

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



Por:
**Diego Alejandro Chávez
Dayan Smith Londoño Ángel**



**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO
2021**

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



Por:
Diego Alejandro Chávez
Dayan Smith Londoño Ángel

Documento final presentado como opción de grado para optar al título profesional
de ingeniero civil

Aprobado por:
Ing. Joe Alexander Martínez Gómez
Director

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO
2021

AUTORIDADES ACADÉMICAS

Fray José Gabriel Mesa Ángulo, O.P.
Rector General

Fray Eduardo González Gil, O.P.
Vicerrector Académico General

Fray José Antonio Balaguera Cepeda, O.P.
Rector Sede Villavicencio

Fray Rodrigo García Jara, O.P.
Vicerrector Académico Sede Villavicencio

Mg. Julieth Andrea Sierra Tobón
Secretaria de División Sede Villavicencio

Ing. Manuel Eduardo Herrera Pabón Esp.Ph.
Decano Facultad de Ingeniería Civil

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradecemos 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.

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 CLAVES: 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.

Key Word: cassette, lightening , NSR-10, PET, Expanded polystyrene

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	14
2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
2.1	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	16
3	JUSTIFICACIÓN	18
4	OBJETIVOS	21
4.1	OBJETIVO GENERAL	21
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
5	ALCANCE	22
6	MARCO DE REFERENCIA	23
6.1	MARCO TEÓRICO	23
6.1.1	Losa de entepiso	23
6.1.2	Clasificación de las losas	23
6.1.3	Componentes de una losa aligerada	23
6.1.4	Sistema de construcción prefabricada liviana	26
6.1.5	Aprovechamiento de envases pet	28
6.1.6	Gestión de manejo de residuos sólidos	29
6.1.7	Tipos de reciclaje	29
6.2	MARCO CONCEPTUAL	29
6.2.1	Aligeramiento de losas de entepiso	29
6.2.2	Que es un caseton	30
6.2.3	Resistencia a la compresión	30
6.2.4	Máquina automática para compresión de alta capacidad	30
6.2.5	Botellas pet	31
6.2.6	Mallas de acero	31
6.2.7	Pegamento o silicona	32
6.2.8	Alambre dulce	32
6.2.9	Malla electrosoldada	33
6.3	ESTADO DEL ARTE	33
6.4	MARCO NORMATIVO	36
6.5	MARCO GEOGRÁFICO	38

7	METODOLOGÍA	40
7.1	DESCRIPCIÓN DE ETAPAS Y TAREAS	40
7.1.1	Etapa 1: limpieza del material PET recolectado para el desarrollo de los prototipos de casetones y muros no estructurales.	40
7.1.2	Etapa 2: realización del proceso de elaboración de los muros no estructurales y casetones formulando diferentes configuraciones según metodología propuesta.....	41
7.1.3	Etapa 3: determinar la resistencia a la compresión de los prototipos desarrollados y verificar su potencial utilización en la construcción de estructuras.....	42
7.1.4	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.	43
7.2	POBLACIÓN, MUESTRAS, VARIABLES E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	43
7.2.1	POBLACIÓN	43
7.2.2	Control de calidad	44
7.2.3	Muestras	44
7.2.4	Variables	53
7.2.5	Instrumentos de recolección de datos.....	54
8	ETAPA 1 (CAPITULO DE DESARROLLO, LIMPIEZA DEL MATERIAL PET RECOLECTADO PARA EL DESARROLLO DE LOS PROTOTIPOS DE CASETONES Y MUROS NO ESTRUCTURALES)	55
9	ETAPA 2 (CAPITULO DE DESARROLLO, REALIZACIÓN DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE LOS MUROS NO ESTRUCTURALES Y CASETONES FORMULANDO DIFERENTES CONFIGURACIONES SEGÚN METODOLOGÍA PROPUESTA)	56
9.1	CONFIGURACIÓN DE CASETONES CON ENVASES PET.....	56
9.2	MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DEL CASETÓN CON BOTELLAS PET	57
9.3	DIMENSIONES DE CASETÓN	58
9.3.1	Vista en planta de la botella	58
9.3.2	Corte transversal de la botella para casetones de entrepiso.....	59
9.3.3	Corte longitudinal y transversal	59
9.3.4	Modelo en 3D del casetón.....	60

9.4	MUROS NO ESTRUCTURALES.....	61
9.4.1	Características de los muros.....	62
9.4.2	Anclaje del muro no estructural.....	63
9.4.3	Armado modulo para muros no estructurales	65
10	ETAPA 3 (CAPITULO DE DESARROLLO, DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS PROTOTIPOS DESARROLLADOS Y VERIFICAR SU POTENCIAL UTILIZACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS)	69
10.1	PRUEBA DE CARGA PARCIAL ESTÁTICA.....	69
10.2	PRUEBAS MAQUINA DE COMPRESIÓN.....	71
11	ETAPA 4 (CAPITULO DE DESARROLLO, 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)	73
11.1	COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DEL PET, POLIESTIRENO EXPANDIDO Y GUADUA.....	73
11.2	COMPARATIVO DE LOS CASETONES CONVENCIONALES FRENTE A LOS DE PET	74
11.3	ESTIMADO DE ENVASES PET UTILIZADOS COMO CASETONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN EDIFICIO TIPO Y ANALISIS DE PRECIO.....	76
11.4	COMPARATIVO DE LOS MUROS CONVENCIONALES FRENTE A LOS DE ENVASES PET.....	78
11.5	ESTIMADO DE ENVASES PET UTILIZADO COMO MUROS EN LA CONSTRUCCIÓN DE UNA VIVIENDA DE 1 PISO.....	80
12	ANÁLISIS DE RESULTADOS	83
12.1	CASETONES.....	83
12.1.1	Pruebas preliminares en el laboratorio, ensayo de carga parcial estática	83
12.1.2	Comparación de resultados pruebas preliminares	88
12.1.3	Prueba de carga con máquina de compresión	88
12.1.4	Esfuerzos de las pruebas a compresión en los prototipos	93
12.2	MUROS	95
13	RESULTADOS E IMPACTOS	96
14	IMPACTOS	97

15 CONCLUSIONES	98
16 REFERENCIAS.....	100
17 ANEXOS	103

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Dimensiones de los casetones ensayados	53
Tabla 2. Diámetro de los envases.....	58
Tabla 3. Dimensiones de la botella a utilizar.....	59
Tabla 4. Dimensiones del casetón	60
Tabla 5. Cantidad de materiales a utilizar para el casetón.	61
Tabla 6. Dimensiones de envases	62
Tabla 7. Materiales necesarios para los muros no estructurales	68
Tabla 8. Dimensiones del prototipo antiguo.....	68
Tabla 9. Descripción de los casetones utilizados para las pruebas de carga	71
Tabla 10. Descripción de los casetones utilizados en la máquina de compresión.....	72
Tabla 11. Características del PET, ICOPOR Y GUADUA.....	73
Tabla 12. APU de módulos de muros no estructurales.....	74
Tabla 13. Comparativo de factores de los casetones	75
Tabla 14. Estimación de los metros cúbicos necesarios para una estructura de 4 pisos tipo.....	77
Tabla 15. Comparativo de precios de los casetones para una estructura con pisos tipo.....	78
Tabla 16. Análisis de precio unitario para muros con envases PET.	79
Tabla 17. Comparativo de factores para muros divisorios	80
Tabla 18. Dimensiones envase de 3 Litros	80
Tabla 19. Cantidad de envases PET para la construcción de una bodega.....	82
Tabla 20. Materiales para pruebas de carga (kg)	83
Tabla 21. Prueba de peso casetón 11	83
Tabla 22. Prueba de peso casetón 5	84
Tabla 23. Prueba de peso casetón 12	84
Tabla 24. Prueba de peso casetón 13	85
Tabla 25. Prueba de peso casetón 10	86
Tabla 26. Prueba de peso casetón completo (1,2,3,4)	87
Tabla 27. Resultados de los ensayos de compresión realizados a envases individuales de PET	91
Tabla 28. Esfuerzos de los prototipos ensayados en el laboratorio	93
Tabla 29. Resistencia a la compresión del Poliestireno expandido (icopor)	94
Tabla 30. tabla de resultados.....	96
Tabla 31. Impacto del proyecto.....	97

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. casetón de poliestireno de forma diversa	24
Ilustración 2. Casetón guadua para aligeramiento de losa	25
Ilustración 3. Caseton en lona sintética	25
Ilustración 4. Casetón de PVC	26
Ilustración 5. Panel con núcleo de icopor	27
Ilustración 6. Paneles para muros DURAPANEL.....	28
Ilustración 7. Esquema de fuerza a compresión a la que es sometido el casetón .	30
Ilustración 8. Máquina Automática Para Compresión. Fuente: ALFA test	31
Ilustración 9. Botella PET no retornable común. Fuente: propia.....	31
Ilustración 10. Malla de acero	32
Ilustración 11. Pegamento o silicona	32
Ilustración 12. Alambre dulce comercial. Fuente: física interactiva.....	33
Ilustración 13. Malla Electrosoldada	33
Ilustración 14. Viviendas con arreglos de envases en la cimentación	34
Ilustración 15. Muestra de la configuración utilizada para las casas.....	34
Ilustración 16. Sky Field House de Eco Tec en construcción el primer techo abovedado con botellas PET	35
Ilustración 17. Edificio con envases PET en Taiwan.....	35
Ilustración 18. Ubicación de Villavicencio en Colombia.	39
Ilustración 19. (A) casetones de 4 envases. (B) Casetones de 6 envases	41
Ilustración 20. Proceso de armado de los casetones de 12 a 24 envases.	42
Ilustración 21. Envases recolectados.....	43
Ilustración 22. Modelo digital Casetón 1 en planta y en 3D	44
Ilustración 23. Casetón 1	45
Ilustración 24. Casetón 2	45
Ilustración 25. Casetón 3	46
Ilustración 26. Casetón 4	46
Ilustración 27. Modelo digital del Casetón 5 en planta y en 3D	47
Ilustración 28. Casetón 5	47
Ilustración 29. Modelo digital del Casetón 6 en planta y en 3D	48
Ilustración 30. Casetón 6	48
Ilustración 31. Modelo digital del casetón 7 en planta y en 3D	49
Ilustración 32. Casetón 7	49
Ilustración 33. Modelo digital casetón 9 en planta y en 3D	50
Ilustración 34. Casetón 9	50
Ilustración 35. Modelo digital casetón 10 en planta y en 3D	50
Ilustración 36. Casetón 10	51
Ilustración 37. Casetón 11	51
Ilustración 38. Grupo de 4 envases	52
Ilustración 39. Casetón 12	52
Ilustración 40. casetón 13	53
Ilustración 41. Configuración número 1.	56
Ilustración 42. Configuración número 2.	56

Ilustración 43. Vista en planta de la botella.....	59
Ilustración 44. Vista transversal y dimensiones de la botella	59
Ilustración 45. Vista de corte longitudinal de la botella	60
Ilustración 46. Corte transversal del casetón	60
Ilustración 47. Modelo 3D del casetón	61
Ilustración 48. Modelo de la botella y sus dimensiones	62
Ilustración 49. Estructura muro no estructural con núcleo de envases PET	63
Ilustración 50. Anclaje del módulo para muros no estructurales	64
Ilustración 51. Detalle del anclaje del muro con núcleo de icopor.....	64
Ilustración 52. Losa de cimentación terminada con las varillas en “U” dispuestas a recibir los muros.	65
Ilustración 53. Anclaje de malla electrosoldada a los anclajes	65
Ilustración 54. Ajuste del ancho de las mallas	66
Ilustración 55. Solape de cada módulo para los muros no estructurales	66
Ilustración 56. Modelo 3D de los muros no estructurales	67
Ilustración 57. Anclajes para los módulos.....	67
Ilustración 58. Peso persona 1 (71 kg)	69
Ilustración 59. Peso persona 2 (99 kg)	69
Ilustración 60. resistencia de 207 Kg del casetón 11	70
Ilustración 61. Resistencia de 235 kg del casetón (unión 1,2,3,4)	70
Ilustración 62. Casetón 2 x 2 envases de Coca cola 2.5 L	71
Ilustración 63. Casetón 4 X 4 envases de Postobón de 2 L.....	71
Ilustración 64. Plano en planta del piso 1 al 4.....	76
Ilustración 65. Facha bodega de un piso	81
Ilustración 66. Vista lateral 1 bodega de un piso.....	81
Ilustración 67. Vista lateral 2 bodega de un piso.....	82
Ilustración 68. Casetón 12 daño generado por la carga	85
Ilustración 69. Casetón 12 daño generado por la carga	86
Ilustración 70. Casetón 12 daño generado por la carga	87
Ilustración 71. Anclaje de los muros en PET	95
Ilustración 72. Anclaje a columnetas y riostras horizontales.....	95

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 genera 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 entepiso 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 guadua 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]. Las pruebas mencionadas anteriormente se realizaron con el fin de determinar cuál es la configuración más adecuada y resistente ante las fuerzas de compresión ejercidas por el concreto.

