero se tuvo en cuenta las diferentes formas de anclaje que garanticen la estabilidad de los muros.

Por consiguiente, el propósito de esta investigación es la de disminuir el uso del poliestireno expandido utilizados como casetones para el aligeramiento de losas de entrepiso y como núcleo en muros aligerados, mediante la creación de casetones y muros no estructurales con envases PET lo que permite realizar este material y disminuye el uso del icopor, además de obtener un precio competitivo de \$35.667 por m3 para el prototipo de caseton y de \$96.805 para el muro no estructural de PET.

Palabras clave: casetón, aligeramiento, NSR-10, PET, Poliestireno expandido

Abstract: In many countries, expanded polystyrene (styrofoam) have been strongly questioned in recent years due to the risks it represents not only for the environment but also for human health due to the long decomposition time, the negative impacts generated on the environment., its short lifespan as its recycling price is low. PET containers are another problem that affects the environment every day because large amounts of this waste are generated, a small part of which is recycled and the rest are sent to landfills or simply are discarded on the ground or in the tributaries.

For the development of this document, an investigative methodology was implemented. Due to the little application of PET containers as an alternative material in civil works, allowing the caissons and non-structural walls to present positive results due to their environmental focus. To establish the reliability of the cassettes, compression tests were carried out with loads supporting weights between 155.2 Kg and 254.2 Kg without presenting great damage, and with the universal compression machine, tests were carried out with different types of dimensions, giving that the larger ones had Results of 30KN at its maximum point, for non-structural walls laboratory tests were not carried out for axial load, but the different forms of anchoring that guarantee the stability of the walls were taken into account.

Consequently, the purpose of this research is to reduce the use of expanded polystyrene used as caissons for lightening mezzanine slabs and as a core in lightened walls, by creating caissons and non-structural walls with PET containers, which allows to carry out this material and reduces the use of styrofoam, in addition to obtaining a competitive price of \$ 35,667 per m3 for the caseton prototype and \$ 96,805 for the non-structural PET wall.

Keywords: cassette, lightening, NSR-10, PET, Expanded polystyrene

1. INTRODUCCIÓN

El poliestireno expandido (icopor) es utilizado por la industria de comidas, construcción, electrodomésticos, etc.; Por ser un material económico y resistente; no obstante, el 90 % de este material es utilizado para fines industriales y el 10 % restante para la elaboración de implementos de actividades de alimentos según la fundación verde natura, por lo que las cifras de residuos de icopor son alarmantes ya que se generan anualmente 12.000 toneladas de icopor los cuales son enviados a los rellenos sanitarios según la empresa de reciclaje de icopor Ikoportex [1]. Colombia actualmente generan un total de 3.6 millones de toneladas de residuos sólidos en los que 1.2 millones de toneladas son plásticos, solo el 17 % del total son reciclados según el ministerio de ambiente y desarrollo sostenible de Colombia. No obstante, cabe revisar el comportamiento de ciudades como Bogotá, la cual para el año 2017 generaba diariamente 6.265 toneladas de residuos, en donde el 56 % corresponde a plásticos de un solo uso, es decir utensilios de polietileno expandido (icopor) [2] y de acuerdo a la empresa de aseo Bioagropecuaria del Llano, en la ciudad de Villavicencio se recogieron 139.809 toneladas para finales del año 2016 con un promedio de 11.761 toneladas de residuos al mes, aprovechando solo 650 kilogramos de residuos por medio del reciclaje [3], por lo que se evidencia alta cantidad de residuos depositados en los rellenos sanitarios. El ministerio de ambiente y desarrollo sostenible afirma que algunos de los sitios de disposición de residuos tendrán solo un tiempo de aproximadamente 5 años para llenar su capacidad de almacenamiento [4].

Por otra parte, en la industria de la construcción con frecuencia se observa que los casetones son constantemente utilizados dentro las construcciones para aligerar losas de entrepiso con lo que se consigue una reducción en la cantidad de concreto y consecuentemente un menor peso de las losas. No obstante, debe mencionarse que hay dos clases de casetones: los no recuperables que están hechos de guadua los cuales no son retirados de la losa y son de bajo costos, pero se tiene que talar grandes cantidades de guaduas al momento de algún proyecto. también se encuentran los casetones recuperables los cuales pueden ser retirados y reutilizados varias veces, esta tipología lo constituyen los casetones de icopor, que han servido como sustituto de los casetones de guadua o esterilla pero que a su vez generan contaminación debido a factores negativos como su dificultad de reutilización generando problemas en los ecosistemas o en los mismos animales [5], es un material que ocupa gran espacio ya que está conformado por 98 % de aire y 2 % de material sólido [6]. El tereftalato de polietileno (PET) es un tipo de plástico muy usado en la fabricación de envases, especialmente en botellas, embalajes y empaques, conocidos como plásticos de uso único los cuales corresponden al 56 % del consumo total en Colombia que es de 1.250.000 toneladas en plástico [7]. Por lo anterior, ha surgido la idea de implementar un nuevo material para la elaboración de casetones utilizando envases PET, generando consecuencias positivas para el medio ambiente debido al aprovechamiento de grandes cantidades de envases PET disminuyendo la cantidad de residuos sólidos depositados en los rellenos sanitarios y aumentando su vida útil.

En el desarrollo del documento se plantean varios beneficios de implementar botellas plásticas en losas de casas de un solo piso, también se menciona las configuraciones que se establecerán en los casetones y así realizar diferentes pruebas técnicas de compresión, tal como estipula la normativa INV E 410-13 así como la ASTM C39/C39M-18 referidas al ensayo a compresión de especímenes cilíndricos de concreto [8]. Con el fin de determinar cuál es la configuración más adecuada y resistente ante las fuerzas de compresión ejercidas por el concreto.

2. DESARROLLO DEL ARTÍCULO

2.1. ETAPA 1: LIMPIEZA DEL MATERIAL PET RECOLECTADO PARA EL DESARROLLO DE LOS PROTOTIPOS DE CASETONES Y MUROS NO ESTRUCTURALES.

Para garantizar una buena higiene y seguridad a las personas que manipulen los casetones y los muros no estructurales el material PET recolectado tendrá las siguientes consideraciones [9]:

- Debe estar limpio y desinfectado para evitar problemas relacionados de contaminación y olores en el desarrollo de los prototipos.

