

EXPERIMENTAL EVALUATION OF ECO – FRIENDLY HOUSES MADE OF PLASTIC BOTTLES MODULES, FILLED WITH SAND AND REINFORCED WITH STEEL REBARPAPER TITLE

EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE VIVIENDAS ECO- AMIGABLES CONFORMADAS POR MÓDULOS DE BOTELLAS DE PLÁSTICO (PET) RELLENAS DE ARENA Y REFORZADAS CON ACERO CORRUGADO

Alexander Solarte Benavides
Docente Universidad Santo Tomás
Villavicencio, Colombia,
alexandersolarte@ustavillavicencio.edu.co
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0087-9559>

Hugo Alfredo Silva Ribón
Docente Universidad Santo Tomás
Villavicencio, Colombia,
hugosilva@ustavillavicencio.edu.co
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3851-6614>

Elías Daniel David Nova Burgos
Docente Universidad Santo Tomás
Villavicencio, Colombia,
eliasnova@ustavillavicencio.edu.co
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-5853-4230>

Gabino Andrés Ramírez Navarro
Estudiante Universidad Santo Tomás
Villavicencio, Colombia,
gabinoramirez@ustavillavo.edu.co
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4555-6929>

ABSTRACT

This paper presents the experimental evaluation of eco-friendly houses made up of polyethylene terephthalate or PET plastic bottles modules, reinforced with corrugated steel. The experiment was conducted at Universidad Santo Tomás, Villavicencio Campus, specifically at Aguas Claras. The PET bottles and the corrugated steel bars were configured vertically to give better lateral stability, compression tests were carried out on columns and bending tests on beams with the formed modules. Likewise, an experimental model was validated vs a numerical

model. The physical structure consisted of a housing prototype of 2 m by 2 m on each side, vertical and horizontal loads were applied simulating gravitational, and earthquake loads respectively. The finite element numerical model was made on SAP2000 software, deformations and stresses of structural elements were determined. The behavior of the structure was verified, evaluating that meets the requirements of the NSR10. It is concluded that structure supports vertical loads with a maximum ISE of 0.51 and doesn't present excessive deformations according to an IFL of 0.045.

Keywords: Building Materials, PET Bottles, Structural design, Sustainable construction.

RESUMEN

La evaluación experimental de viviendas eco-amigables conformadas por módulos de botellas de tereftalato de polietileno o PET, reforzadas con acero corrugado se desarrolla en la presente investigación. Los ensayos experimentales se realizaron en los laboratorios de estructuras de la Universidad Santo Tomás, en la Seccional Villavicencio. Se configuraron verticalmente las botellas PET y las varillas de acero corrugado para dar mejor estabilidad lateral, se realizaron ensayos de compresión a columnas y flexión a vigas con los módulos conformados. Así mismo, se validó un modelo experimental vs. un modelo numérico, la estructura física consistió en un prototipo de vivienda de 2 m por 2 m por cada lado, se le aplicaron cargas verticales y horizontales simulando cargas gravitacionales y de sismo respectivamente. El modelo numérico en elementos finitos se realizó en el software SAP2000, se determinaron deformaciones y esfuerzos en los elementos estructurales. Se verificó el comportamiento de la estructura evaluando que haya cumplido con los requerimientos de la NSR10. Se concluye que la estructura soporta cargas verticales con un ISE máximo de 0.51 y no presenta excesivas deformaciones de acuerdo con un IFL de 0.045.

Palabras clave: Botellas PET, Construcción Sostenible, Diseño Estructural, Materiales de construcción.

INTRODUCCIÓN

La vida útil del plástico es muy corta, de algunos días, mientras que su proceso de descomposición es de hasta 500 años [1]. La producción actual de plásticos asciende a unos 460 millones de toneladas anuales, lo que equivale aproximadamente al 3,4% de la liberación de materiales causantes de efecto invernadero [2]. Actualmente, del total de plástico fabricado, solo el 9% ha sido sometido a procesos de reciclaje, mientras que el 12% ha sido incinerado y el 79% restante ha sido depositado en vertederos o ha acabado contaminando el medio ambiente [3]. Al ser un material poco biodegradable, ocupa un gran porcentaje del espacio en los rellenos sanitarios, genera altos costos de disposición y provoca un gran impacto ambiental ya que no se recomienda su incineración por la liberación de gases efecto invernadero [4].

La industria de la construcción experimenta constantemente alzas en los precios con variaciones anuales del índice de costos de construcción residencial hasta en un 9,12% y un alza de 22,86% en el precio del acero según el DANE [5], lo cual ha generado grandes aumentos en los costos de las viviendas. Además, en el año 2020, aproximadamente 17,9 millones de ciudadanos colombianos se encuentran en una situación de carencia de vivienda adecuada, lo que representa alrededor del 32,59% de la población, de acuerdo con las cifras del censo poblacional, llevado a cabo por el Departamento Nacional de Planeación, el Departamento Administrativo Nacional de Estadística y la Organización de las Naciones Unidas [6].