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Desde 1950 se han generado aproximadamente 8,3 mil millones de toneladas de plásticos en todo el mundo, solo el 9% se ha reciclado y el restante 91 % se encuentra en los rellenos sanitarios y en los ecosistemas [7]. De acuerdo al documento “Colombia, mejor sin plástico” publicado por Greenpeace, para el año 2050 las cantidades de residuos sólidos serán alarmantes llegando a haber aproximadamente 12 mil millones de toneladas en los entornos naturales de todo el mundo afectando su flora y fauna [7].

Estos desechos amenazan a muchos ecosistemas y recursos presentes en toda la superficie de la tierra. El recurso hídrico es afectado por la mala disposición de los residuos sólidos [9] ya que este es el destino final de muchos de estos según lo establece la organización ecológica internacional Greenpeace, afectando a cientos de miles de especies marinas como lo menciona el programa de las naciones unidas para el medio ambiente (PNUMA) [7]. El recurso atmosférico es afectado debido al proceso de descomposición y al estar expuestos a los rayos solares generan gases que causan el efecto invernadero como lo son el metano y el etileno, afectando la temperatura mundial y provocando deshielos en los polos [9]. Además, la incineración descontrolada del plástico causa problemas debido a la generación de humo y material particulado el cual afecta la salud de los seres humanos y generan efecto invernadero [9].

El recurso del suelo es otro de los más afectados debido a la exposición de toxinas y desechos por la disposición en rellenos sanitarios los cuales no cuentan con aislamiento total de lixiviados y toxinas [7], filtrándose al subsuelo y afectan la microfauna (lombrices, bacterias, musgo y hongos, etc.) causando la pérdida de productividad del suelo, conjuntamente la presencia permanente de residuos sólidos hace que no se recupere la flora y se aumente la presencia de plagas del lugar y todos estos factores hacen que se afecte el paisaje [9].

Colombia no se salva de las consecuencias de los plásticos, especialmente los de un solo uso que para este caso de estudio nos enfocamos en dos tipos; El icopor o más conocidos como poliestireno expandido, el cual es un plástico que se encuentra presente en muchos productos de nuestro día a día utilizado para el transporte de comida, como recipiente de bebidas caliente y en ocasiones es utilizado en la construcción [10], causa daños al medio ambiente por la muerte de muchas especies debido a que dichos desperdicios suelen llegar a zonas marinas, afectando a los seres humanos [5] y causando contaminación de los recursos naturales [10] debido a que genera un grado de contaminación por su corta vida útil.

Por otra parte, el PET es el otro tipo de plástico, adecuado para una amplia aplicación ya que es ligero, fuerte, seguro, irrompible y reciclable [11]. Además, es un material que permite acomodarse a diferentes formas sin ningún problema ayudando disminuir el peso de las cargas en un 90 %, no obstante, el moldeado de

este plástico se tiene que realizar por medio de soplado para envases o termoformado para otros tipos de recipientes lo cual genera emisiones de dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera y también en el transporte de los productos [11]. Muchos de los envases PET no son reutilizados y son desechados generando un grado de contaminación más alto que el polietileno expandido (icopor).

De acuerdo a lo anteriormente se planteó la pregunta ¿cómo aprovechar los envases PET en las obras civiles para disminuir el uso del icopor?, con el fin de disminuir el uso del polietileno expandido utilizados como casetón para el aligeramiento de losas de entepiso y como muros aligerados con núcleo de icopor reemplazarlo por otro tipo de poliestireno como lo son los envases PET, que igualmente están generado problemáticas ambientales.

3 JUSTIFICACIÓN

En la actualidad muchas de las ciudades colombianas han presentado incremento en los residuos sólidos año tras año. En muchas estructuras se utilizan los casetones recuperables de icopor para el aligeramiento de las placas de entrepiso, los cuales solo son utilizados una sola vez en toda la obra generando grandes cantidades de polietileno expandido, residuo que es poco reutilizado ya que cada estructura varía en la cantidad y el tamaño de los casetones afectando al medio ambiente y disminuyendo la capacidad de los rellenos sanitarios por la cantidad de residuos generados; por otro lado, los envases PET y el plástico corresponde alrededor del 56% de uso total de plástico en Colombia. El país produce 12 millones de toneladas de residuos sólidos cada año, en estos el 74% de envases van a parar a los rellenos sanitarios, compañías como Coca-Cola o Bavaria (fabricantes de bebidas) tienen en su catálogo al menos 24 productos que son embotellados con tecnología PET [7]. Por lo anterior, es que se pretende desarrollar esta investigación y poder aprovechar los envases PET desechados como material de soporte en los casetones y así disminuir el uso del polietileno expandido en las construcciones.

Los casetones elaborados con material PET, pueden tener el mismo funcionamiento que otro tipo de casetones. Puesto que, las botellas se encuentran de forma vertical y sellada, además de que cuenta con estructura cóncava y hueca, con el objetivo de distribuir, aligerar la losa y agilizar el procedimiento de vaciar el concreto dentro del entrepiso. Ahora bien: si se desea comparar el material PET con el icopor (que es uno de los más usados) para la creación de formaletas aligeradas para este tipo de entrepiso [12].

Esto no quiere decir que ambos materiales no sean eficaces a la hora de utilizarlos como aligeramiento, sino que, se trata de realizar una reducción desde un punto de vista más hacia el impacto ambiental que el mismo llegue a ocasionar. Teniendo en cuenta que ambos productos no son biodegradables, se pretende hacer que su vida útil se prolongue por más tiempo y se logren reutilizar en diversas obras sin la necesidad de rehacer otra para cada necesidad de espacios, sino que logre su adaptación (que en este caso las botellas de plástico ofrecen por sus diferentes tipos de presentaciones y tamaños).

Con esto en mente, se busca optimizar una buena distribución y uso de este tipo de plásticos que se encuentran de manera frecuente en cualquier punto de accesos tales como: tiendas de barrio como en conjuntos (zonas residenciales), universidades (públicas como privadas) colegios (públicos o privados), centros comerciales, aeropuertos, entre otros establecimientos... Puesto que se consume una gran cantidad de bebidas en envases no retornables. Tomando esto como punto de referencia, se puede aprovechar este recurso al máximo, puesto que son productos que son más accesibles al público y no generan tanto costo si se desean obtener en grandes cantidades, en el que es necesario recalcar que, son productos que facilitan su traslado [13].

Dentro de los beneficios que conlleva utilizar envases PET se puede encontrar una reducción en los porcentajes de estos residuos sólidos generados en la ciudad Villavicencio, nuevas alternativas de empleo en el campo del reciclaje y al momento de construcción de los casetones y de los muros no estructurales, implementación de nuevos materiales a actividades de ingeniería para la reducción de costos, entre muchos más.

De estas circunstancias nace la idea de aprovechar este recurso, ya que, al ser un material que no es fácil de degradar, permite que las condiciones externas (climáticas) no afecten de manera significativa la formaleta de PET (creada a base de botellas plásticas, alambres negros, cinta adhesiva transparente, rollo polietileno y malla gallinero), por ejemplo las lluvias (que pudieran generar filtraciones), los rayos solares (que generen algún tipo de fisura o cambio en la morfología del cuerpo de la botella), las propiedades geológicas (el mismo suelo), que pueda ocasionar algún tipo de desgaste por la presión a la formaleta, entre otros... (cabe considerar que, este material PET no expone o atenta contra la salud del ser humano). Esto a su vez, es un factor gratificante el hecho que las propiedades sean tan resistentes, porque en mantenimiento se reducen en gran medida los costos [13].

Los envases PET ya han sido utilizados en Tezontle cerca al Valle de México, en donde se construyó un número considerable de viviendas de una sola planta. En este caso, las botellas PET fueron empleadas como material de sustitución, relleno y nivelación del terreno de baja capacidad portante. Otra aplicación de los envases PET se realizó en la elaboración de geosintéticos, para lo cual son fundidos, filtrados y extruidos hasta reducir las fibras de poliéster de aspecto liso con alta resistencia a la tensión y reducida capacidad de absorción de agua, material Con el que se elaboran geotextiles de tipo no tejido y geomallas de refuerzo [8].

Ahora comenzando con la utilización del icopor para este tipo de formaleta aligerada, es un material compuesto por poliestireno, en el que se necesita (con anticipación), la creación de las medidas y/o dimensiones para poder ser elaborado para su uso previo, en el que ocasiona más gastos de los que se realizan con productos PET. Las medidas suelen variar al momento de hacer losas de entrepiso, cubiertas, rellenos de subsuelos o cimientos, entre otros [12]. Usualmente, algunos de los materiales empleados para la construcción de lo anteriormente mencionado, se cortan/destruyen para mayor extracción y así evitar ciertas “imperfecciones” o que la figura empleada se pierda. Por tal motivo se llega a generar más contaminación por el hecho de que no llegan a ser reutilizados.

Dato a tener en cuenta, es que el icopor posee la capacidad de aumentar su volumen si es expuesto o tiene contacto con el agua de manera continua, logrando así aumentar hasta un 3% de su volumen inicial, mientras que las botellas de plástico no se modifican de tamaño [14]. Cabe mencionar que, un prototipo de PET pesa 1.55 kg/m³ frente al icopor teniendo un peso de 5kg/m³, generando que se minimice las cargas muertas (estructura, elementos inmóviles) o si fuera una estructura maciza, se reduzca la cantidad de concreto que se utilice en la construcción, teniendo en cuenta que el concreto pesa 2400 kg/m³ haciendo que se pueda alternar con el sistema de PET.

Visto de otra manera el poliestireno (componente por el que está fabricado el icopor), al poseer una densidad tan baja, ocasionando que al momento de movilizar el material se llegue a fragmentar de manera parcial o total e inclusive a desgastar por el trayecto, teniendo como consecuencia el optar otro tipo de transporte y material para su cuidado causando un aumento en su mantenimiento [14].

4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar el análisis del comportamiento de los diferentes tipos de envases PET frente a cargas sobrepuestas con el fin de ser implementados como material para la fabricación de casetones utilizados en el aligeramiento de losas e implementarlos en la construcción de módulos de muros no estructurales.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Identificar características como volumen, forma y espesor de los envases PET recolectados (no aplica para envases ecológicos) para el desarrollo de los prototipos de los muros no estructurales y los casetones.
2. Determinar la configuración que proporcione mejor resistencia y estabilidad en los casetones al momento de aplicar la carga de compresión.
3. Evaluar la resistencia a la compresión de los casetones desarrollados para poder analizar y establecer la viabilidad de los modelos en la construcción.
4. Identificar las cantidades y los costos del aligeramiento utilizado en una estructura comparando los casetones convencionales con el prototipo propuesto en envases PET.

5 ALCANCE

El alcance de la presente investigación contiene el desarrollo de casetones y muros de entrepecho aligerados mediante la reutilización de material PET (Politereftalato de etileno). El mismo será valorado en términos de costos y en ensayos de resistencia a la compresión para comprobar su utilización en la construcción de obras civiles. Se configurarán diferentes prototipos según metodología presentada, en donde se variarán aspectos como las posiciones del material, el tamaño y el número de botellas a utilizar.

El estudio pretende presentar información a escala de laboratorio sobre posibles materiales alternativos que pueden ser utilizados para el desarrollo de estructuras. Con esta implementación de los envases PET existe la posibilidad de aprovechar un residuo sólido (material PET) como materia prima para el desarrollo de actividades constructivas. El material no será probado a escala real ya que el uso de la máquina de compresión limita el tamaño de los casetones para la ejecución del proyecto y se debe realizar los estudios pertinentes para poder garantizar un funcionamiento adecuado y técnico de acuerdo con la norma NSR 10 (TITULO C).