- Se debe realizar una desinfección a vapor de los envases con el fin de eliminar bacterias o microorganismos que afecten la salud humana.
- Posteriormente se debe realizar una desinfección química haciendo uso de soluciones desinfectantes con el fin de eliminar un 99% de los microorganismos.
- Se debe retirar las etiquetas presentes en cada envase.
- Cada envase debe de contar su tapa con el fin de que no se deformen con facilidad y no se infecten nuevamente.
- Finalmente se deben de poner a escurrir

2.2. ETAPA 2: REALIZACIÓN DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE LOS MUROS NO ESTRUCTURALES Y CASETONES FORMULANDO DIFERENTES CONFIGURACIONES SEGÚN METODOLOGÍA PROPUESTA.

Posteriormente después de realizar la etapa 1, se procede a agrupar los envases para dar forma a los casetones y para los muros no estructurales siguiendo los siguientes pasos:

2.2.1. PASO 1. DISPOSICION DE LOS ENVASES

Los envases son colocados verticalmente con la tapa hacia arriba y en algunos casos las posiciones de los envases fueron modificadas de acuerdo a las configuraciones establecidas anteriormente como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Dando forma a un cubo de botellas.

Las medidas de los casetones varían de acuerdo al tipo de envase que se utiliza, es decir que los casetones hechos de envases de más de 1.5 litros tienen dimensiones mayores debido al volumen y forma de las botellas, ayudando a ocupar mayor espacio con una cantidad menor de envases

2.2.2. PASO 2. AMARRADO DE ENVASES

• CASETONES DE 4 Y 6 ENVASES

Una vez organizadas las botellas en forma de cubo se amarran entre ellas para garantizar que los envases no se abran al aplicar las cargas. El amarrado se les realiza a 4 envases por separado si los casetones cuentan con 2 filas y 2 columnas, también se amarran de a 6 envases cuando los casetones cuentan con 3 filas y 2 columnas como se muestra FIGURA. 1. Este amarre se realiza a diferentes alturas de las botellas utilizando alambre, tiras de plástico de las mismas botellas, cinta o papel vinipel.

Estos módulos pequeños facilitan el armado de los casetones ya que permite trabajar los envases al momento de realizar el amarrado de las botellas y todos permanezcan en un solo lugar sin moverse.

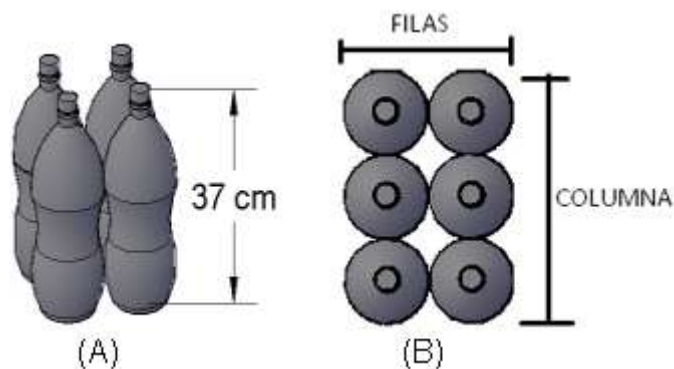


FIGURA. 1 (A) CASETONES DE 4 ENVASES. (B) CASETONES DE 6 ENVASES
FUENTE: PROPIA

- **CASETONES DE 12 A 24 ENVASES**

Realizada la unión de los módulos pequeños se procede a unirlos y así generar un módulo mucho más grande como se muestra en la FIGURA. II, los cuales se deben de amarrar con alambre, cinta o papel vinipel a dos alturas de los envases, una estará en la parte superior cerca de las tapas y el otro estará en la parte inferior cerca de la base de la botella.

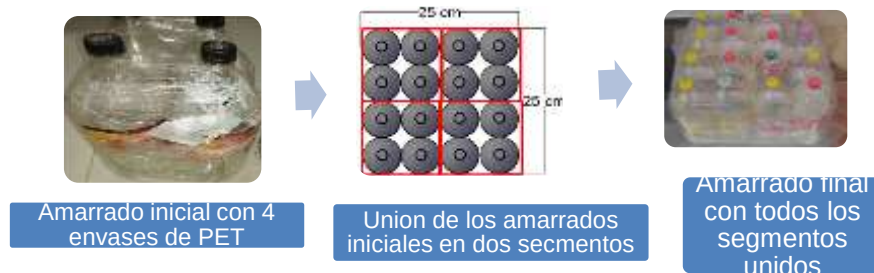


FIGURA. II PROCESO DE ARMADO DE LOS CASETONES DE 12 A 24 ENVASES.
FUENTE: PROPIA.

2.3. ETAPA 3: DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS PROTOTIPOS DESARROLLADOS Y VERIFICAR SU POTENCIAL UTILIZACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS.

En esta etapa se pretende determinar la capacidad de carga de los casetos por medio de ensayo de carga haciendo uso de sacos de cemento (50 kg), ladrillos (4.5 kg), una lámina de acero (19,2 kg), dos personas de 71 y 99 kg. Este ensayo se debe realizar debido a que las dimensiones de algunos casetones son muy grandes y no se pueden instalar en la máquina de compresión. Otro ensayo es el de resistencia a la compresión el cual se utiliza una prensa hidráulica conocida como máquina de compresión universal en la que se le aplica una carga al casetón hasta que este se deforme debido a que se prensando envases PET. Estos ensayos son necesarios debido a que al momento de construir una placa de entre piso los casetones deben de soportar el peso del concreto y de los obreros.

Por otra parte, para los muros no estructurales se estableció la estructura y el amarrado de los módulos en las placas con el fin de garantizar que estos no colapsen.

2.4. ETAPA 4: REALIZAR COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES DE LOS CASETONES CONVENCIONALES Y ESTIMAR LOS COSTOS DE LA ELABORACIÓN DE LOS PROTOTIPOS COMPARADOS CON LOS DESARROLLOS CONVENCIONALMENTE.

Para poder garantizar que los casetones y los muros no estructurales en envases PET reciclado sean productos competitivos ante los materiales que en la actualidad se manejan en la fabricación de casetones y en muchos casos también utilizados en muros como lo es el icopor, se pretende realizar el comparativo de las propiedades del PET frente a los del icopor, la guadua o madera para demostrar que el PET puede ser utilizado en las mismas actividades que utilizan el icopor o la guadua generando la misma función y permitiendo disminuir la cantidad de residuos generados en una construcción.

3. RESULTADOS

3.1. ETAPA 1: LIMPIEZA DEL MATERIAL PET RECOLECTADO PARA EL DESARROLLO DE LOS PROTOTIPOS DE CASETONES Y MUROS NO ESTRUCTURALES.