La combinación de estos factores ha llevado a los ingenieros al planteamiento de técnicas alternativas de construcción de viviendas que cumplan con estándares normativos, de seguridad, sostenibilidad y a la vez reducción de costos. En ese contexto, las opciones presentadas buscan la sustitución o reemplazo de materiales de construcción convencionales como el concreto y acero de refuerzo, por materiales más económicos, como el caso de [7], quienes utilizaron arena comprimida con brea asfáltica triturada mediante una prensa para generar bloques de construcción. Otra opción es utilizar materiales reciclados de construcción y demolición, como lo realizó [8], quienes realizaron la demolición de los residuos de una construcción mediante la máquina trituradora y utilizaron el material como agregado de su mezcla. Estas propuestas son válidas, sin embargo, generan una inversión adicional de energía para su conformación o procesamiento.

La posibilidad de utilizar un material de fácil adquisición y que se genere en masa como desechos, es una opción viable económicamente, ya que requeriría de una menor inversión de maquinaria para su obtención. Una opción viable es el caso de los materiales que se pueden obtener a partir del reciclaje. Samaniego e Israel [9] utilizaron botellas de tereftalato de polietileno (PET) molido y derretido y conformaron bloques tipo lego para armar la estructura. Esta propuesta es viable económicamente, pero el proceso de conformación de los bloques requiere de una máquina y el plástico derretido genera sustancias tóxicas para el humano según [4].

En virtud de ello, en este trabajo se propone un nuevo sistema constructivo de viviendas Bio-amigables conformadas por módulo de botellas de tereftalato de polietileno (PET) rellenas de arena ubicadas de manera vertical, con la adición de una varilla de acero de refuerzo corrugado en los espacios vacíos. Se propone utilizar botellas PET obtenidas a partir de reciclable para aportar en la reducción de la contaminación, y no procesar este material, ya que generaría una inversión de energía adicional y la posibilidad de emitir sustancias tóxicas para el humano. Adicionalmente, se propuso la adición de una varilla de acero de refuerzo corrugado para aumentar la resistencia y ductilidad lateral de los elementos estructurales durante un sismo. Finalmente, este trabajo de investigación se centró en demostrar mediante la evaluación de un modelo en elementos finitos MEF y mediante ensayos experimentales en escala real, que el nuevo sistema constructivo propuesto es capaz de soportar las cargas de servicio para las cuales va a estar sometido según la norma de construcción sísmo resistente de Colombia (NSR-10).

En este contexto, los aportes de la investigación se enmarcan dentro del campo de la construcción sostenible al plantear una solución económica y promoción de la reutilización de materiales no degradables (botellas PET). El enfoque de evaluación experimental y numérica de la resistencia y estabilidad de la estructura genera datos de interés de caracterización de materiales para ingenieros y profesionales involucrados en el diseño y construcción de viviendas tendientes a un desarrollo urbano responsable y en armonía con la naturaleza.

1. MATERIALES Y METODOLOGÍA

1.1 CONFORMACIÓN DE MÓDULOS

La construcción de los elementos estructurales se realizó por medio de la conformación de módulos de botellas de diferentes capacidades volumétricas (400ml, 500ml y 600ml). Se rellenaron de manera individual cada botella con arena fina en tres capas, compactando entre cada capa, luego se unieron botellas de la misma configuración en grupos de cuatro y se ataron con alambre dulce en su perímetro, de tal manera que se conformara el espécimen, como se presenta en las siguientes figuras.



Figura 1. Conformación de Modulo PET.
Fuente: Autor.



Figura 2. Módulos PET almacenados.
Fuente: Autor.

1.2 DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO

Se llevó a cabo la elaboración de la composición de la mezcla de concreto con el objetivo de obtener una resistencia a la compresión de 28 MPa (4000 psi). Los resultados del diseño de mezcla del concreto por peso húmedo, densidad aparente, volumen y peso se muestra en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Diseño de Mezcla de concreto

MATERIAL	PESO HUMEDO	DENSIDAD APARENTE	VOLUMEN	PESO	
	Kg/m ³	Kg/m ³	m ³ /m ³	50 litros	
AGUA	142.5	1000	0.14	7.1	kg
AIRE	0	0	0.03	0	kg
CEMENTO FORTECEM TIPO UG	382.2	3100	0.12	19.1	kg
AGREGADO GRUESO (TAMAÑO MÁXIMO 3/8")	949.9	2636	0.36	47.5	kg
AGREGADO FINO (RÍO)	245.05	2570	0.09	12.25	kg
AGREGADO FINO LAV (ARENA PEÑA)	565.5	2601	0.21	28.27	kg
SIKA PLASTOCRETE	1.9	1120	0.002	0.1	kg
SIKA VISCOFLOW	1.15	1100	0.001	0.06	kg
TOTAL	2285.18		0.97		

Fuente: Autor.

1.3 ENSAYOS DE LABORATORIO

Se construyeron 3 especímenes de columna de dimensiones 18x18 cm² y 3 especímenes de vigas de dimensiones 18x18 cm². Estos elementos están conformados por módulos de botellas PET de tamaños 400ml, 500ml y 600ml rellenas de arena, reforzadas con acero corrugado de ½" pulgada y envueltas de malla de alambre (tipo gallinero). Los elementos se recubrieron con 5 cm de espesor de concreto según las especificaciones del diseño de mezcla. Con estos elementos se realizaron ensayos de compresión y flexión mediante la maquina universal de marca Alfa del laboratorio de Estructuras de la Universidad Santo Tomas.