6 MARCO DE REFERENCIA

6.1 MARCO TEÓRICO

6.1.1 Losa de entrepiso

Las losas o placas de entrepiso son elementos capaces de soportar las cargas de servicios también llamadas carga viva y carga muerta, están construidas monolíticamente de manera horizontal conectadas a las vigas, las cuales dirigen las cargas hacia los muros de carga o columnas [15].

6.1.2 Clasificación de las losas

6.1.2.1 Según el refuerzo:

➤ **En una dirección**

Estas losas poseen dos bordes libres donde no cuentan con apoyos verticales como vigas o muros y dos bordes donde sí cuentan con apoyos verticales. También cuando una losa nervada tiene sus viguetas hacia una sola dirección [16].

➤ **En dos direcciones**

Una losa es considerada en dos direcciones cuando dispone de apoyos tales como muros o vigas en los cuatro bordes. [15]

6.1.2.2 Según la composición:

➤ **Losa maciza**

Están conformadas por una sola sección de concreto, la cual está reforzadas en ambas direcciones, esta losa debe tener mínimo dos apoyos ya sean muros o vigas los cuales deben ser opuestos. Para losas apoyadas en los cuatro lados la dirección principal estará establecida por el sentido más corto [15]

➤ **Losa nervada o losa aligerada**

Las losas aligeradas son utilizadas para luces de mayores dimensiones, este sistema reemplaza parte de la sección de concreto por material aligerante, el cual puede ser de cajones de madera, casetones de esterilla y guadua, ladrillos o bloques [15].

6.1.3 Componentes de una losa aligerada

6.1.3.1 Torta inferior

Se construye con un mortero de arena y cemento con una dosificación mínima, cuenta con un espesor mínimo de 20 mm y máximo de 30 mm y se debe reforzar con alambrcn cada 300 mm en las dos direcciones o con malla de gallinero con ojo de 25 mm. [15]

6.1.3.2 Elementos de aligeramiento

También llamados casetones, los cuales son colocados en los intermedios de los nervios estructurales (viguetas) de tal manera que formen las cavidades de las viguetas. [15]

6.1.3.2.1 Casetones

➤ **Casetón De Poliestireno Expandido**

Es un producto de poliestireno expandido (desde acá en adelante llamado icopor) que viene en bloques de diferentes dimensiones los cuales son cortados de acuerdo al vacío del aligeramiento de la placa de entepiso. Estos se fabrican con densidades entre 10 a 30 kg/m³ de acuerdo al proyecto y adicionalmente es auto extingible (no permite la propagación de las llamas) [12]

No obstante, el icopor no es amigable con el medio ambiente ya que tarda mucho tiempo en descomponerse ayudando al deterioro de los recursos naturales (agua, suelo, flora y fauna), a causa de lo anterior y visualizando las problemáticas ambientales que se presentan en la actualidad donde uno de las problemáticas son los residuos sólidos orgánicos, no orgánicos y especiales, Se propuso reutilizar los envases PET con el fin de alargar su vida útil y poder generar un casetón mucho más económico sin usar icopor.

Por lo anterior, es que este proyecto de investigación propone utilizar un nuevo material como lo son los envases PET, debido a las grandes cantidades generadas en las ciudades por ser un material igual que el icopor por su corta vida útil.

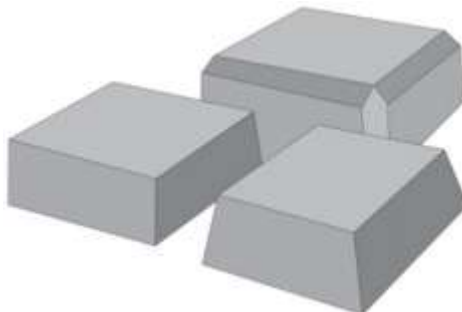


Ilustración 1. casetón de poliestireno de forma diversa
Fuente: ENCOFRADOS, Román Botero.

➤ **Casetón Esterilla De Guadua**

Es elaborado con estructura en madera y forrado con esterilla de guadua como se observa en la Ilustración 2, es utilizado para el aligeramiento de placas de concreto y no es recuperable. Algunas personas prefieren utilizar otros materiales en los casetones para conservar un sentido ecológico en sus construcciones, debido a que

es necesario la tala de los guaduales en grandes cantidades generando secuelas ambientales. [12]

Otro defecto que tenía este casetón era los acabados que dejaba el uso de este y no mantenía las dimensiones de las viguetas de acuerdo a los diseños.



Ilustración 2. Casetón guadua para aligeramiento de losa
Fuente: ENCOFRADOS, Román botero

➤ Casetón En Lona

Este casetón está elaborado con marcos de madera y una estructura de guadua los cuales están cubiertos con lona sintética, utilizado para el aligeramiento de losas de concreto.

Este casetón es utilizado debido a que reduce el nivel de material orgánico en la placa, también por ser un material mucha más liviano que el casetón de guadua proporcionando así mejor trabajabilidad, pero sigue utilizando materiales orgánicos como la madera y en ocasiones la guadua (ver Ilustración 3) [12].



Ilustración 3. Caseton en lona sintética
Fuente: Aserrío la montaña

➤ **Casetón En PVC**

Es un bloque en PVC que permite la realización de losas bidireccionales, permitiendo mejores acabados del concreto y permite mantener las dimensiones de las viguetas de acuerdo con el diseño como se muestra en la Ilustración 4 [12].



Ilustración 4. Casetón de PVC
Fuente: Construmatica

6.1.3.3 Placa superior

Concreto vaciado monóticamente con el sistema de piso, con un espesor de 50 mm reforzada en ambas direcciones con barras número 2 a cada 300 mm o con malla electro-soldada. [15]

6.1.3.4 Viguetas

Son los elementos que contienen los refuerzos de la losa, deben tener mínimo un ancho de 80 mm a cada 600 mm entre cada vigueta. [15]

6.1.4 Sistema de construcción prefabricada liviana

La construcción prefabricada liviana nace de la necesidad de buscar formas rápidas, económicas y seguras de construcción, en las que se propone la utilización de otros tipos de materiales que cumplan la misma función pero que a su vez generen menos peso en la estructura debido a que los sistemas prefabricados en concreto son pesados [17].

6.1.4.1 Sistema de paneles aligerados con núcleo de icopor para muros

En Colombia y en varios países de América el sistema de paneles para muros utiliza poliestireno expandido (icopor) en medio de dos mallas electrosoldadas de acero como se observa en la Ilustración 6, permitiendo la transferencia de las cargas a la placa. Está constituido por un bloque de poliestireno expandido (EPS) con una densidad de 25 kg/m³, tiene un peso sin mortero de 3 kg/m² lo que permite que pueda ser trasladado por una o dos personas [17].

Además, se encuentra cubierta por malla electrosoldada la cual está compuesta de acero galvanizado de 3.4 mm de diámetro, interconectadas entre sí por conectores perpendiculares de acero de 3 mm de diámetro como se muestra en la Ilustración 5 [17].

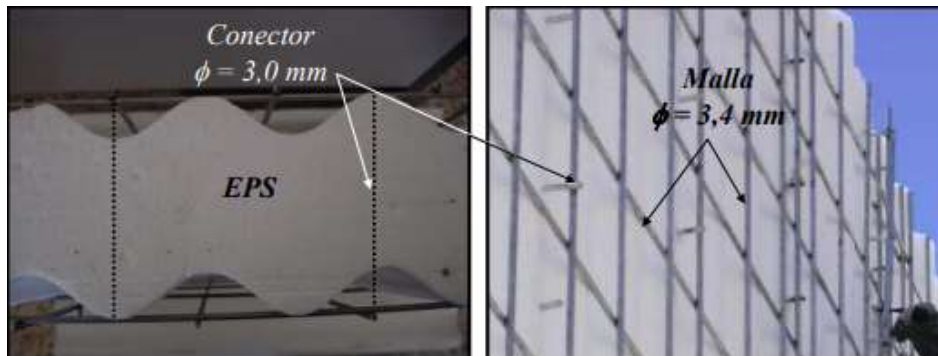


Ilustración 5. Panel con núcleo de icopor
Fuente: Estado del conocimiento [17]

6.1.4.2 Sistema constructivo

- La instalación de este sistema de paneles inicia con la marcación de las líneas guías o cimbrado.
- realizar las perforaciones de 10 cm de profundidad en las que se ubicaran los anclajes.
- Los anclajes son varillas de 3/8 de pulgada cortadas a 40 cm de los cuales 10 quedan embebidos en la perforación.
- Se realiza la instalación de los paneles, y se marca la ubicación de las redes eléctricas, hidráulicas y sanitarias.
- El panel es terminado in situ con la aplicación de mortero lanzado en ambas caras como se muestra en Ilustración 6 con espesor entre 1 a 1.5 cm [18].

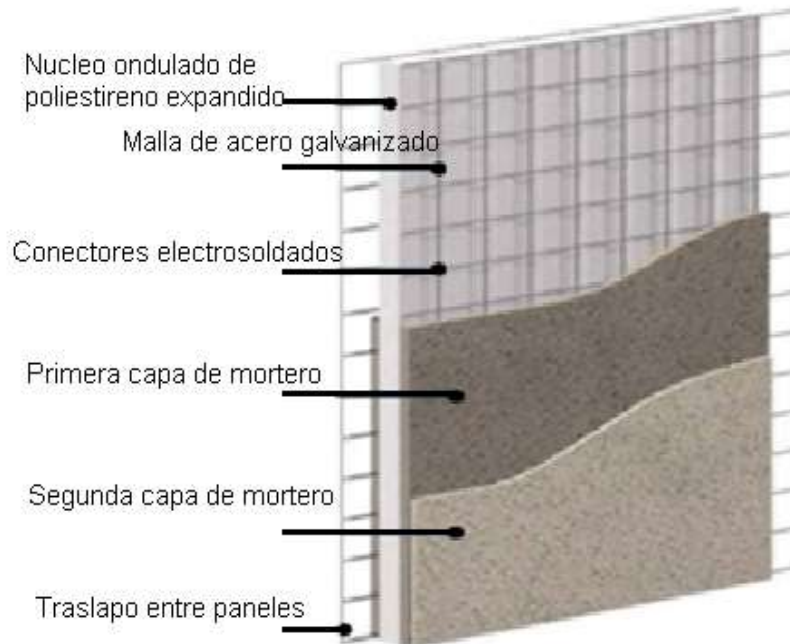


Ilustración 6. Paneles para muros DURAPANEL
Fuente: Industrialconcreto

6.1.4.3 Muros no estructurales

Se considera muros no estructurales aquellos que no soportan ninguna carga adicional a su peso propio y cumplen la función de separar espacios dentro de la vivienda. No precisan que sean continuos y no requieren estar anclados a la cimentación. No se tiene en cuenta que material se puede utilizar. [15]

6.1.4.4 Amarre de los muros no estructurales

Los muros no estructurales interiores o de fachada, se deben amarrar o unir con los muros perpendiculares a su plano, tienen que estar conectados al diafragma superior a través de una conexión que restrinja el volcamiento, además de que impida la transmisión de cargas verticales y cortantes entre la cubierta o el entrepiso y el muro no estructural. [15]

6.1.5 Aprovechamiento de envases pet

De acuerdo al apartado anterior, se pretende realizar un aprovechamiento de uno de los tipos de plástico (PET), con el fin de poder reutilizar los envases PET por medio del reciclaje y disminuir el uso del icopor, generar nuevos materiales que sean utilizados en las obras civiles.

No obstante, para los muros no estructurales se propone realizar el uso de envase PET como núcleo de los muros y cubiertas por dos mallas electrosoldadas de acero, permitiendo que el peso del muro sea igual o menor al que se manejó con icopor. Además, se está aprovechando un gran número de residuos sólidos por medio del

reciclaje en este caso envases PET, ayudando a la gestión de manejo de residuos sólidos.

6.1.6 Gestión de manejo de residuos sólidos

Son las actividades, operaciones o procedimientos con el objetivo de darle un buen manejo a los residuos sólidos generados por las personas que se encuentran en organizaciones, instituciones, comunidades y todos los lugares presentes en una ciudad. Teniendo en cuenta las características, procedencia, volumen, nivel de aprovechamiento, costo de aprovechamiento, transporte y disposición final [19].