3.1.1. RECOLECCION

- Se buscaron los envases en varios lugares de Villavicencio como universidades, barrios, canchas sintéticas, casas de familia y colegios.

- Se estableció un vehículo de recolección para facilitar el traslado de gran cantidad de envases
- Los envases fueron depositados en una vivienda en el barrio el popular en la que se les realizó la desinfección de los envases.

3.1.2. DESINFECCIÓN

- El material PET debe estar limpio y desinfectado para evitar problemas relacionados de contaminación y olores en el desarrollo de los prototipos.
- Los envases fueron puestos en un recipiente con agua y jabón para poder limpiar el interior de los envases.
- Posteriormente se insertaron en otro recipiente el cual contenía agua con cloros para la respectiva desinfección del interior y exterior de los envases con el fin de eliminar bacterias o microorganismos que afecten la salud humana
- Se retiraron las etiquetas presentes en cada envase
- cada envase debe de contar su tapa para garantizar que el aire del interior de los envases no se salga y así no se deformen con facilidad, también permite que no se contamine nuevamente de bacterias.
- Finalmente se deben de poner a escurrir

3.2. ETAPA 2: REALIZACIÓN DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE LOS MUROS NO ESTRUCTURALES Y CASETONES FORMULANDO DIFERENTES CONFIGURACIONES SEGÚN METODOLOGÍA PROPUESTA.

3.2.1. DISEÑO DE CASETONES CON ENVASES PET

- **MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DEL CASETÓN BOTELLAS PET**

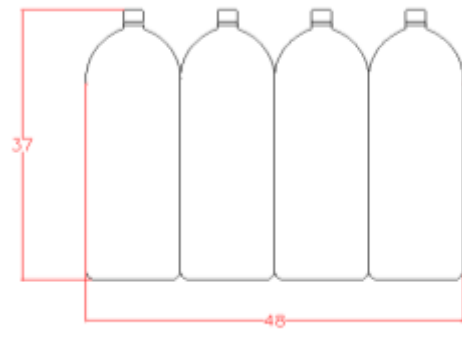
TABLA I. MATERIALES UTILIZADOS PARA EL CASETON

MATERIALES	DEFINICION
ENVASES PET	Las cuales se encuentren en buen estado, sin presentar abolladuras y que contaran con su tapa. Una de las condiciones que se establecerá es que Las botellas tengan el mismo tamaño, esto con el fin de facilitar el proceso de construcción y su uniformidad geométrica, permitir que dicho casetón sea más compacto y por lo tanto presente mayor resistencia
CARTON	El cartón utilizado es el corrugado; se escogió este tipo de cartón debido a su resistencia y a la facilidad de adquisición, este fue recolectado en almacenes de cadena. La función del cartón es la de proporcionar mayor rigidez y brindar una superficie plana y pareja para permitir que las cargas sean repartidas uniformemente.
PLASTICO	La principal función del plástico es la de aislar el cartón del concreto, para evitar la absorción de humedad de parte del cartón.
MALLA DE ACERO	Su principal función es de proporcionar mayor resistencia al casetón y poder soportar las cargas aplicadas

- **DIMENSIONES DE CASETON**

En la FIGURA. III se puede apreciar el número de envases que serán utilizados en sentido longitudinal con dimensiones de 37 cm de altura y de 48 cm de longitud la cual es cubierta por 4 botellas.

FIGURA. III . VISTA DE CORTE LONGITUDINAL DE LA BOTELLA
FUENTE: PROPIA



En la **FIGURA. IV** se aprecia el número de botellas que serán puestas en sentido transversal con dimensiones de 37 cm de altura y de 36 cm de longitud como se encuentra estipulado en la **TABLA II** para los cuales se necesitan aproximadamente 3 botellas.

FIGURA. IV CORTE TRANSVERSAL DEL CASETÓN
FUENTE: PROPIA

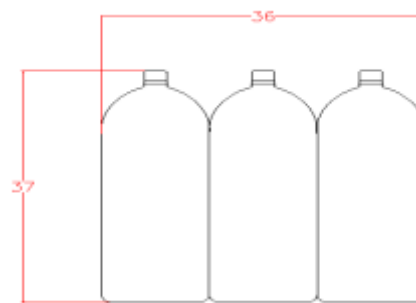


TABLA II. DIMENSIONES DEL CASETÓN
FUENTE: PROPIA

DESCRIPCIÓN	DISTANCIA	UNIDADES
Base	46	Cm
Altura	37	Cm
Ancho	36	Cm

- MODELO EN 3D DEL CASETON**

En la

FIGURA. v**Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra la estructura en 3D de cómo quedará la estructura de los casetones, el cual tendrá aproximadamente 12 o más envases, cinta, plástico como se establecidos en la **TABLA III**.

FIGURA. V MODELODIGITAL 3D DEL CASETÓN
FUENTE: PROPIA



TABLA III. CANTIDAD DE MATERIALES A UTILIZAR PARA EL CASETÓN.
FUENTE: PROPIA

DESCRIPCIÓN	LONG.	UNIDADES
Cantidad de botellas	12	Unid.
Cantidad de plástico	10	m ²
Cinta	6	m
Alambre	20	m

En la **FIGURA. VI** se muestra el prototipo del casetón para el que se utilizaron 16 envases de 3 litros, malla de gallinero, papel vinipel y alambre. Este prototipo es 1 de los 13 que se realizaron para las pruebas de cargas

FIGURA. VI MODELO 3D DEL CASETÓN
FUENTE: PROPIA



3.2.2. MUROS NO ESTRUCTURALES.

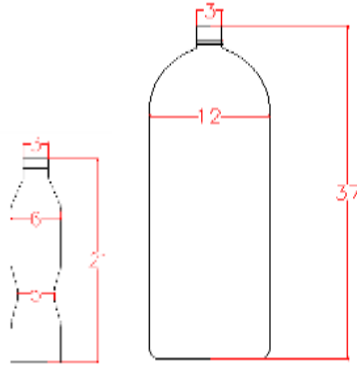
Estos muros no estructurales estarán llenos de envases PET, los cuales pueden formar una estructura auto portante capaz de soportar las cargas sin deformarse y además permitir un bajo peso. Este material estará sujetado por dos mallas electrosoldadas a los dos lados de las caras del muro (cara interior y cara exterior), adicionalmente contará con malla de vena para la aplicación del mortero o pañete.

Como material de soporte se utiliza envases PET, para algunas obras solo se utilizara envases pequeños con las dimensiones mostradas en la **TABLA IV** y en la **FIGURA. VII** posteriormente este sistema no contará con dimensiones específicas ya que este se instalará de forma continua, teniendo como limitante las dimensiones de la malla electrosoldada utilizada como soporte.