1.3.1 Ensayos de compresión

Los ensayos de compresión se realizaron con los elementos conformados tipo columna. En la Figura 3 y Figura 6 se muestran los especímenes con botellas del tamaño 600 ml, en la Figura 4 y Figura 7 se muestran los especímenes con botellas del tamaño 400 ml y en la Figura 5 y Figura 8 se muestran los especímenes con botellas del tamaño 500 ml. Los desplazamientos máximos en la dirección principal de compresión, el valor de la fuerza y esfuerzo máximos obtenidos se muestran en la Tabla 2. Estos valores representan la fuerza axial nominal resistente y el esfuerzo nominal resistente de los elementos tipo columna.



Figura 3. Especímen columna 1.

Fuente: Autor.



Figura 4. Espécimen columna 2 antes del ensayo.
Fuente: Autor.



Figura 5. Módulos PET almacenados.
Fuente: Autor.



Figura 6. Módulos PET almacenados.
Fuente: Autor.



Figura 7. Módulos PET almacenados.
Fuente: Autor.



Figura 8. Módulos PET almacenados.
Fuente: Autor.

Tabla 2. Diseño de Mezcla de concreto

BOTELLA	DEFORMACIÓN VERTICAL MÁXIMA (MM)	FUERZA VERTICAL MÁXIMA (KN)	ESFUERZO MÁXIMO (MPA)
COLUMNA 1 (600ML)	1.692	76.00	3.378
COLUMNA 2 (400ML)	0.370	144.0	3.519
COLUMNA 3 (500ML)	2.820	58.00	1.760
PROMEDIO	1.627	92.67	2.890

Fuente: Autor.

1.3.2 Ensayos de flexión

Los ensayos de flexión se realizaron a los elementos tipo vigas, los cuales cuentan con los mismos módulos de botellas, barra de acero y malla de alambre como en los elementos de columnas. En la Figura 9 se presenta el espécimen con botellas del tamaño 600 ml, en la Figura 10 se muestra el espécimen con botellas del tamaño 400 ml y en la Figura 11 se muestra el espécimen con botellas del tamaño 500 ml. Los valores máximos de cortante y momento flector se presentan en la Tabla 3. Estos resultados representan el cortante y momento nominal resistente de los elementos.



Figura 9. Espécimen Viga 1
Fuente: Autor.



Figura 10. Espécimen Viga 2
Fuente: Autor.



Figura 11. Espécimen Viga 3
Fuente: Autor.

Tabla 3. Cargas Máximas soportadas por los especímenes a flexión

ESPÉCIMEN	CORTANTE (KN)	MOMENTO (KN-M)
VIGA 1 600ML	<i>7.50</i>	<i>1.03</i>
VIGA 2 400ML	<i>8.50</i>	<i>1.17</i>
VIGA 3 500ML	<i>7.50</i>	<i>1.03</i>
PROMEDIO	<i>7.83</i>	<i>1.08</i>

Fuente: Autor.

1.4 PROPUESTA ARQUITECTÓNICA DEL PROTOTIPO DE CASETA CON MUROS CONFORMADOS POR BOTELLAS PET

Para el prototipo se realizó el diseño arquitectónico de una caseta de dimensiones 2 metros por 2 metros, de una planta. En la *Figura 12* se muestra un modelo 3D que representa una simulación de la realidad del proyecto arquitectónico y en la *Figura 13* se muestra una vista en planta del plano arquitectónico.



Figura 12. Modelo 3D de propuesta arquitectónica
Fuente: Autor.

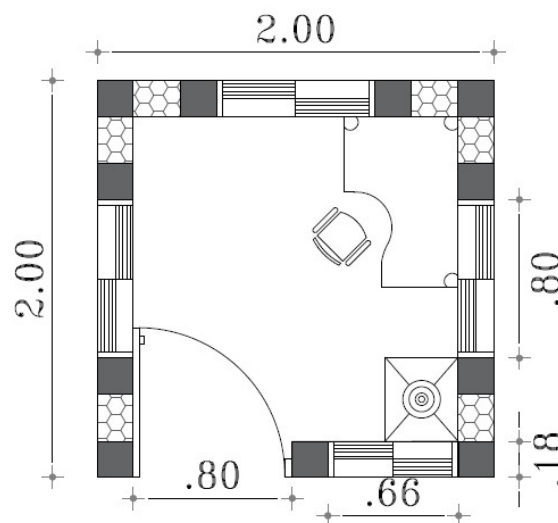


Figura 13. Plano arquitectónico de propuesta
Fuente: Autor.