6.1.7 Tipos de reciclaje

➤ Reciclado mecánico

Es el proceso más utilizado que consiste en varias etapas de separación, limpieza y molido del material [20].

➤ Reciclado químico

En este proceso el PET se despolimeriza por medio de dos procesos, uno de ellos es la metanólisis y el glicolisis, procesos en donde las moléculas que componen el envase se separan y son empleadas para fabricar nuevos envases [20].

➤ Reciclado energético

Este proceso es cuando los envases son utilizados como combustibles alternos para generar energía, esto es posible ya que en su fabricación no se utilizan aditivos ni modificadores lo que permite que estas emisiones no sean tan tóxicas [20].

De acuerdo a la fundación verde natural en la ciudad de Bogotá se generan aproximadamente 12.000 toneladas de icopor al año, de las que solo el 1% es reciclada año tras año. Además, el icopor no es recolectado por los recicladores debido a que el kilo de icopor es pagado a 100 pesos y sus carretas se llenan aproximadamente con 4 kilos por lo que para ellos no es viable reciclar el icopor. Debido a lo mencionado anteriormente se planteó la idea de implementar nuevos materiales para la construcción de estructuras civiles y así disminuir el uso del icopor en el campo de la construcción.

6.2 MARCO CONCEPTUAL

6.2.1 Aligeramiento de losas de entrepiso

El aligeramiento en losas de entrepiso, o también llamadas losas nervadas es uno de los avances más relevantes en los sistemas estructurales, causando la disminución de peso de las estructuras sin afectar la seguridad que genera esta, así como también una disminución en el material a utilizar y menores costos de construcción.

6.2.2 Que es un caseton

Es un bloque de poliestireno expandido (icopor), esterilla de guadua o fibra de vidrio utilizado en la construcción de placas de entrepiso aligeradas en una o dos direcciones para formar los espacios de las cavidades entre viguetas.

6.2.3 Resistencia a la compresión

Esta resistencia hace referencia al esfuerzo máximo que puede soportar un material cuando se le sobre imponen cargas de aplastamiento. Un material que falla a causa de la aparición de una fisura después de aplicar la carga de compresión se puede definir como una propiedad independiente del material, pero si el material no falla se define como la cantidad de esfuerzo necesario para deformar el material. La resistencia a la compresión se calcula dividiendo la carga máxima por el área transversal original de una probeta en un ensayo de compresión. [21]

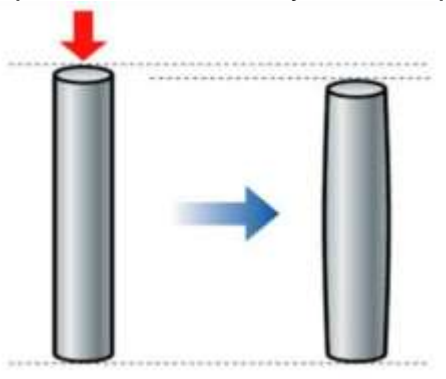


Ilustración 7. Esquema de fuerza a compresión a la que es sometido el caseton
Fuente: ríos corrugadoras S.A, México.

6.2.4 Máquina automática para compresión de alta capacidad

La máquina para ensayos de concreto o de prensa hidráulica, ha sido desarrollada como respuesta a las necesidades de los ensayos de laboratorio en concreto y otros materiales de construcción, con funciones de operación y cálculo integradas, que mejoran su trabajo, garantizando la exactitud de los resultados y facilitando el registro sistematizado durante las pruebas. Las máquinas deben cumplir con los requisitos de la normas nacionales e internacionales para la realización de ensayos de cilindros de concreto, y con accesorios adecuados; vigas de concreto, bloques y ladrillos de arcilla, plásticos, entre otros [22].



Ilustración 8. Máquina Automática Para Compresión.
Fuente: ALFA test

6.2.5 Botellas pet

Son utilizadas para envasar agua pura, gaseosas, lácteos, productos de limpieza, etc. Cuya ventaja frente a los envases de vidrio radica en su bajo costo y la cantidad de formas que puede tomar [11].



Ilustración 9. Botella PET no retornable común.
Fuente: propia.

6.2.6 Mallas de acero

Estas mallas son muy fáciles de moldear, son resistentes y económicas. La malla está amarrada entre sí por alambres dando formas de poligonales como se evidencian en la Ilustración 10.



Ilustración 10. Malla de acero
Fuente: Homecenter

6.2.7 Pegamento o silicona

Es una sustancia líquida, que permite pegar objetos y mantenerlos en esa posición durante un tiempo prolongado, el cual se encargará junto al alambre de mantener las botellas plásticas unas junto a otras [23].



Ilustración 11. Pegamento o silicona
Fuente: física interactiva.

6.2.8 Alambre dulce

Es un alambre de acero generalmente utilizado en la construcción para hacer amarres. Muy maleable, por lo que recibe el nombre de alambre dulce con un grosor de 2 mm ya que puede ser manipulado con gran facilidad y es resistente. Este material sería utilizado para asegurar la estructura de las botellas para que estas mantengan la forma del casetón.



Ilustración 12. Alambre dulce comercial.
Fuente: física interactiva.

6.2.9 Malla electrosoldada

Es un producto formado por dos sistemas de alambre de acero en dos direcciones uno longitudinal y el otro transversal los cuales se cruzan perpendicularmente soldados en cada punto de unión formando cuadros



Ilustración 13. Malla Electrosoldada
Fuente: Gerdau Diaco

6.3 ESTADO DEL ARTE

En el campo de la construcción se ha empezado a reutilizar algunos materiales que reducen notoriamente el costo de la obra, para este caso de estudio se centralizó en los envases PET, las cuales años atrás han sido implementados en proyectos ambientales como los eco ladrillos donde las botellas son llenadas con arena o en algunos casos residuos sólidos comprimidos y así realizar muros, inicialmente esta técnica se implementó en las sierras Cordobesas [24] con el fin de construir casas y darle la oportunidad a muchas familias de poseer una vivienda.

En México se utilizaron aproximadamente 10.500 envases PET como material de sustitución, relleno y nivelación de terrenos irregulares de baja capacidad de carga para la construcción de casas de un solo piso como se muestra en la Ilustración 14. Debido a que el área de construcción estaba sobre un depósito de suelo altamente compresible generando asentamientos diferenciales, situación que vulnera la

estabilidad del terreno afectando la estructura de las casas, en la Ilustración 15 se muestra la forma de como quedaban los pisos utilizando los respectivos envases [25].

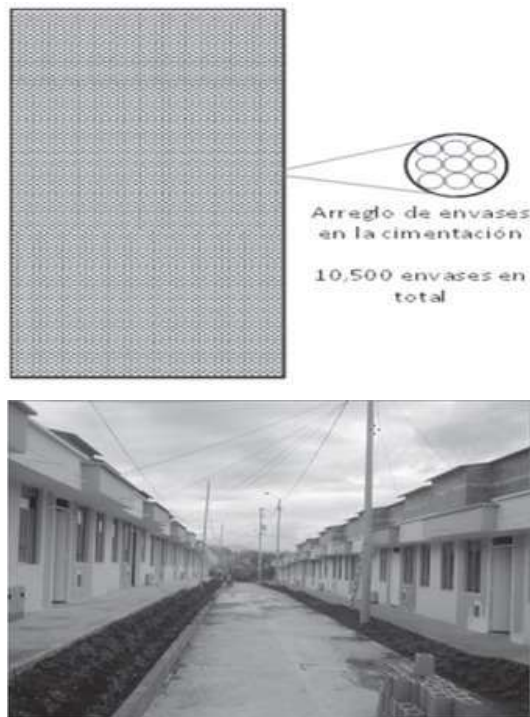


Ilustración 14. Viviendas con arreglos de envases en la cimentación
Fuente: Revista facultad de ingeniería universitaria de Antioquia

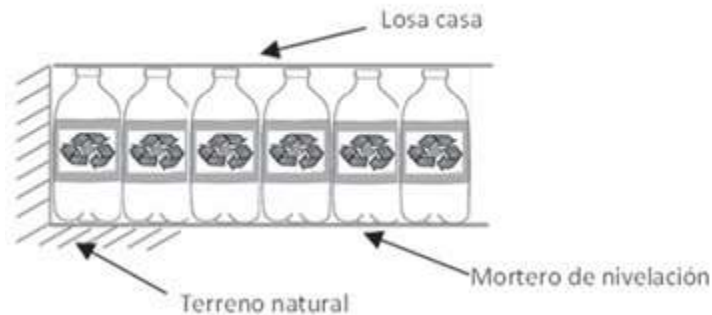


Ilustración 15. Muestra de la configuración utilizada para las casas.
Fuente: Revista facultad de ingeniería universitaria de Antioquia

Eco-Tec es una empresa que implementa las botellas PET para la construcción de muros, donde han construido varias casas de botellas de plástico en todo el mundo, todos los proyectos de Eco-tec tienen un fuerte enfoque social. La mayor parte de botellas de PET utilizadas son recuperadas en tareas de limpieza y campañas de reciclaje, la instalación de las botellas depende de la orientación de estas, como también la textura de la superficie exterior como se muestra en la Ilustración 16 [26].



Ilustración 16. Sky Field House de Eco Tec en construcción el primer techo abovedado con botellas PET

Fuente: Revista facultad de ingeniería universitaria de Antioquia

La compañía de investigación argentina CONICET (consejo Nacional de investigación científica y técnica) ha realizado ladrillos de Polietileno tereftalato (PET) los cuales son más ligeros, de gran resistencia al fuego y provocan un mayor aislamiento térmico. Pero no pueden ser utilizados como muros estructurales [27]. Además, la facultad de ingeniería de la universidad autónoma de Querétaro realizó la implementación de fibras de PET para morteros ayudando a mejorar la resistencia y rigidez representando menos costos en materias primas [28].

En Taiwán, se realizó la creación de un sistema constructivo formado por hexágonos de envases PET de 30 cm de largo y 17 cm de ancho con sus lados alternados entre cóncavos y convexo para garantizar el anclaje entre cada envase PET y así garantizar que la resistencia aumenta al trabajar en grupo [29].



Ilustración 17. Edificio con envases PET en Taiwan
Fuente: Artículo plastic bottle homes and Greenhouses

Los empresarios de BAMBOO HOUSE OF INDIA Prashant Lingam, y su esposa Aruna Kappagantula, han reemplazado ladrillo con botellas de plástico para construir hogares sostenibles, añadiendo “En un proyecto piloto, construimos una casa con bambú y botellas. El esqueleto básico se hizo con bambú. Para las paredes, se colocaron botellas llenas de barro tanto vertical como horizontalmente, ofrece aislamiento térmico.

La utilización de materiales alternativos para estructuras aligeradas como los son muros no estructurales o casetones que se han sido un benefactores para las obras ya que puede inducir en el costo y la necesidad que se debe suplir como lo son de ejemplo de los casetones con diferentes materiales o muros de drywall o fibra de vidrio; Un casetón de guadua que es utilizado cuando el presupuesto de la obra es obra es relativamente bajo mientras que materiales como el icopor de alta densidad se utiliza en construcciones donde se quiere conseguir un mejor acabado y un presupuesto elevado [12].

6.4 MARCO NORMATIVO

➤ **Resolución 1407 de 2018**

Esta norma fomenta el aprovechamiento, innovación y el ecodiseño de los envases y empaques que se ponen en el mercado. Por lo anterior los industriales deben formular un “Plan de Gestión Ambiental de Residuos de Envases y Empaques” que fomente el aprovechamiento y reutilización de los mismos.

➤ **Decreto 1076 del 2015**

Decreto por el cual se expide el desarrollo único reglamentario en el sector ambiente y para el desarrollo sostenible. encargado de orientar y regular el ordenamiento ambiental del territorio y de definir las políticas y regulaciones a las que se sujetarán la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales renovables y del ambiente de la Nación, a fin de asegurar el desarrollo sostenible, sin perjuicio de las funciones asignadas a otros sectores.