TABLA IV DIMENSIONES DE ENVASES
FUENTE: PROPIA

Diámetro de envases pequeños	6 cm
Diámetro de envases grandes	12 cm
Altura envases pequeños	21 cm
Altura envases grandes	37 cm
Diámetro tapa	3 cm

FIGURA. VII MODELO DE LA BOTELLA Y SUS DIMENSIONES
FUENTE: PROPIA

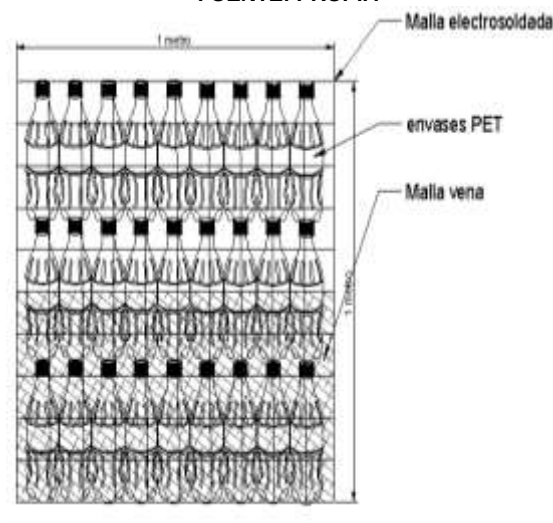


- **CARACTERISTICAS DE LOS MUROS**

Estos muros se construirán con la unión de módulos con dimensiones de 1 metro por 1 metro en los que se ocuparán 27 envases utilizando volúmenes de 3 litros, además para la utilización de envases de mejor volumen se calcula que se utilizara aproximadamente entre 80 a 100 envases como se muestra en la **FIGURA. VIII.**

Esto con el fin de facilitar la instalación de los envases debido a que si no se utiliza la modulación se tendrá dificultades al momento de poner los envases ya que no se podrán amarrar y quedarán sueltos.

FIGURA. VIII ESTRUCTURA MURO NO ESTRUCTURAL CON NÚCLEO DE ENVASES PET
FUENTE: PROPIA



En la **FIGURA. IX** **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra un modelo digital en 3D de la estructura a escala del muro no estructural con envases PET. En la **FIGURA. X** se muestra un modelo real de un módulo del muro no estructural, los cuales tendrán que ser enganchados entre sí para darle forma y firmeza, además estará anclado a dos barras longitudinales llamadas través para dar rigidez y firmeza.

FIGURA. IX MODELO 3D DE LOS MUROS NO ESTRUCTURALES
FUENTE: PROPIA

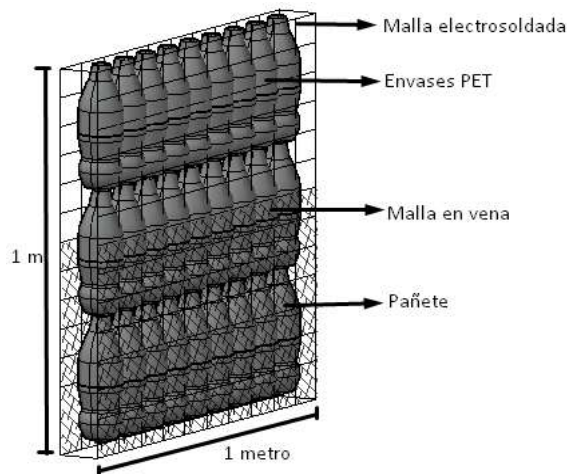


FIGURA. X MODELO MURO NO ESTRUCTURAL CON ENVASES 3 LITROS
FUENTE: PROPIA



- **ANCLAJE DEL MURO NO ESTRUCTURAL**

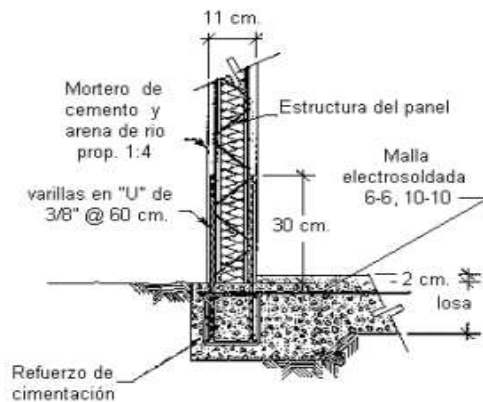
De acuerdo a lo establecido en la norma sismo resistente del 2010 (NSR 10) específicamente en el capítulo E, los muros no estructurales deben de amarrarse con los muros perpendiculares a su plano y los diafragmas [10] .

Para la construcción de los muros en losas de piso se debe habilitar varillas de diámetro de 3/8 en ambos sentidos por donde se proyecta pasar el muro, se debe excavar zanjas de 20 x 30 cm para poder colocar contra trabes, los cuales se forman con 4 barras de 3/8 y estribos de 1/4 a cada 60 cm donde se colocan los bastones en “U” de 3/8 con una altura de 40 cm donde 10 cm quedan embebidos y el restante quedan para amarrar el muro como se muestra en la FIGURA. XI y FIGURA. XII posteriormente para losas de entre piso se debe realizar la colocación de los bastones en “U” en las vigas o viguetas de la losa [11].

FIGURA. XI DETALLE DEL ANCLAJE DEL MURO CON NÚCLEO DE ICOPOR
FUENTE: PROPIA



FIGURA. XII DETALLE DEL ANCLAJE DEL MURO CON NÚCLEO DE ICOPOR
FUENTE: INNOVACIÓN AL SISTEMA CONSTRUCTIVO DE PANELES DE ESPUMA DE POLIESTIRENO EXPANDIDO, PARA INCORPORACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES, EN CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA.



3.3. ETAPA 3: DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS PROTOTIPOS DESARROLLADOS Y VERIFICAR SU POTENCIAL UTILIZACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS.

3.3.1. PRUEBA DE CARGA PARCIAL ESTATICA

Esta prueba se realizó a los casetones mostrados en la **TABLA V** para los que se utilizaron materiales de carga mostrados en la **TABLA VI**.