1.5 PROCESO CONSTRUCTIVO DEL PROTOTIPO DE VIVIENDA

La construcción del prototipo de vivienda propuesto se realizó en el patio de los laboratorios de la Universidad Santo Tomás seccional Villavicencio, siguiendo las dimensiones propuestas en los planos arquitectónicos y el proceso constructivo recomendado según el Título E de la NSR-10, reemplazando bloques de arcilla por los especímenes propuestos en esta investigación. El prototipo de vivienda está conformado por cuatro columnas esquineras con dimensiones de 18x18 cm², cuatro vigas aéreas de 18x18 cm², cuatro vigas de cimentación de 25x25 cm², muros de 15 cm de espesor donde tres muros poseen vacíos para una ventana cada uno y un último para la puerta de entrada y salida. Las columnas, vigas aéreas y los muros se construyeron con los módulos conformados por la unión de 4 botellas, varillas de acero corrugado de ½ de pulgada en las columnas esquineras y de ¾ de pulgada para las zonas confinadas de los vacíos (soportes de las puertas y ventanas).

En las siguientes imágenes se evidencia el proceso constructivo. En la Figura 14, se muestra el replanteo, donde se marca el terreno para empezar las obras de excavación. En la Figura 15 y Figura 16, se muestran la conformación de vigas de cimentación y armado de elementos principales. En las Figura 17 y Figura 18, la conformación de columnas y el vaciado por gravedad de estas. En la Figura 19, la conformación de los muros con botellas PET. En la Figura 20, la conformación de las vigas aéreas. Y finalmente en la Figura 21, la instalación de la cubierta.



Figura 14. Replanteo de la obra
Fuente: Autor.



Figura 15. Conformación de vigas de cimentación
Fuente: Autor.



Figura 16. Aceros de columnas y zonas de confinamiento de puertas y ventanas.
Fuente: Autor.



Figura 17. Conformación de columnas por botellas PET

Fuente: Autor.



Figura 18. Vaciado de concreto en formaletas para columnas

Fuente: Autor.



Figura 19. Conformación de muros con botellas PET

Fuente: Autor.



Figura 20. Vaciado de vigas aéreas
Fuente: Autor.



Figura 21. Instalación de cubierta de estructura
Fuente: Autor.

1.6 Evaluación experimental del prototipo de caseta conformados por módulos PET

1.6.1 Ensayo de carga lateral

Se sometió la estructura experimental a pruebas de carga lateral con el objetivo de calibrar el modelo en elementos finitos con datos experimentales reales como se presenta en el Capítulo 7. Se construyó una plataforma con apoyos articulados para que la carga aplicada de manera vertical se transfiera a la estructura de forma horizontal. Este ensayo se evidencia en la Figura 22. La carga aplicada de manera

vertical total fue de 400 kg aproximadamente. En la Figura 23 se muestra el deformímetro, equipo utilizado para medir el desplazamiento lateral de la estructura debido a la fuerza generada de manera lateral. El desplazamiento total lateral obtenido fue de 0.1mm debido a la fuerza lateral generada.



Figura 22. Plataforma de transmisión de cargas laterales
Fuente: Autor.



Figura 23. Deformímetro equipado para medir el desplazamiento lateral
Fuente: Autor.

1.6.2 Ensayo de carga vertical

Sobre la estructura se construyó una plataforma para la transmisión de carga vertical, donde se ubicaron sacos de arena para representar las cargas de diseño como se presenta en la Figura 24 y la Figura 25. Se aplicó una fuerza de 700 kg en total que se distribuyeron en un área de 4 m², lo cual equivale a 175 kg/m². Siguiendo las recomendaciones de la norma NSR10 se realiza un avalúo y mayoración de cargas

como se muestra en la Tabla 4, determinando que las cargas de diseño máxima son 125.2 kg/m², evidenciando que son menores a la carga que soporto la estructura en el ensayo de carga vertical y demostrando que la estructura soporta las cargas de diseño en un periodo inferior al de fraguado de una vivienda convencional.



Figura 24. Aplicación de cargas verticales en plataforma sobre la estructura.
Fuente: Autor.



Figura 25. Sacos de arena simulando cargas verticales.
Fuente: Autor.

Tabla 4. Avalúo y mayoración de cargas según el Título B de la NSR10

CARGAS	VALOR [kg/m ²]	F.S. (NSR10)	CARGA U [kg/m ²]
VIVA	50	1,6	80
TEJAS	5	1,2	6
CORREAS	6	1,2	7,2
VIENTO	40	0,8	32
TOTAL [kg/m ²]			125,2

Fuente: Autor.

1.7 CALIBRACIÓN DEL MEF DEL PROTOTIPO DE VIVIENDA CON MUROS PET

A partir de los resultados experimentales reales obtenidos de los ensayos de compresión, flexión y carga lateral se realiza la calibración del modelo en elementos finitos (MEF). Se construyó un MEF para la plataforma de carga para establecer la fuerza lateral transferida a la estructura debido a la carga vertical aplicada en el soporte como se muestra en la Figura 27. Luego de obtener la fuerza lateral, se aplicó esa fuerza en el MEF de la estructura (Figura 26), simulando las condiciones a las que se expuso en el ensayo real. Se modificaron las magnitudes de las propiedades o características mecánicas de los materiales del MEF calibrándolas de tal forma que el desplazamiento lateral sea igual tanto en el modelo MEF como en el ensayo experimental. El módulo de Elasticidad del material con el que se calibró el modelo MEF fue de 3590.54 MPa.