➤ **Ley 400 (19 de agosto de 1997)**

En la actualidad se encuentra en vigencia desde el año 1997, La presente ley establece criterios y requisitos mínimos para el diseño, construcción y supervisión técnica de edificaciones nuevas, así como de aquellas indispensables para la recuperación de la comunidad con posterioridad a la ocurrencia de un sismo, que puedan verse sometidas a fuerzas sísmicas y otras fuerzas; las estructuras que se diseñen y construyan siguiendo las recomendaciones presentadas en el Título E de viviendas de uno y dos pisos de la Norma Sismo resistente NSR-10 [30].

- **Capítulo II ley 400 (Otros materiales y métodos alternos de diseño y construcción)**

- Artículo 8. Uso de materiales y métodos alternos.

Permite el uso de materiales estructurales, métodos de diseño y métodos de construcción diferentes a los presentados en la presente ley y sus reglamentos. Garantizando un cumplimiento de los requisitos establecidos en siguientes artículos [31].

- Artículo 9. materiales alternos.

Permite el uso de materiales estructurales no previstos o establecidos en esta ley y sus reglamentos, mediante autorización previa de la “Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes” sujeto a los términos del artículo 14 bajo el régimen de responsabilidad establecida en la presente ley [31].

- Artículo 10. métodos alternos de análisis y diseño.

Se permite el uso de métodos de análisis y diseño estructural diferentes a los prescritos por esta ley y sus reglamentos siempre y cuando el diseñador estructural presente evidencia que demuestre que la alternativa propuesta cumple con sus propósitos en cuanto a seguridad, durabilidad y resistencia especialmente sísmica, y además se sujete a uno de los procedimientos siguientes:

- ✓ Presentar con los documentos necesarios para la obtención de la licencia de construcción de la edificación, la evidencia demostrativa y un memorial en el cual inequívocamente acepta la responsabilidad sobre las metodologías de análisis y diseño alternas,
- ✓ Obtener una autorización previa de la “Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes”, de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 14, que le permita su utilización, sujeto al régimen de responsabilidades establecido en la presente ley y sus reglamentos [31].

- Artículo 11. métodos alternos de construcción.

Se permite el uso de métodos alternos de construcción y de materiales cubiertos, pero cuya metodología constructiva sea diferente a la prescrita por éstos, siempre y cuando el diseñador estructural y el constructor presenten, en conjunto, un memorial en el cual inequívocamente aceptan las responsabilidades que se derivan de la metodología alterna de construcción [31].

- Artículo 12. sistemas prefabricados.

Se permite el uso de sistemas de resistencia sísmicas que estén compuestos, total o parcialmente, por elementos prefabricados que no se encuentren contemplados en esta ley, siempre y cuando cumplan con uno de los procedimientos siguientes: Utilizar los criterios de diseño sísmico presentados en el Título A de la reglamentación, de conformidad con lo dispuesto en el artículo 46 de esta ley. Obtener autorización previa de la “Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes”, de conformidad con lo dispuesto en el artículo 14, que le permita su utilización, la cual no exime del régimen de responsabilidades establecido en la presente ley y sus reglamentos [31].

- Artículo 13. otros sistemas, metodologías o materiales.

Cualquier sistema de diseño y construcción que haga referencia al objeto de esta ley y sus reglamentos, del cual exista evidencia obtenida por uso, análisis o experimentación de que está capacitado para cumplir sus propósitos pero no reúne uno o más requisitos específicos de la ley y sus reglamentos, podrá presentarse ante la dependencia distrital o municipal a cargo de la expedición de las licencias de construcción, acompañado de una autorización de la “Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes”, de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 14, la cual no exime del régimen de responsabilidades establecido en la presente ley y sus reglamentos [31].

- Artículo 14. conceptos de la “comisión asesora permanente para el régimen de construcciones sismo resistentes”.

Con base en la evidencia presentada sobre la idoneidad del sistema de resistencia sísmica y del alcance propuesto para su utilización, la “Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes”, emitirá un concepto sobre el uso de materiales, métodos y sistemas comprendidos en esta ley y sus reglamentos [31].

➤ **Norma técnica colombiana ntc 673**

Esta norma consiste en aplicar una carga axial en compresión a los cilindros moldeados también llamados cilindros a una velocidad que se encuentra dentro de un rango prescrito hasta que ocurra la falla. para el desarrollo de esta investigación se pretende replicar este ensayo a los casetones con envases PET para determinar la capacidad de carga que soportan los casetones.

➤ **Guía para selección de tecnologías de manejo integral de residuos sólidos**

Tiene como objetivo apoyar la gestión de funcionarios técnico-ambiental y planificadores del nivel regional y municipal en la correcta aplicación de la política para la gestión integral de residuos, especialmente en lo que se refiere a la correcta selección de tecnologías aplicables en forma sostenible a las condiciones socioeconómicas [32].

6.5 MARCO GEOGRÁFICO

Este proyecto ha sido desarrollado en la ciudad de Villavicencio en el departamento del Meta en Colombia, en el dónde se realizaron los estudios pertinentes para la ejecución del anteproyecto. Se buscaron lugares como colegios y puntos específicos de la ciudad que facilitaron la adquisición de la materia prima (envase PET). Como se ve en la **Ilustración 18**. Ubicación de Villavicencio en Colombia.



Ilustración 18. Ubicación de Villavicencio en Colombia.
Fuente: Alcaldía municipal de Villavicencio

7 METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este proyecto de investigación es necesario realizar varias etapas experimentales mencionadas a continuación, en las que se puedan determinar los análisis de los datos obtenidos en las pruebas realizadas. Con el fin de poder establecer la viabilidad de los materiales utilizados como nuevos métodos utilizados en la construcción.

7.1 DESCRIPCIÓN DE ETAPAS Y TAREAS

Para el desarrollo de este proyecto se establecieron 4 etapas debido a que el material utilizado en los casetones y los muros no estructurales proviene de los desechos generados en la ciudad, de acuerdo al decreto 1076 del 2015 en el cual se establece las políticas y regulación de la recuperación, conservación, protección y aprovechamiento de los recursos naturales y del ambiente de la nación. Como son desechos el material presenta gran número de microorganismos y suciedad causante de enfermedades para el ser humano.

7.1.1 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 [33]:

- Debe estar limpio y desinfectado para evitar problemas relacionados con la 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

7.1.2 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:

➤ Paso 1. disposición 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 con las configuraciones establecidas anteriormente como se muestra en la Ilustración 40 dando forma a un cubo de botellas.

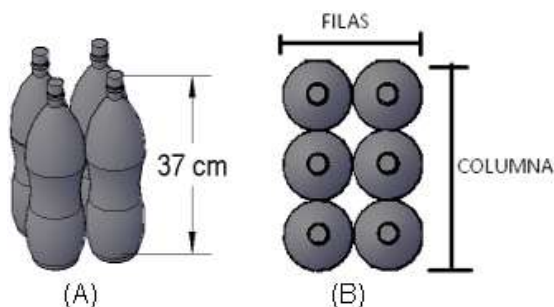
Las medidas de los casetones varían de acuerdo al tipo de envase que se utiliza, es decir que los casetones hechos de envases de más de 1.5 litros tienen dimensiones mayores debido al volumen y forma de las botellas, ayudando a ocupar mayor espacio con una cantidad menor de envases

➤ 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 Ilustración 19. 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.



- 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 Ilustración 20, 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.

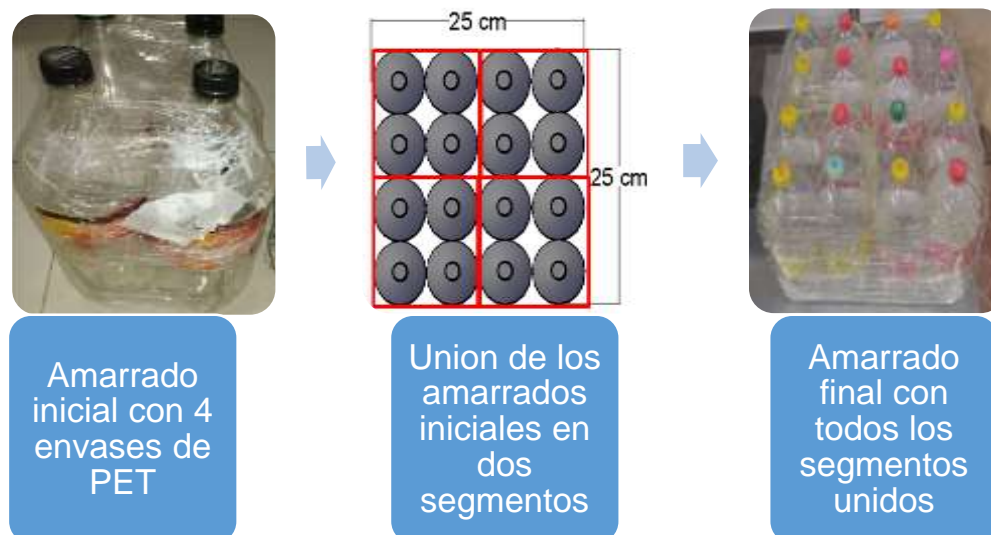


Ilustración 20. Proceso de armado de los casetones de 12 a 24 envases.
Fuente: Propia.

7.1.3 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 (50kg), 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 están prensando envases PET.

Estos ensayos son necesarios debido a que al momento de construir una placa de entrepiso 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.

7.1.4 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.

7.2 POBLACIÓN, MUESTRAS, VARIABLES E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

7.2.1 POBLACIÓN

Se recolectaron 300 envases de diferentes bebidas y volúmenes de los que se implementaron 154 envases de diferentes volúmenes en la realización de los casetones y para el prototipo del muro no estructural se utilizaron 100 envases, además se descartaron 46 envases por tener defectos en su estructura, por no contar con sus respectivas tapas o porque ya no se necesitaban en la investigación. En la Ilustración 21 se muestra que los envases llegaron mezclados y sin ningún tipo de limpieza debido a esto tocó una vez desinfectados los envases realizar una clasificación de acuerdo a sus volúmenes.



Ilustración 21. Envases recolectados
Fuente: Propia

En la Gráfica 1 se aprecia que se utilizó el 84.6 % del total de envases recolectados con un total de 254 envases aprovechados y se descartó el 15.3% del total equivalentes a 46 envases.



Gráfica 1. Porcentaje de envases utilizados en el proyecto
Fuente: Propia

7.2.2 Control de calidad

Se realizó la limpieza del interior y del exterior de 300 envases por medio del lavado con detergente y cloros, posteriormente estos fueron dejados por 10 min en la mezcla de agua, jabón en polvo y cloros, con el fin de garantizar la desinfección de toda la superficie de los envases. Posteriormente, los envases fueron puestos al sol de manera que el agua escurriera por sí sola (boca abajo) durante 15 minutos.

7.2.3 Muestras

7.2.3.1 Casetón 1

Se utilizaron 4 envases de 2500 mililitros amarrados con cinta y con tiras del mismo PET en la parte superior cerca de las tapas y en la parte inferior cerca a la base del envase (ver Ilustración 23), el casetón 1,2,3 y 4 cuenta con dimensiones de 22 x 22 x 37 cm como se observa en la Ilustración 22.

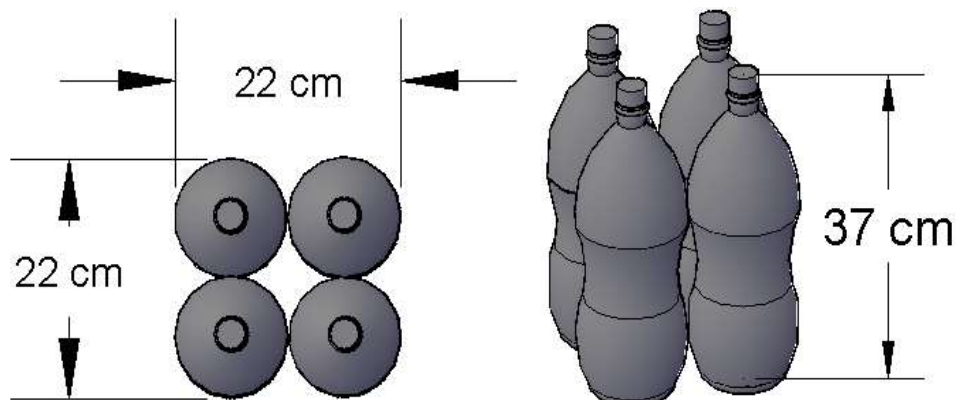


Ilustración 22. Modelo digital Casetón 1 en planta y en 3D
Fuente: Propia



Ilustración 23. Casetón 1
Fuente: Propia

7.2.3.2 Casetón 2

Se utilizaron 4 envases de 2500 mililitros, amarrados con alambre alrededor de los envases en la parte superior cerca de las tapas y en la parte inferior será la base del envase utilizando la configuración 1 y se puso malla de acero alrededor de los envases (ver Ilustración 24).