TABLA V DESCRIPCIÓN DE LOS CASETONES UTILIZADOS PARA LAS PRUEBAS DE CARGA
FUENTE: PROPIA

CASETON N°	VOLUMEN	UNIDAD	ENVASES POR FILA	ENVASES POR COLUMNAS	ENVASE TOTAL	PRUEBA
11	3	litros	4	4	16	1
1,2,3,4	2.5	litros	4	4	16	6
12	2.5	litros	4	3	12	3
5	1.5	litros	4	4	16	2
13	0.6	litros	3	6	18	4

10	2.5	litros	4	4	16	5
----	-----	--------	---	---	----	---

TABLA VI MATERIALES PARA PRUEBAS DE CARGA (KG)
FUENTE: PROPIA

MATERIAL DE CARGA	PESO (KG)
BLOQUE LADRILLO	4.5
BULTO DE CEMENTO	50
PERSONA 1	71
PERSONA 2	99
LAMINA DE HIERRO	19.20

Cada uno de los casetones soportaron diferentes cargas como se muestra en la **GRAFICA 1** debido a la variación en las dimensiones de los casetones, el volumen de los envases y al material utilizado para el amarrado de los envases. En la **TABLA VII** se especifican los casetón a los cuales se le realizo la prueba y la carga soportada por cada uno.

TABLA VII. PRUEBAS DE CARGA PARCIAL ESTATICA DE CADA CASETON
FUENTE: PROPIA

CASETON N°	PRUEBA N°	CARGA SOPORTADO (Kg)
11	1	207
5	2	235
12	3	254.2
13	4	155.2
10	5	218.2
1,2,3,4	6	254.2

GRAFICA 1 CARGAS ESTATICAS PARCIAL DE CADA CASETON
FUENTE: PROPIA



Como se puede observar en la **GRAFICA 1** la prueba 3 y 6 fueron la que obtuvieron la mayor carga posible con la diferencia de su configuración, aun así se observa que entre más grande sea la botella y su área, tendrá una mejor resistencia, como también que entre más botellas el área del prototipo se verá menos afectada soportando mucho mejor; como se puede ver en la prueba 4 el cual era nuestro casetón más pequeño donde se obtuvo un valor bajo debido a que en la esquina del prototipo había una botella con una tapa defectuosa haciendo que se partiera y no hubiera presión del aire dentro de la botella, doblándose y haciendo que el peso se fuera para el lado defectuoso y colapsando, aun así soporto más de 100 kilogramos que es nuestra punto base.

3.3.2. PRUEBAS MAQUINA DE COMPRESION

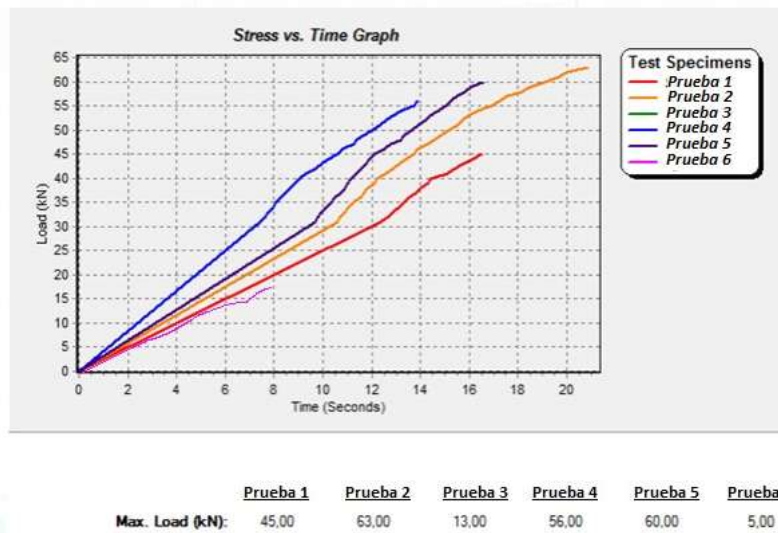
En la **TABLA VIII** se describen cada uno de los casetones utilizados en la maquina universal de compresión, allí se encuentra el volumen del envase utilizado, el número de envases por fila y por columna, el número de envases utilizados en cada casetón y también la configuración de cada casetón.

TABLA VIII. DESCRIPCIÓN DE LOS CASETONES UTILIZADOS EN LA MÁQUINA DE COMPRESIÓN
FUENTE: PROPIA

CASETON N°	VOLUMEN	UNIDAD	ENVASES POR FILA	ENVASES POR COLUMNAS	ENVASE TOTAL
1	2.5	Litros	2	2	4
2	2.5	Litros	2	2	4
3	2.5	Litros	2	2	4
4	2.5	Litros	2	2	4
5	2	Litros	4	4	16
6	0.5	Litros	4	3	12
7	0.6	Litros	4	4	16
8	0.4	Litros	4	4	14
9	0.575	Litros	4	4	16
10	2.5	litros	4	4	16

En la **GRAFICA 2** se encuentran los resultados de las pruebas de compresión del casetón 1 al 6 la cual se relaciona la carga aplicada en KN vs el tiempo en segundo. En las pruebas 1,2,3,4 se evidencian que los casetones soportan una carga promedio 30 KN antes de ser deformadas permanentemente y para las pruebas realizadas con cargas estática donde los casetones soportaron un peso de 254 kg. Esta variación en la carga aplicada se debe a que en la prueba de compresión con la maquina universal se permitió una deformación permanente (estado plástico) en los casetones y en la prueba de carga estática los casetones presentaron deformaciones elásticas, es decir, no presentaron deformaciones permanentes, debido a que no se contaba con más elementos para cargar los casetones.