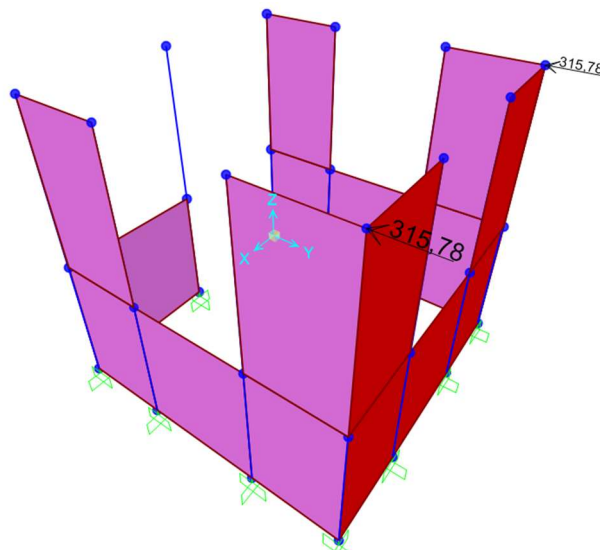


Figura 26. MEF de estructura prototipo de vivienda
Fuente: Autor.

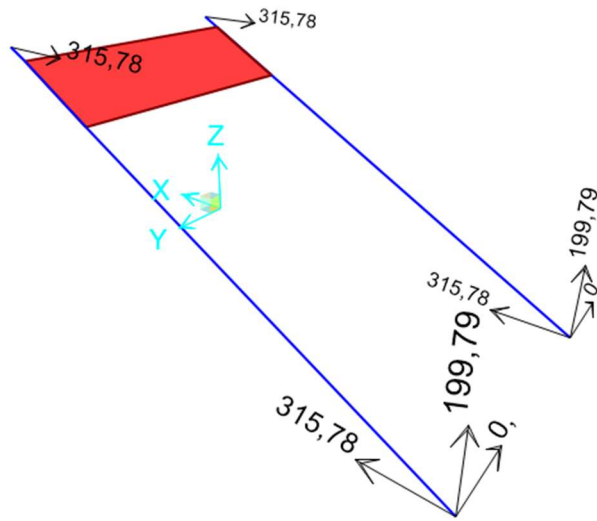


Figura 27. MEF de plataforma transmisora de cargas laterales
Fuente: Autor.

1.8 EVALUACIÓN SÍSMICA

De acuerdo con el Título A de la norma NSR10, Villavicencio se localiza en zona de amenaza sísmica alta y se espera una pseudoaceleración de 1.0g para un tipo de suelo D (simulando una de las peores condiciones en términos de resistencia portante en suelos). Se sometió el modelo MEF calibrado a un análisis modal y a las combinaciones de carga de diseño. En la Figura 28 se muestran los diagramas de las fuerzas internas axiales, en la Figura 29 se muestran los esfuerzos de compresión, en la Figura 30 se muestran las fuerzas cortantes y la Figura 31 los momentos de flexión generados en la estructura en función de las diferentes combinaciones de cargas mayoradas. Los diferentes colores de los diagramas muestran las sollicitaciones de las diferentes combinaciones de carga.

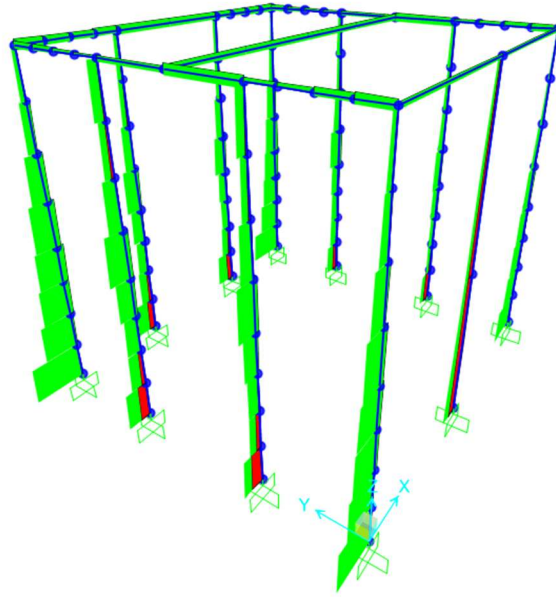


Figura 28. Fuerzas Axiales en los elementos frame
Fuente: Autor.

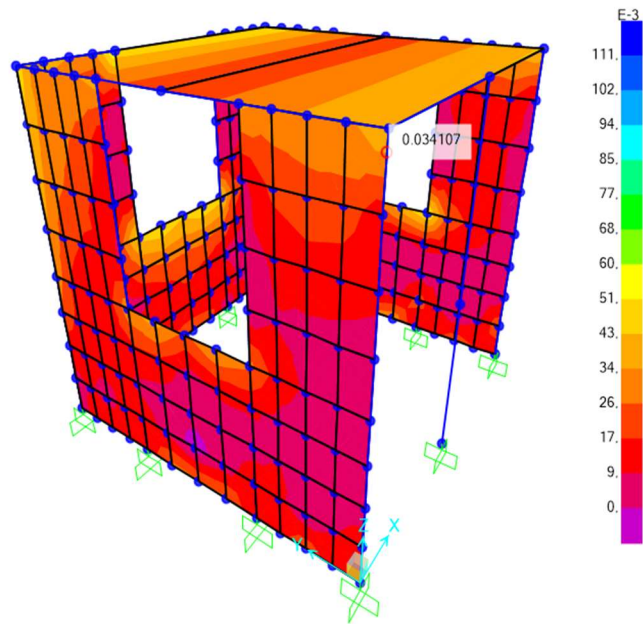


Figura 29. Esfuerzos sobre elementos estructurales tipo area
Fuente: Autor.