Ilustración 24. Casetón 2
Fuente: Propia

7.2.3.3 Casetón 3

Se utilizaron 4 envases de 2500 mililitros, amarrados con cinta y tiras de PET en la parte superior cerca de las tapas y en la parte inferior será la base del envase utilizando la configuración 1 y se puso malla de acero alrededor de los envases (Ilustración 25).



Ilustración 25. Casetón 3
Fuente: Propia

7.2.3.4 Casetón 4

Se utilizaron 4 envases de 2500 mililitros, amarrados con papel vinipel alrededor de los envases (ver Ilustración 26) utilizando la configuración 1.



Ilustración 26. Casetón 4
Fuente: Propia

7.2.3.5 Casetón 5

Se utilizaron 4 filas y 4 columnas para un total de 16 envases de 2500 mililitros amarrados en 4 grupos de a 4 envases cada uno por medio de cinta transparente adicional se añadió alambre en la parte superior, en el centro y en la base del envase

para dar más soporte, también se utilizó malla de acero alrededor de los 16 envases y posee unas medidas de 36 x 36 x 37 cm (ver Ilustración 27 e Ilustración 28).

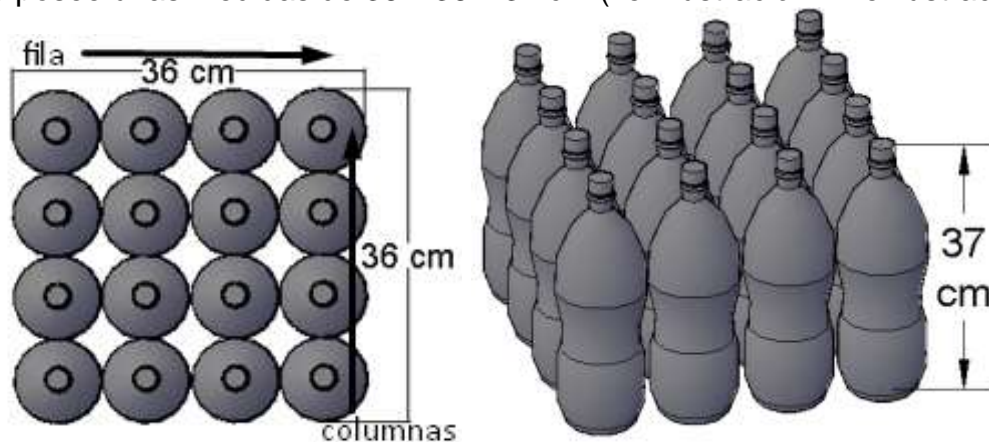


Ilustración 27. Modelo digital del Casetón 5 en planta y en 3D
Fuente: Propia



Ilustración 28. Casetón 5
Fuente: Propia

7.2.3.6 Casetón 6

Se utilizaron 4 filas y 3 columnas para un total de 12 envases de 500 mililitros sujetos con papel vinipel por todas las caras del casetón (ver Ilustración 30) , no se utilizó el amarrado por grupos. Este casetón cuenta con unas medidas de 25 x 25 x 23 cm (ver Ilustración 29).

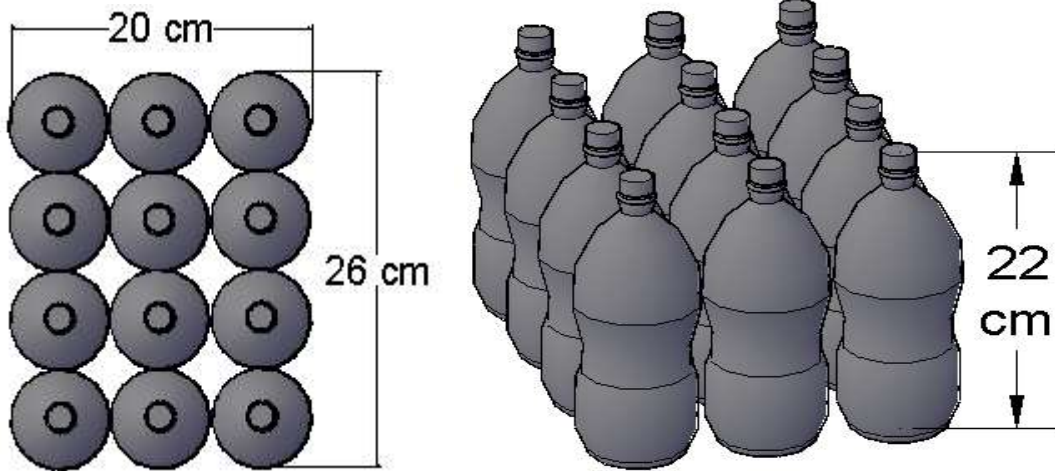


Ilustración 29. Modelo digital del Casetón 6 en planta y en 3D
Fuente: Propia



Ilustración 30. Casetón 6
Fuente: Propia

7.2.3.7 Casetón 7

Se utilizaron 4 filas y 4 columnas para un total de 16 envases de 600 mililitros, asegurados en dos grupos de 8 envases por medio de alambre en la parte cerca a la base y en el medio del envase y cubiertos por malla de acero, posee dimensiones de 25 x 25 x 22 cm como se muestra en Ilustración 31.

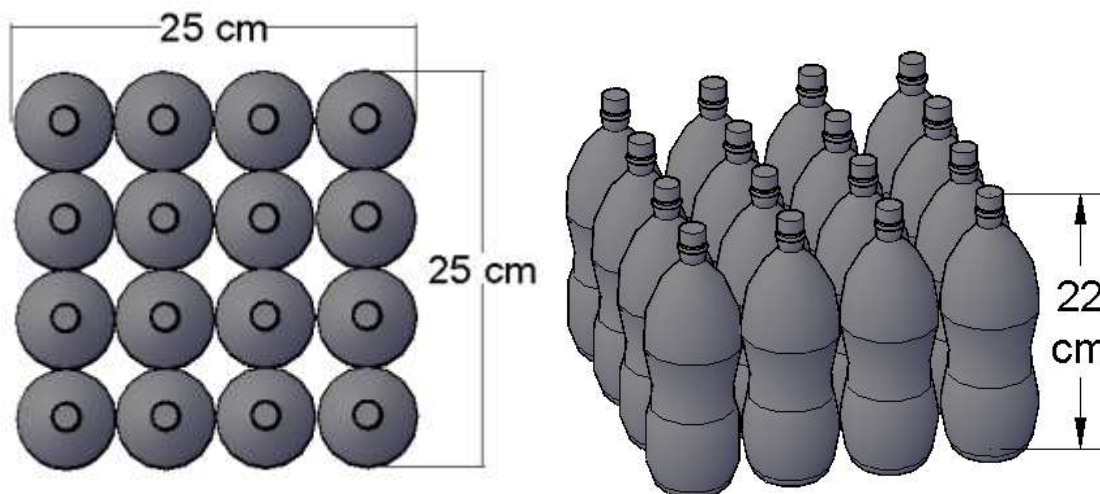


Ilustración 31. Modelo digital del casetón 7 en planta y en 3D
Fuente: Propia



Ilustración 32. Casetón 7
Fuente: Propia

7.2.3.8 Casetón 8

Se utilizaron 4 filas y 4 columnas para un total de 16 envases de 400 mililitros asegurados con hilos de PET los cuales fueron puestos en la parte superior del envase cerca de las tapas y en la parte inferior cerca de la base sin ningún uso de malla de acero y posee una dimensiones de 25 x 25 x 23 cm muy similares al casetón 7 (Ilustración 31).

7.2.3.9 Casetón 9

Se utilizaron 16 envases de 575 mililitros asegurados con cinta transparente en un solo bloque, es decir no se aseguraron por grupos, sus dimensiones es de 26 x 26 x 24 cm

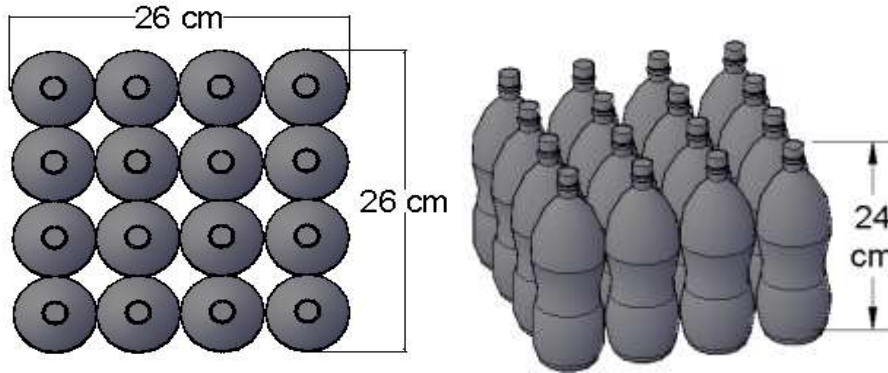


Ilustración 33. Modelo digital casetón 9 en planta y en 3D
Fuente: Propia



Ilustración 34. Casetón 9
Fuente: Propia

7.2.3.10 Casetón 10

Se utilizaron 16 envases de 2500 mililitros en cuatro filas y 4 columnas con la configuración 2 la cual consiste en poner los envases de dos filas con las tapas hacia abajo (ver Ilustración 35) aseguradas con alambre y cinta transparente, no se utilizó malla de acero como se muestra en la Ilustración 36.

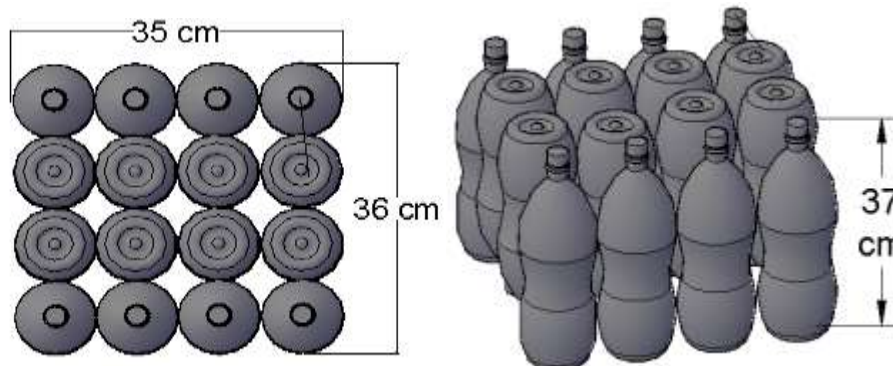


Ilustración 35. Modelo digital casetón 10 en planta y en 3D
Fuente: Propia



Ilustración 36. Casetón 10
Fuente: Propia

7.2.3.11 Casetón 11

Se utilizaron 16 envases de 3000 ml, amarrando 4 grupos de a 4 envases cada uno por medio de alambre (ver Ilustración 38) Además, la unión de los 4 grupos de envases fue cubierta con malla de acero (ver Ilustración 37).



Ilustración 37. Casetón 11
Fuente: Propia



Ilustración 38. Grupo de 4 envases
Fuente: Propia

7.2.3.12 Casetón 12

Se colocaron 12 envases de 2500 mililitros en la cual se pusieron 3 filas y 4 columnas, los envases fueron asegurados todos a la vez en la parte superior de los envases y en la parte inferior, además se colocó malla de acero alrededor de los envases como se muestra en la Ilustración 39



Ilustración 39. Casetón 12
Fuente: Propia

7.2.3.13 Casetón 13

Se utilizaron 18 envases de 600 mililitros distribuidos en 6 filas y 3 columnas, los envases se aseguraron con alambre en dos partes diferentes, una en al pie de las

tapas y el otro en la base de los envases, adicional se puso malla de acero para dar mejor soporte (ver Ilustración 40)



Ilustración 40. casetón 13
Fuente: Propia

7.2.4 Variables

7.2.4.1 Dimensiones

En la siguiente tabla se encuentra las dimensiones en base a base, ancho, alto de cada uno de los casetones realizados junto a su respectivo volumen y especifica el tipo de prueba que se le realizó. Debido a que no todos los prototipos no contaban con las mismas dimensiones ya que las configuraciones y el número de envases cambiaba en cada casetón y esto hace que cambie las capacidades de carga de cada prototipo.