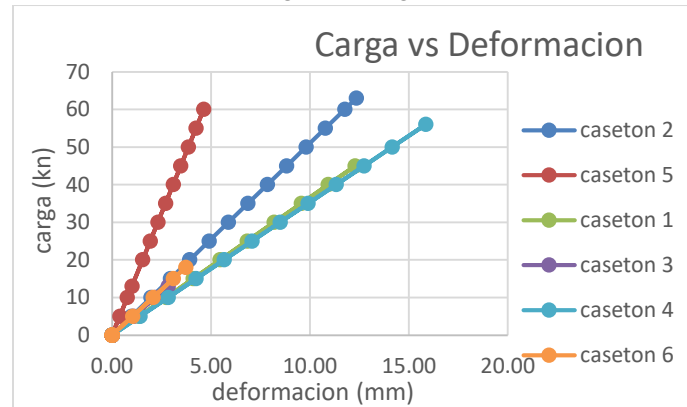
GRAFICA 2. CARGAS ESTATICAS PARCIAL DE CADA CASETON
FUENTE: PROPIA



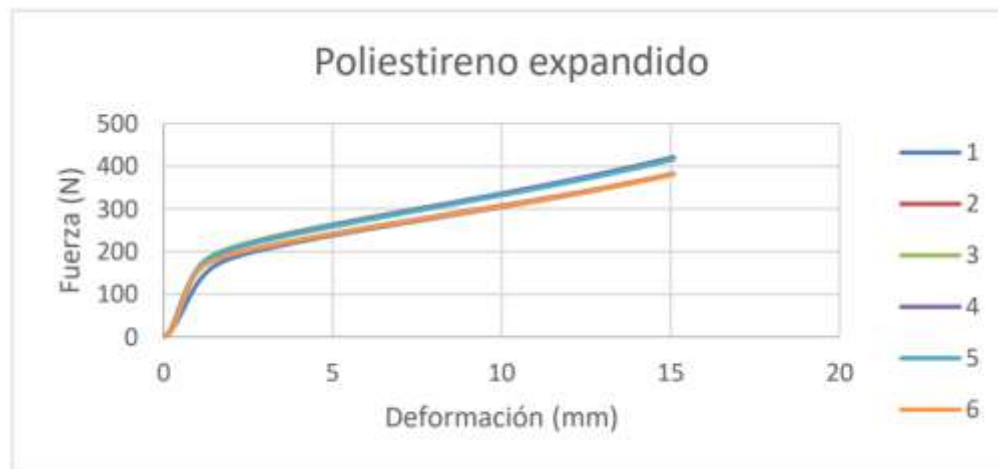
En la **GRAFICA 3** el comportamiento es lineal hasta su carga máxima aplicada, debido a que se están ensayando envases los cuales su núcleo no es sólida en su interior, lo que permite que la deformación sea directamente proporcional a la carga que se aplica ya que el material no falla súbitamente, posteriormente

los envases comienzan un comportamiento plástico que en algunos casos vuelven no a su estado natural, forma y presión en la botella.

GRAFICA 3. PRUEBAS DE CARGA COMPRESIÓN VS DEFORMACIÓN PRUEBA (1,2,3,4,5,6)
FUENTE: PROPIA



De acuerdo al informe tomado como referencia con el nombre de ensayo de poliestireno expandido tratado, de la empresa ensatec, el cual tuvo como objetivo el ensayo de determinar la resistencia a compresión de unas muestras de poliestireno expandido, donde se puede ver en esta grafica la resistencia a compresión que es el resultado entre la fuerza máxima de compresión alcanzada cuando la deformación relativa, en el punto de plástico o rotura, se utilizó probeta de ensayo de 50mm x 50 mm de superficie para estos ensayos; los cuales soportaron una fuerza aproximada entre 160 y 190 Newton o 0,16 y 0,19 Kilonewtons como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** [12].



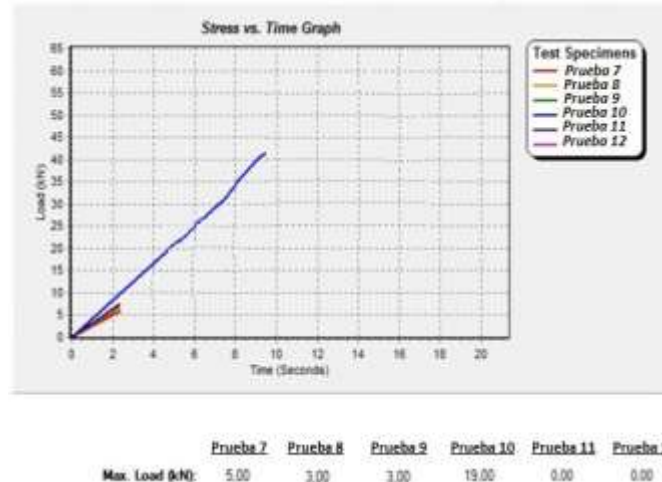
GRAFICA 4. REPRESENTACION GRAFICA DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESION
FUENTE: INFORME DE ENSAYO POLIESTIRENO EXPANDIDO TRATADO [12].

Realizando un comparativo entre los resultados de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observa que los ensayos de compresión de los casetones con envases PET arrojaron resultados 100 veces mejores que los resultados generados en el ensayo de poliestireno expandido a causa de dos factores importantes a tener presentes: el primer factor se debe a que las muestras del ensayo tomado como referencia cuentan con dimensiones de 5cm x 5 cm x 1cm (ancho, largo, espesor), mientras los prototipos ensayados contaban con dimensiones mayores a 37cm x 20cm x 22cm (ancho, largo, espesor).

El segundo factor se debe al tipo del material que se ensayó, ya que de acuerdo al artículo Comportamiento

mecánico del Polietileno Tereftalato (PET) y sus aplicaciones geotécnicas [13] tomado como referencia un solo envase de PET puede llegar a soportar cargas entre 63,59 hasta 661,39 Newton dependiendo de su volumen

GRAFICA 5. PRUEBAS DE CARGA DE COMPRESIÓN POR MEDIO DE MAQUINA UNIVERSAL 7,8,9,10
FUENTE: PROPIA



En la **GRAFICA 5** se muestran valores muy bajos debido a que los envases utilizados eran de volúmenes entre 500 mL y 600 mL, lo que afectaba la altura y su resistencia, pero aun así superando al material de poliestireno en consecuencia a que el poliestireno expandido soporta una fuerza de 0.18 kN antes de deformarse y los ensayos (7,8,9,10) su carga máxima fue de 3 kN siendo los casetones con menor dimensiones.

3.4. ETAPA 4: REALIZAR COMPARTIVO DE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES DE LOS CASETONES CONVENCIONALES Y ESTIMAR LOS COSTOS DE LA ELABORACIÓN DE LOS PROTOTIPOS COMPARADOS CON LOS DESARROLLOS CONVENCIONALMENTE.

Las pruebas que se consignan en la **TABLA IX** se refieren a materiales como el PET al cual se hace referencia a los gránulos de Tereftalato de polietileno (PET) antes ser transformados en envases, el icopor tanto de baja densidad como de alta densidad se refiere a productos de 1 m³ y para la guadua se utilizaron muestras con diámetro entre 9-11 cm.