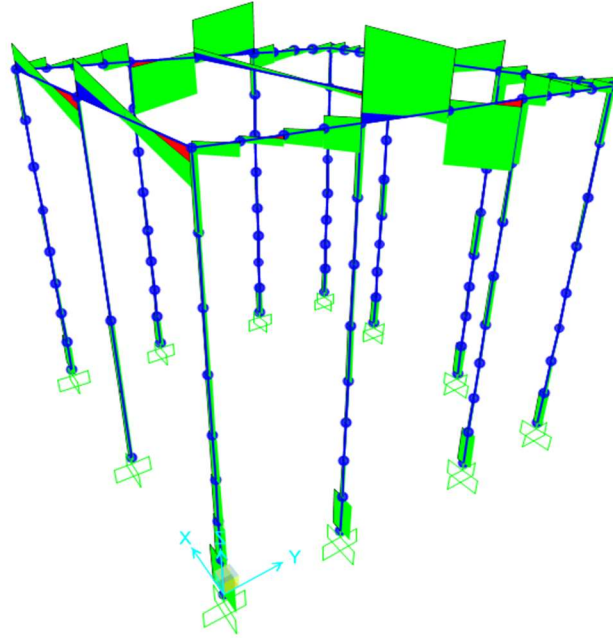


Figura 30. Diagrama de Fuerzas internas a cortante en los elementos frame
Fuente: Autor.

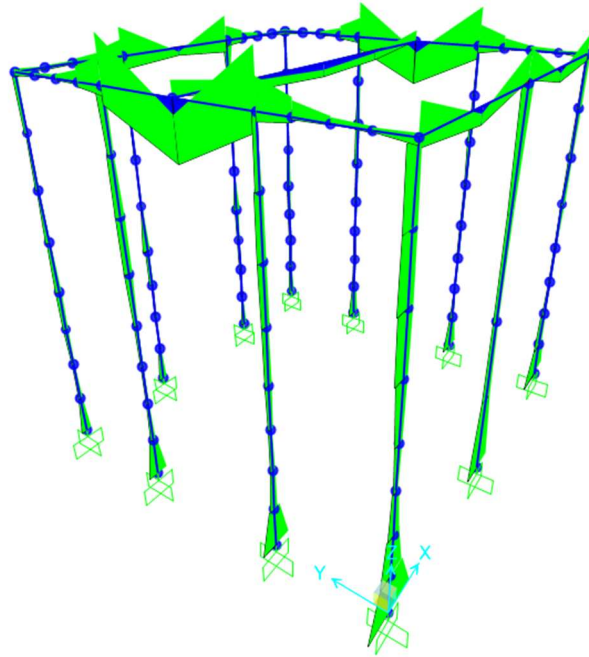


Figura 31. Diagrama de Momentos flectores internos en los elementos frame
Fuente: Autor.

Se determino el índice de sobreesfuerzo (ISE), el cual es la relación entre las sollicitaciones sobre la estructura y la capacidad que puede resistir el elemento según los ensayos experimentales de laboratorio. Se obtuvo un ISE máximo de la estructura de 0.51 como se presenta a continuación.

Tabla 5. Cálculo del Índice de Sobre esfuerzo

	Fuerza Axial [kN]	Esfuerzo Axial [MPa]	Cortante [kN]	Momento [kN-m]
Solicitación	3.330	1.46	0.64	0.190
Capacidad	92.67	2.89	7.83	1.076
ISE	0.036	0.51	0.08	0.177

Fuente: Autor.

1.9 EVALUACIÓN DE DEFORMACIONES

A continuación, se realizó el análisis de deformaciones para determinar el índice de flexibilidad (IFL), el cual es la relación entre los desplazamientos obtenidos de los elementos estructurales y los desplazamientos límite de acuerdo con el título C de la NSR10. La deflexión máxima permitida de una viga es $L/180$ para carga viva. Si la longitud de la viga de mayor longitud es 0.8m, se obtendría un valor límite de 0.004.4m (4.44mm). La deflexión máxima obtenida del modelo MEF fue 0.0000124m (0.0124mm), como se observa en la Figura 32 Teniendo en cuenta lo anterior, el IFL vertical fue igual a 0.003.