Tabla 1. Dimensiones de los casetones ensayados

Casetón N°	Volumen (L)	Dimensiones (cm)				Tipo de prueba	
		base	ancho	alto	espesor	carga	Compresión máquina universal
1	2.5	22	22	37	0.005	x	x
2	2.5	22	22	37	0.005	x	x
3	2.5	22	22	37	0.005	x	x
4	2.5	22	22	37	0.005	x	x
5	2	36	36	37	0.005		x
6	0.5	26	20	22	0.005		x
7	0.6	25	25	22	0.006		x
8	0.4	25	25	23	0.005		x
9	0.575	26	26	24	0.005		x
10	2.5	32	32	37	0.005	x	x
11	3	43	43	37	0.005	x	
12	2.5	40	31	37	0.005	x	

Casetón N°	Volumen (L)	Dimensiones (cm)				Tipo de prueba	
		base	ancho	alto	espesor	carga	Compresión máquina universal
13	0.6	37	20	22	0.006	x	

FUENTE: PROPIA

7.2.5 Instrumentos de recolección de datos

- Flexómetro

Se utilizó para tomar las medidas de las dimensiones de los casetones que se ensayaron en la maquina universal de compresión y a los casetones que se les realizó la prueba de carga

- Maquina universal de compresión

Este equipo se utilizó para ejercer presión a los casetones y así poder saber la carga que soporta cada casetón.

8 ETAPA 1 (CAPITULO DE DESARROLLO, LIMPIEZA DEL MATERIAL PET RECOLECTADO PARA EL DESARROLLO DE LOS PROTOTIPOS DE CASETONES Y MUROS NO ESTRUCTURALES)

Para establecer las condiciones óptimas del material PET recolectado, se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones [33]:

➤ **RECOLECCIÓN**

- 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.

➤ **DESINFECCIÓN**

- El material PET debe estar limpio y desinfectado para evitar problemas relacionados con la 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 cloro 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

9 ETAPA 2 (CAPITULO DE DESARROLLO, REALIZACIÓN DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE LOS MUROS NO ESTRUCTURALES Y CASETONES FORMULANDO DIFERENTES CONFIGURACIONES SEGÚN METODOLOGÍA PROPUESTA)

9.1 CONFIGURACIÓN DE CASETONES CON ENVASES PET

Es importante resaltar que se establecerán dos arreglos de envases con distintas configuraciones, con el fin de ver su comportamiento y así poder establecer si las dos configuraciones son las adecuadas o si solamente una de las dos.

➤ Configuración 1

Para esta configuración se escogerán los envases PET que presenten mayor resistencia a la compresión y se colocarán de formas que todas las tapas queden en la parte superior como se muestra en la siguiente imagen.



Ilustración 41. Configuración número 1.

Fuente: Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia.

➤ Configuración 2

Esta configuración igual que la primera, es necesario utilizar los mismos envases PET, es decir tengan la misma resistencia y se ubicaran de la forma en donde los envases de los extremos queden con sus tapas hacia arriba y los del medio queden con sus tapas hacia abajo, aclarando que se deben de dejar la misma cantidad de envases para cada posición.



Ilustración 42. Configuración número 2.

Fuente: Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia.

Para la construcción de los casetones se deben tener las siguientes consideraciones:

- Se deben colocar envases formando las filas y columnas para generar el casetón, los envases pueden ser puestos de diferentes formas como se muestra en la Ilustración 41 e Ilustración 42
- Algunos envases se colocarán de formas que todas las tapas queden en la parte superior como se muestra en la Ilustración 41.
- Los envases PET se ubicarán de la forma en donde los envases de los extremos queden con sus tapas hacia arriba y los del medio queden con sus tapas hacia abajo como se muestra en la Ilustración 42.
- Para los casetones los envases deben de estar aseguradas para poder dar firmeza, utilizando materiales como alambre y mallas que garanticen que los envases no se muevan.
- Los amarres con alambre son colocados a dos alturas diferentes, una se colocará en la parte superior del envase cerca de las tapas y el otro se amarrará en la parte inferior cerca a la base del envase.
- La malla de acero estará puesta alrededor de todos los envases previamente amarrados con alambre.
- Se debe de realizar una cubierta a los casetones con el fin de obtener una superficie plana y poder dejar acabados agradables y finos.
- Para los muros no estructurales se debe poner los envases PET en medio de dos mallas electro-soldadas sostenidas por medio de anclajes metálicos para garantizar la firmeza de los envases y la malla.
- Además, estos muros deben de tener barras de acero a diferentes distancias con el fin de que puedan ser anclados a las vigas y las columnas.

9.2 MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DEL CASETÓN CON BOTELLAS PET

Para la construcción de los casetones es necesario utilizar botellas PET vacías, las cuales se encuentren en buen estado, sin presentar abolladuras y que contarán con su tapa.

Estas serán recolectadas en diferentes sitios de la ciudad, como en instituciones educativas, empresas de reciclaje y demás entidades comerciales. 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 presenta mayor resistencia. Las botellas forman la estructura principal del sistema, resistiendo todo el peso de la losa de concreto.

➤ **Cartón**

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 a todo el casetón [34].

➤ **Plástico**

La principal función del plástico es la de aislar el cartón del concreto, para evitar la absorción de humedad de parte del cartón. El plástico utilizado es el polietileno, este fue adquirido con un bajo costo económico [34].

➤ **Malla de acero**

Su principal función es proporcionar mayor resistencia al casetón y poder soportar las cargas aplicadas.

9.3 DIMENSIONES DE CASETÓN

9.3.1 Vista en planta de la botella

Como se muestra en la Ilustración 43 en la cual se especifica el diámetro aproximado que tiene la botella y el diámetro de su tapa estipuladas en la Tabla 2. Diámetro de los envases.

Tabla 2. Diámetro de los envases

Diámetro de la botella	6 cm
Diámetro de la tapa	3 cm

Fuente: propia

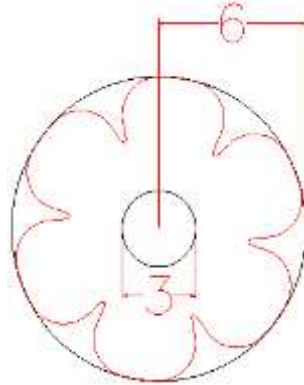


Ilustración 43. Vista en planta de la botella
Fuente: propia

9.3.2 Corte transversal de la botella para casetones de entrepiso.

En la Ilustración 44, se muestra las dimensiones de las botellas a utilizar. Las botellas tendrán una altura de aproximadamente 37 cm, un diámetro de 12 cm y su tapa tiene un diámetro de 3 cm como está establecido en la Tabla 3.

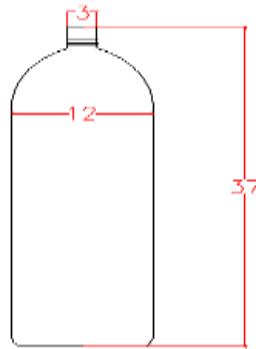


Ilustración 44. Vista transversal y dimensiones de la botella
Fuente: propia

Tabla 3. Dimensiones de la botella a utilizar

Descripción	Longitudes	Unidades
Diámetro de la botella	12	Cm
Diámetro de la tapa	3	Cm
Altura de la botella	37	Cm

Fuente: propia

9.3.3 Corte longitudinal y transversal

En la Ilustración 45 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 está cubierta por 4 botellas.

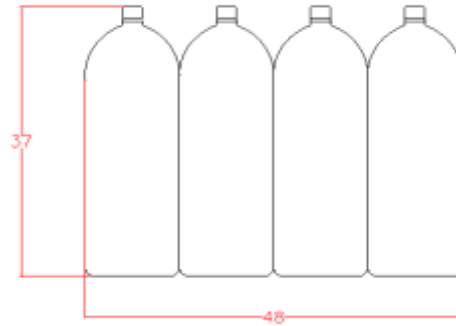


Ilustración 45. Vista de corte longitudinal de la botella
Fuente: propia

En la Ilustración 46 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 4 para los cuales se necesitan aproximadamente 3 botellas.

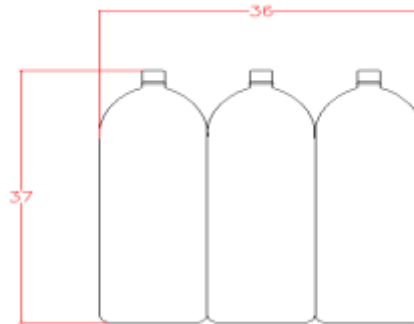


Ilustración 46. Corte transversal del casetón
Fuente: propia

Tabla 4. Dimensiones del casetón

Descripción	Distancia	unidades
Base	46	Cm
Altura	37	Cm
Ancho	36	Cm

Fuente: propia

9.3.4 Modelo en 3D del casetón

En la Ilustración 47 se muestra la estructura en 3D de cómo quedará la estructura de los casetones, a los cuales se les adicionará varios materiales establecidos en la Tabla 5.



Ilustración 47. Modelo 3D del casetón
Fuente: propia

Tabla 5. Cantidad de materiales a utilizar para el casetón.

Descripción	Long.	Unidades
Cantidad de botellas	12	Unid.
Cantidad de plástico	10	m ²
Cinta	6	m
Alambre	20	m

Fuente: propia

9.4 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 electro soldadas 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 utilizará envases pequeños con las dimensiones mostradas en la Tabla 6 y en la Ilustración 48. 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.

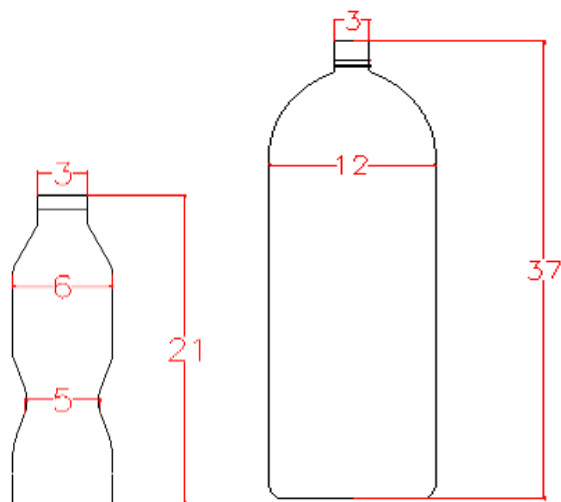


Ilustración 48. Modelo de la botella y sus dimensiones
Fuente: propia

9.4.1 Características de los muros

Estos muros se construirán con la unión de módulos con dimensiones de 1 metro por 1 metro en los que se ocuparan 27 envases utilizando volúmenes de 3 litros, además para la utilización de envases de mejor volumen se calcula que se utilizará aproximadamente entre 80 a 100 envases. 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.

Tabla 6. 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

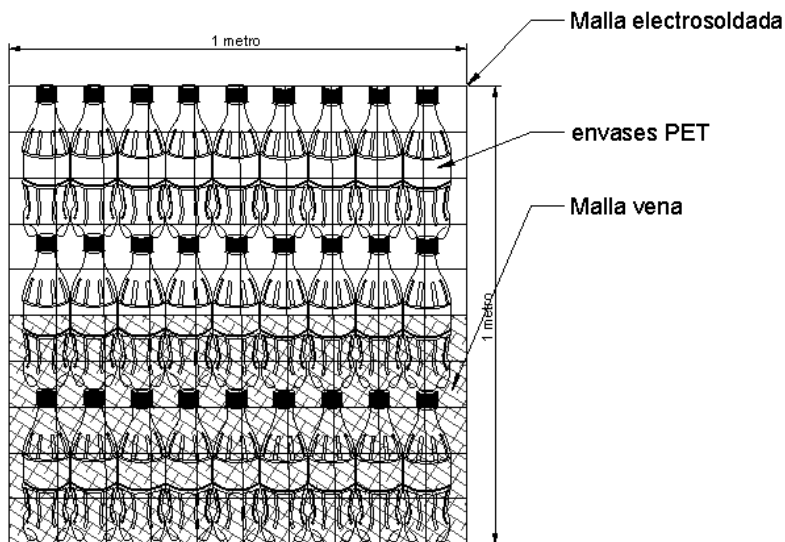


Ilustración 49. Estructura muro no estructural con núcleo de envases PET

9.4.2 Anclaje del muro no estructural

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

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 20×30 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 Ilustración 50 e Ilustración 51. Posteriormente para losas de entrepiso se debe realizar la colocación de los bastones en "U" en las vigas o viguetas de la losa como se muestra en la Ilustración 52 [35].