TABLA IX. CARACTERÍSTICAS DEL PET, ICOPOR Y GUADUA.
FUENTE: MATERIALES EN INSTALACIONES DE TRATAMIENTO Y CONDUCCIÓN DE AGUA [14], ANAPE [15], ELAPLAS [16]

PROPIEDAD	PET	ICOPOR DE BAJA DENSIDAD				ICOPOR DE ALTA DENSIDAD			GUADUA ANGUSTIFOLIA	UNID.
		Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4	Tipo 5	Tipo 6	Tipo 7		
Densidad	1390	10	12	15	20	25	30	35	660	Kg/m ³
Módulo de elasticidad	3.7x10 ⁶	-	<1.5	1.6-5.2	3.4-7	5.9-7.2	7.7-9.6	9-10.8	1.913x10 ⁶	[KPa]
Resistencia a la rotura	90	0.025	0.035	0.050	0.075	0.1	0.135	0.184	6.9	[MPa]

En la **TABLA X** se comparan diferentes tipos de casetones utilizados como aligeramientos para placas de entre piso de la cual se comparan factores como el costo por unidad cubica, el peso, la vida útil, el costo por uso y la variación del precio del casetón con envases PET respecto a los demás.

TABLA X. COMPARATIVO DE FACTORES DE LOS CASETONES.
FUENTE: FORMALETAS ALIGERADAS PARA LOSAS DE ENTREPIOS (CASETONES) CON UN SISTEMA DE MONTAJE PLEGABLE Y MODULAR. [17]

MATERIAL	CASETON DE ICOPOR	CASETON DE GUADUA	CASETON EN LONA	CASETON EN PVC	PROTOTIPO CASETON PET
FIGURA					
COSTO POR M³	Perdido: \$ 99.000 COP Recuperable: \$ 183.000COP	\$ 48.500 COP	\$ 78.569 COP	\$ 927.098 COP	\$41.917 COP
PESO	5 kg		12.4 kg	8.75 kg	1.55 kg
VIDA UTIL	Perdido: 1vez máximo Recuérable: 13 veces máximo	No se recupera	Perdido: 1 vez máximo Recuérable: 3 veces máximo	Recuperable: Más de 40 veces con un buen manejo.	Recuperable: Más de 3 veces con un buen manejo.
COSTO POR USO RECUPERABLE	\$ 14.000COP	\$ 48.500 COP	\$ 26.189 COP	\$ 23.177,45 COP	\$ 13.972 COP
SOBRE COSTOS RESPECTO AL CASETON EN PET	0.2%	247.1%	87.4%	65.8%	0%

En la **TABLA XI** se muestra el comparativo de los factores relevantes como costos por m2, el peso por m2, si el material se puede recuperar y la variación de los costos respecto al muro de envases PET para los materiales utilizados en la construcción de muros divisorios.

TABLA XI. COMPARATIVO DE FACTORES PARA MUROS ALIGERADOS
FUENTE: DURAPANEL [18], FUENTE: ACONSTRUCTORAS [19]

MATERIAL	DURAPANEL	BLOQUE	DRAY WALL	ENVASES PET
FIGURA				
COSTO POR M²	\$ 153.600 COP	%148.400 COP	111.700 COP	\$98.805 COP
PESO POR 1 M2	116 Kg	256 Kg	25 Kg	110 Kg
RECUPERABLE	No	No	Si	No
SOBRE COSTOS RESPECTO AL MURO EN PET	55.45%	50.19%	13.05%	0%

4. CONCLUSIONES

- Los envases PET recolectados no pueden tener espesores menores a 0.05mm ya que no soportarían las cargas impuestas; se determinó que los envases deben tener tapa y estas no pueden estar defectuosas, puesto a que la presión del aire dentro de la botella proporciona más resistencia a la carga sobre impuestas.
Algunos envases doblados lograron recuperar su forma de fábrica, naturalmente los que no pudieron recobrar su aspecto original fueron reciclados; los envases pueden tener cualquier forma y volumen gracias a que se pueden generar diferentes tipos de modelos de casetones, pero los prototipos si deben tener las mismas dimensiones para que el casetón o muro sean uniformes.

- Como se pueden realizar diferentes prototipos de casetón y muros se cubre las solicitudes específicas en una obra civil.
- En cuanto al factor económico, se evidencia que los casetones cuentan con un precio más asequible que las otras propuestas existentes en el mercado. A este punto, conviene distinguir (a nivel de porcentajes) los costos de fabricación en contraste a diferentes materiales que se encuentran en el mercado, como ejemplo el fabricado a base de icopor, el cual se expresa con un 0.2 % más económico frente al material PET. Por otro lado, el fabricado a base de guadua genera un sobre costo del 247.1 % en comparación al propuesto, en otras palabras, es más costoso trabajar con este tipo de material. Desde otra perspectiva, el PET es un material que genera una reducción de costos de carácter relevante, en el comparativo de una construcción de 4 niveles con un consumo de 78.26 m³ de casetón. Se evidencia que la disminución en el costo del casetón de icopor es de \$11.041.530 millones de pesos.
- La primera configuración teórica que se planteo fue la que mejor se acopló al proyecto, dado que las demás configuraciones dificultaban la elaboración del casetón entorno a que las formas de los extremos de las botellas son irregulares; como también de ser arduo el trabajo de atarlas y que permanezca inmóviles.
- Las pruebas de resistencia demuestran que la configuración 1 es la de mejor comportamiento, debido a que al modificar en un solo sentido la orientación de la botella (de manera vertical con la tapa hacia arriba) presenta mayor resistencia. Para ello se realizó 2 pruebas de carga, en la primera se utilizó cargas estáticas y en la segunda prueba se utilizó la máquina de compresión universal, se demostró y precisó que dicha configuración sobrepasa los 200 kg, pero si se le realiza la comparación con la configuración de tipo 2 es aquel que sigue en la evaluación no fue tan favorable. Paralelamente, se realizó la prueba 6 del casetón 11 que aprobó la prueba de resistencia de una manera ejemplar, la cual resistió 254,2 kg (al igual que la prueba 3) debido al tamaño y la cantidad de envases. los prototipos con envases de volúmenes grandes entre 1.5 LT y 3 LT, son las que soportan más cargas porque sus caras son amplias a su vez el cuerpo es largo haciendo que el extremo de la botella en forma de cúpula distribuya el peso por toda la botella, es por ello que las propiedades de la sección como su centroide e inercia sean aprovechados, así mismo entre más cantidades de envases necesite el prototipo se distribuye mejor el peso.
- La malla metálica y alambre dulce dan rigidez y equilibrio al casetón pues hacen que el elemento no se mueva o se desacomoden los envases al momento de aplicar carga las cargas
- Los casetones probados desempeñaron resistencia optimas puesto a que todos los prototipos resistieron más de 100 kilogramos hasta el casetón 13 que tenía una tapa defectuosa y dimensiones pequeñas.
- Los prototipos de muros PET son de tipo semejantes a la mampostería no estructural y deben armarse por módulos para que no se colapse el muro, para la pega del mortero y el pañete se debe utilizar una malla en vena, puesto a que las botellas son de polietileno y cemento no de pega no se diere a ellas.