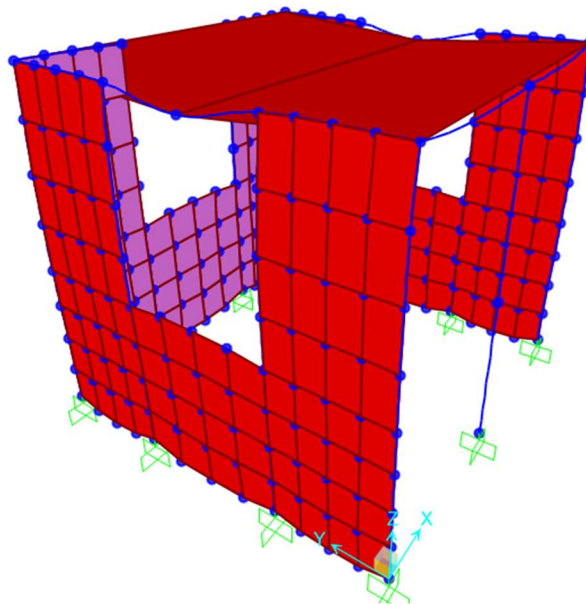


Figura 32. Deformación vertical del MEF debido a carga viva.

Fuente: Autor.

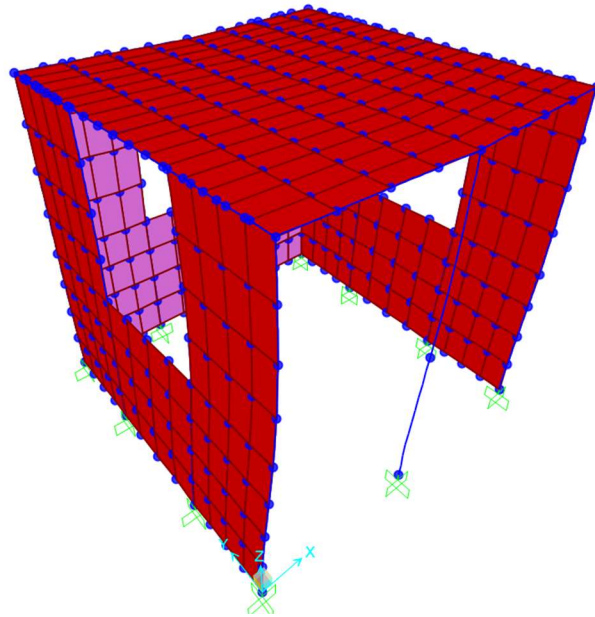


Figura 33. Deformación lateral del MEF debido al Sismo.
Fuente: Autor.

Para los desplazamientos laterales máximos permitidos según el Título A de la NSR10 se tiene un límite de deriva del 1%, que representa 0.01 la altura de la estructura. El valor límite sería 0.02m (20mm). El desplazamiento lateral máximo obtenido a partir del MEF de la estructura principal sometido ante el sismo esperado en sentido X y Y fue de 0.0009m (0.9mm), como se muestra en la Figura 33. Considerando lo anterior, el IFL lateral es igual a 0.045.

CONCLUSIONES

A partir de los ensayos de compresión se logró evidenciar que los especímenes de botellas de 400 ml soportan mayor carga axial de hasta 144 kN para un esfuerzo nominal de 3.52 Mpa. Este mismo comportamiento se logró evidenciar en los ensayos de cortante y flexión, donde también obtuvieron los mayores resultados de resistencia con 8.5 KN y 1.17 KN-m respectivamente.

Gracias a los ensayos de carga lateral se logró calibrar el modelo MEF con respecto a los resultados experimentales, mediante un módulo de elasticidad igual a 3590.54 MPa que representa un 17% del módulo de elasticidad esperado de un concreto convencional de 4000 psi (20637 MPa).

Con respecto a los resultados del MEF de la estructura principal se concluye que los todos los elementos soportan las solicitaciones, ya que se obtuvo un ISE de 0.5. La ventaja del sistema es que el acero de refuerzo que convencionalmente se construye una columna, las cuales son 4 varillas por elemento, esta varilla se distribuye en los diferentes elementos verticales, ubicados en cada esquina y entre cada ventana y puertas, generando así que cada elemento esté aportando a la resistencia general de la estructura, de este modo las cargas se distribuyen entre todos los elementos, generando así una reducción de los esfuerzos internos de estos.

Por otro lado, con respecto a los resultados del MEF se evidencia que la estructura cumple con el límite de deflexión y deriva requeridos por la NSR10, obteniendo un IFL máximo de 0.045. Este pequeño valor se debe a que las cargas generadas sobre una vivienda de 1 piso y de área de 2x2 m² son mínimas.

Tomando en cuenta los resultados obtenidos, se logró demostrar que las viviendas construidas con la configuración propuesta pueden brindar la seguridad necesaria a sus habitantes ante cargas verticales considerando los requerimientos del Título B de la norma NSR10.

A pesar de que la NSR10 no cuenta con un capítulo exclusivo para el análisis de sistemas estructurales no convencionales, el análisis estructural de este proyecto se realizó cumpliendo con los requisitos que debe cumplir una estructura convencional según el Título A. En el capítulo A.3.1.7 se propone un valor de coeficiente R0 (disipación de energía básico) mínimo de 1.5 para construcciones con sistemas prefabricados. Para la evaluación sísmica de los elementos estructurales de este proyecto se consideró trabajar con un coeficiente R0 igual a 1.0 con el fin de tener mayores exigencias sísmicas sobre los elementos generando un mayor factor de seguridad.

Para ejecutar este proyecto se propuso la metodología de construcción similar a una estructura de mampostería confinada tal como describe en el Título E de la NSR10. Se realizó el remplazo de los bloques de mampostería por los bloques conformados por botellas PET rellenas de arena. Para elementos de confinamiento

se propuso ubicar una varilla de acero en el espacio que forman 4 botellas y rellenarlo con concreto.

Por medio de esta investigación se presenta un sistema constructivo de bajo costo que puede ser implementado para viviendas de interés social (VIS), ya que, en virtud de la reducción de costos de materiales, permite estar al alcance de poblaciones y comunidades de bajos recursos.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Universidad Santo Tomas por financiar el proyecto mediante la convocatoria FODEIN Multicampus 2022. Al personal de los laboratorios dispuesto a colaborar con cada uno de los ensayos analíticos, así como también a la Facultad de Ingeniería Civil junto con sus estudiantes, quienes estuvieron atentos en lograr el desarrollo de este proyecto.

REFERENCIAS

- [1] AquaeFundacion, «¿Cuál es el tiempo de degradación de los residuos inorgánicos?,» [Online]. Available: <https://www.fundacionaquae.org/wiki/cuanto-tiempo-tardan-degradarse-desechos/#:~:text=En%20resumen%2C%20150%20a%C3%B1os%20es,de%20pl%C3%A1stico%20com%C3%BAn%20en%20degradarse,> acceso Mayo,11, 2022.
- [2] M. Planelles, «Casi la mitad de la población mundial es “altamente vulnerable” a un cambio climático que ha causado ya daños generalizados.,» Madridmasd. [Online]. Available: [http://www.madrimasd.org/casi-mitad-poblacion-mundial-es-altamente-vulnerable-un-cambio-climatico-que-ha-causado-ya-danos-generalizados,](http://www.madrimasd.org/casi-mitad-poblacion-mundial-es-altamente-vulnerable-un-cambio-climatico-que-ha-causado-ya-danos-generalizados) acceso Abril,22, 2022.
- [3] G. Peace, «¿Cómo llega el plástico a los océanos y qué sucede entonces?,» 2022. [Online]. Available: <https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/consumismo/plasticos/como-llega-el-plastico-a-los-oceanos-y-que-sucede-entonces/#:~:text=Cada%20vez%20se%20producen%20m%C3%A1s,los%20tiramos%20a%20la%20basura,> acceso Mayo,11, 2022.
- [4] D. ACHILIAS, E. ANTONAKOU, C. ROUPAKIAS, P. MEGALOKONOMOS y A. LAPPAS, «RECYCLING TECHNIQUES OF POLYOLEFINS FROM PLASTIC WASTES,» *Global NEST Journal*, vol. Vol 10, p. 114–122, 2008.
- [5] DANE, «Boletín Técnico, Índice de Costos de la Construcción de Vivienda (ICCV),» Bogota, 2021. [Online]. Available: [https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/precios-y-costos/indice-de-costos-de-la-construccion-de-vivienda-iccv#:~:text=Informaci%C3%B3n%20diciembre%202021&text=Este%20resultado%20es%20superior%20en,2021%20\(5%2C62%25\).](https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/precios-y-costos/indice-de-costos-de-la-construccion-de-vivienda-iccv#:~:text=Informaci%C3%B3n%20diciembre%202021&text=Este%20resultado%20es%20superior%20en,2021%20(5%2C62%25).)
- [6] DANE, «Boletín Técnico, Déficit Habitacional,» 2020. [Online]. Available: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/deficit-habitacional>
- [7] W. Quintero Quintero , H. Y. Jaramillo y J. A. Gómez Camperos, «Evaluación físico-mecánica de un bloque de arena comprimida impermeabilizado con reciclaje de asfalto triturado,» *Revista Investigación e Innovación en Ingenierías*, , pp. 24-139, 2020.
- [8] G. Valdés Vidal, Ó. J. Reyes Ortiz y G. González Penuela, «Aplicación de los residuos de hormigón en materiales de construcción,» *SciELO*, vol. 29, nº 1, 2011.
- [9] . C. Samaniego y D. Israel, Artists, *Mampostería en seco, tipo lego con ladrillo de plástico reciclado aplicado*. [Art]. UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA, 2018.

- [10 F. A. Espinosa-Guzmán, «Caracterización de botellas PET para su uso como elementos constructivos de muros de carga,» *Intituto tecnológico y de estudios superiores de occidente*, 2016.
- [11 M. Oyinlola, «Bottle house: A case study of transdisciplinary research for tackling global challenges,» *Habitat Int*, vol. vol. 79, p. 18–29, 2018.
- [12 P. L. Paihte, A. C. Lalngaihawma. y G. Saini. , «Recycled Aggregate filled waste plastic bottles as a replacement of bricks,» *Mater. Today Proc*, vol. vol. 15, p. 663–668, 2019.
- [13 M. Mokhta, «Application of plastic bottle as a wall structure for green house,» *ARPJ. Eng. Appl. Sci*, vol. vol. 11, nº 12, p. 7617–7621, 2016.
- [14 J. Taaffe, S. O’sullivan, M. E. Rahman, y V. Pakrashi. , «Experimental characterisation of Polyethylene Terephthalate (PET) bottle Eco-bricks,» *Mater. Des*, vol. vol. 60, p. 50–56, 2014.