- El componente más favorable es el factor ambiental, puesto que es un material reciclable, es fácil de conseguir y su elaboración no está compleja. Proporcionando un aligeramiento bueno.
- Cabe concluir que un gran impacto que se observa es el precio del casetón y muro basado en que los materiales convencionales comparados con el prototipo, como pudimos ver en los ejemplos de las **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** puesto a que la materia prima del proyecto reduce el costo, los materiales que se asemejan en el precio con los prototipos son, en el caso de los casetones es el casetón de poliestireno expandido con \$183.000 pesos x m3 generando un sobre costo de 0.2% frente a \$41.917 pesos del casetón de envases PET y en el caso de los muros no estructurales, el muro de DryWall tiene un costo de \$111.700 pesos x m2 generando un sobre costo de 15.38% frente a \$96.805 pesos de los módulos de envases PET ; siendo los materiales más utilizados en la actualidad, teniendo precios cercanos al proyecto.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezcamos a Dios por permitirnos llegar hasta este punto como estudiantes, a los profesionales que estuvieron presentes directa o indirectamente en la elaboración de este trabajo, a nuestros padres por permitirnos cursar esta carrera profesional.

REFERENCIAS

- [1] IKOPORTEX , «IKOPORTEX,» 2011. [En línea]. Available: <http://www.ikoportex.nu/>. [Último acceso: 25 09 2020].
- [2] Greenpeace, Universidad de los Andes, MASP, «SITUACION ACTIAL DE LOS PLASTICOS EN COLOMBIA Y SUS IMPACTOS EN EL MEDIO AMBIENTE,» NOVIEMBRE 2019. [En línea]. Available: http://greenpeace.co/pdf/2019/gp_informe_plasticos_colombia_02.pdf. [Último acceso: 2 08 2020].
- [3] P. A. M. Ramos, «Propuesta para la gestión integral de la cadena de valor del reciclaje del plástico en las asociaciones de recicladores en la ciudad de villavicencio.,» 2019. [En línea]. Available: https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1784&context=ing_ambiental_sanitaria. [Último acceso: 2 08 2020].
- [4] Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible , «El ambiente lo es todo,» Minambiente , 2019. [En línea]. Available: <https://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias-minambiente/3204-el-pais-sigue-avanzando-en-la-gestion-integral-de-residuos-solidos>. [Último acceso: 2 08 2020].
- [5] M. M. ARISTIZABAL, «PROHIBICION DEL ICOPOR,» 2017. [En línea]. Available: http://www.andi.com.co/Uploads/PL%20005-17%20Prohibicion%20del%20Icopor_636540265379054429.pdf. [Último acceso: 3 08 2020].
- [6] «Poliestireno expnadido,» Texto científico.com, 22 10 2005. [En línea]. Available: <https://www.textoscientificos.com/polimeros/poliestireno-expandido>. [Último acceso: 3 08 2020].
- [7] GREENPEACE, «COLOMBIAN, MEJOR SIN PLASTICO,» 2018. [En línea]. Available: http://greenpeace.co/pdf/reporte_plasticos.pdf. [Último acceso: 22 12 2020].

- [8] Astm C39/c39M-18, «ASTM C39/C39M - 18,» 01 2018. [En línea]. Available: <https://www.astm.org/Standards/C39C39M-SP.htm>.
- [9] IBERICAenvases, «IBERICAenvases,» IBERICAenvases, 22 08 2018. [En línea]. Available: <http://ibericaenvases.com/desinfectar-envases-plastico/>. [Último acceso: 13 08 2019].
- [10] MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, «REGLAMENTO OLOOMBIANO DE CONSTRUCCION SISMO RESISTENTE (NSR-10),» 2010. [En línea]. Available: <https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/5titulo-e-nsr-100.pdf>. [Último acceso: 9 08 2020].
- [11] a. m. l. g. a. Alfonso moreno, «INNOVACIÓN AL SISTEMA CONSTRUCTIVO DE PANELES DE ESPUMA DE POLIESTIRENO EXPANADIDO, PARA INCORPORACION DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES, EN CONSTRUCCION DE VIVIENDAS,» 8 JULIO 2011. [En línea]. Available: https://www.aepro.com/files/congresos/2011huesca/CIIP11_0715_0730.3297.pdf. [Último acceso: 20 09 2020].
- [12] Ensatec, «Poliestireno expandido tratado,» 12 07 2017. [En línea]. Available: <https://endurpol.es/wp-content/uploads/Informe-Ensatec-Endurecido.pdf>. [Último acceso: 18 11 2020].
- [13] Botero Jaramillo, Eduardo; Muñoz, Liliana; Ossa, Alexandra; Romo, Miguel , «Comportamiento mecánico del Polietileno Tereftalato (PET) y sus aplicaciones geotécnicas,» *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, nº 70, pp. 207-2019, 2014.
- [14] Ramos carpio, Maria Ruiz, «Materiales en Instalaciones de Tratamiento y Conducción de Agua,» [En línea]. Available: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:QH3XsE36DdMJ:bibing.us.es/proyectos/abreproy/4102/fichero/2.%2BMATERIALES%2BPOLIM%25C3%2589RICOS.pdf+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=co>. [Último acceso: 10 08 2020].
- [15] Asociacion nacional de poliestireno expandido, «ANAPE,» serina.es, 2017. [En línea]. Available: <https://www.serina.es/escaparate/verpagina.cgi?idpagina=2947&refc>. [Último acceso: 10 08 2020].
- [16] elaplas(elastomero y plasticos), «elaplas,» [En línea]. Available: <http://www.elaplas.es/wp-content/uploads/Ficha-tecnica-politereftarato-de-etileno-PET1.pdf>. [Último acceso: 10 08 2020].
- [17] J. P. A. C. Laura Marcela Gomez Barrera, «FORMALETAS ALIGERADAS PARA LOSAS DE ENTRE PISO CON UN SISTEMA DE MONTAJE PLEGABLE Y MODULAR,» 03 2018. [En línea]. Available: https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/3338/Formaletas_aligeradas_para.pdf?sequence=1&isAllowed=y. [Último acceso: 6 08 2020].
- [18] INDUSTRIA CONCONCRETO, «DURAPANEL,» [En línea]. Available: <http://sociedadcolombianadearquitectos.org/memorias/FNV/Durapanel.pdf>. [Último acceso: 5 11 2020].
- [19] Aconstructoras.com, «Aconstructoras.com,» [En línea]. Available: <https://www.aconstructoras.com/>. [Último acceso: 21 09 2020].