Ilustración 50. Anclaje del módulo para muros no estructurales
Fuente: propia

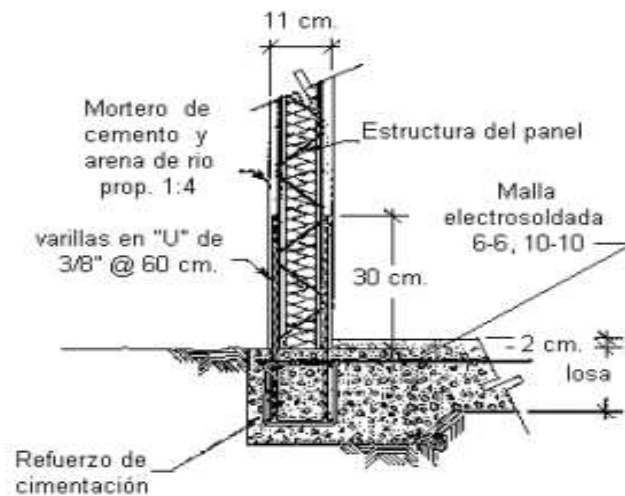


Ilustración 51. Detalle del anclaje del muro con núcleo de icopor
Fuente: Innovación al sistema constructivo de paneles de espuma de poliestireno expandido, para incorporación de elementos estructurales, en construcción de vivienda.

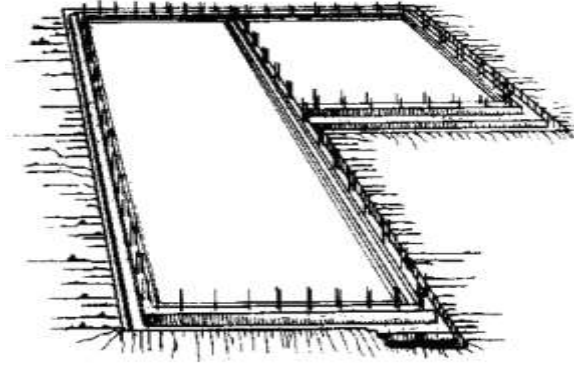


Ilustración 52. Losa de cimentación terminada con las varillas en “U” dispuestas a recibir los muros.
Fuente: Innovación al sistema constructivo de paneles de espuma de poliestireno expandido, para incorporación de elementos estructurales, en construcción de vivienda.

9.4.3 Armado modulo para muros no estructurales

Para el armado del módulo es necesario contar con los anclajes, se recomienda que la barras estén embebidas en la base monólicamente, posteriormente se realiza el amarrado de la malla electrosoldada al anclaje como se muestra en la Ilustración 53.



Ilustración 53. Anclaje de malla electrosoldada a los anclajes
Fuente: propia

Posteriormente se procede a colocar los envases PET en medio de las dos mallas electrosoldadas. En algunos casos hay envases que quedan sueltos por lo que es necesario disminuir el ancho entre las mallas mediante un trozo de alambre el cual se va prensando hasta que el envase quede ajustado como se muestra en la Ilustración 54.



Ilustración 54. Ajuste del ancho de las mallas
Fuente: Propia

En la Ilustración 56, se muestra un modelo en 3D de la estructura a escala del módulo para los muros no estructurales con envases PET en el cual se evidencia que tendrá dimensiones de 1 metro de alto por un metro de ancho y su espesor varía dependiendo del tipo de envase que se utilizará. Cada módulo contará con aproximadamente 15 cm de solape (Ilustración 55) para realizar el traslape de los módulos y crear una continuidad en la estructura.



Ilustración 55. Solape de cada módulo para los muros no estructurales
Fuente: Propia

cada 1.20 m estará anclado a dos barra longitudinales una por cada cara llamadas través que se conectarán a la malla electrosoldada para dar rigidez y firmeza [36].

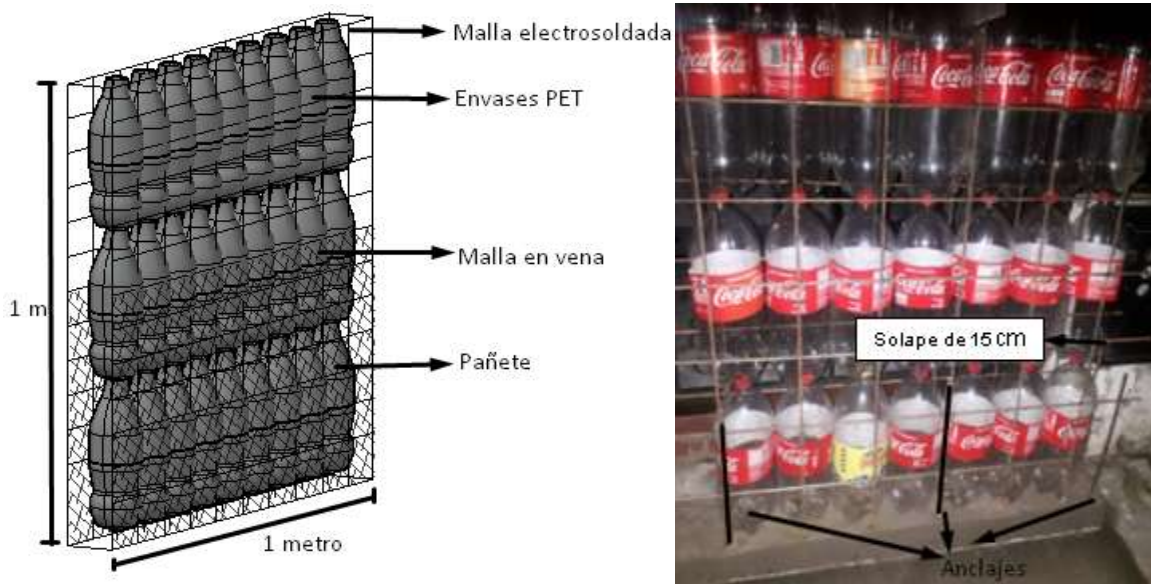


Ilustración 56. Modelo 3D de los muros no estructurales
Fuente: propia

En la Ilustración 57 se aprecia que los anclajes después de colocar todos los envases PET, todos los envases quedan alineados garantizando un mejor comportamiento estructural. Generando un nuevo método de construcción permitiendo el uso de nuevos materiales como lo establece el artículo 8 del capítulo 2 de la ley 400.



Ilustración 57. Anclajes para los módulos
Fuente: propia

En la Tabla 7 se encuentran establecidos los materiales utilizados para 1 metro cuadrado de muros

Tabla 7. Materiales necesarios para los muros no estructurales

DESCRIPCIÓN	MEDIDAS	UNIDADES
Cantidad de botellas	27	Unidades
Barras de acero 3/8	4	unidades
Alambre dulce de 2 mm de espesor	2	m
Malla vena	2	m ²
Malla de soporte (1mx1m)	2	m ²

Fuente: propio

En la Tabla 8 se encuentran las dimensiones del prototipo que ya se encuentra realizado y que ya ha sido utilizado en la construcción de una caja sanitaria

Tabla 8. Dimensiones del prototipo antiguo

DESCRIPCIÓN	LONGITUDES.	UNIDADES
Base	47	Cm
Altura	26	Cm
Ancho	26	Cm

Fuente: propia

10 ETAPA 3 (CAPITULO DE DESARROLLO, DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS PROTOTIPOS DESARROLLADOS Y VERIFICAR SU POTENCIAL UTILIZACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS)

10.1 PRUEBA DE CARGA PARCIAL ESTÁTICA

Esta prueba se realizó a los casetones que se encuentran estipula en la Tabla 9, se utilizó dos (2) sacos de cemento de 50 kilogramos, 8 bloques de arcilla de 4.5 kilogramos cada uno y el peso de 71 kilogramos de una persona como se muestra en la Ilustración 58 y en otros casetones se les puso el peso de 99 kilogramos como se muestra en la Ilustración 59, algunos de los casetones soportaron entre 207 y 235 kilogramos como se muestra en la Ilustración 60 e Ilustración 61.



Ilustración 58. Peso persona 1 (71 kg)
Fuente: Propia



Ilustración 59. Peso persona 2 (99 kg)
Fuente: Propia



Ilustración 60. resistencia de 207 Kg del casetón 11
Fuente: Propia



Ilustración 61. Resistencia de 235 kg del casetón (unión 1,2,3,4)
Fuente: Propia

A continuación, se presentan información referente de los casetones utilizados en las pruebas de cargas ya que por motivos de poca área de apoyo era complejo distribuir la fuerzas.

Tabla 9. Descripción de los casetones utilizados para las pruebas de carga

CASETÓN N°	VOLUMEN	UNIDAD	ENVASES POR FILA	ENVASES POR COLUMNAS	ENVASE TOTAL	CONFIGURACIÓN
11	3	litros	4	4	16	1
1,2,3,4	2.5	litros	4	4	16	2
12	2.5	litros	4	3	12	2
5	1.5	litros	4	4	16	1
13	0.6	litros	3	6	18	1
10	2.5	litros	4	4	16	2

Fuente: Propia

10.2 PRUEBAS MAQUINA DE COMPRESIÓN

Para la prueba de compresión con la máquina universal se dispusieron 10 de los 13 casetones descritos en el apartado 7.2.3 debido a que por motivos de poca área de apoyo en la máquina de compresión algunas botellas de los casetones no quedaban bien, por lo que se tuvo que modificar las dimensiones en algunos casetones como se muestra en la Ilustración 62.



Ilustración 62. Casetón 2 x 2 envases de Coca cola 2.5 L
Fuente: Propia



Ilustración 63. Casetón 4 X 4 envases de Postobón de 2 L
Fuente: Propia

En la Tabla 10 se describen cada uno de los casetones utilizados en la máquina 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 10. Descripción de los casetones utilizados en la máquina de compresión

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

Fuente: Propia

11 ETAPA 4 (CAPITULO DE DESARROLLO, 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)

11.1 COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DEL PET, POLIESTIRENO EXPANDIDO Y GUADUA

En la Tabla 11 se realiza el comparativo de algunas propiedades de los materiales usados convencionalmente para la fabricación de casetones, respecto al material PET que se pretende implementar en esta investigación, con el fin de realizar una evaluación comparativa de los materiales. Teniendo en cuenta lo establecido en la Asociación Nacional de poliestireno Expandido (ANAPE) para las propiedades del icopor [37] , para el PET la empresa de Elastómeros y plásticos (Elaplas) cuenta con la ficha técnica de dicho material [38] y para la guadua se recurrió a varios documentos referentes en el material.

Las pruebas que se consignan en la Tabla 11 se refieren a materiales como el PET al cual se hace referencia a los gránulos de Tereftalato de polietileno sin (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 11. Características del PET, ICOPOR Y GUADUA.

PROPIEDAD	PET	ICOPOR DE BAJA DENSIDAD				ICOPOR DE ALTA DENSIDAD			GUADUA A 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	3.7×10^6	-	<1.5	1.6-5.2	3.4-7	5.9-7.2	7.7-9.6	9-10.8	1.913×10^6	[KPa]
Resistencia a la rotura	90	0.025	0.035	0.050	0.075	0.1	0.135	0.184	6.9	[MPa]

PROYECTO DISEÑO DE CASETONES Y MUROS NO ESTRUCTURALES CON BOTELLAS PET PARA CONTRUCCION EN OBRAS CIVILES.

Elongación a la rotura	20	100-650	10-1200	24	%
Temperatura de fusión	255	100	100		(°C)

Fuente: Materiales en Instalaciones de tratamiento y conducción de Agua [39], ANAPE [37], elaplas [38]

11.2 COMPARATIVO DE LOS CASETONES CONVENCIONALES FRENTE A LOS DE PET

En la Tabla 12 se muestra el análisis de precios unitarios para los módulos de muros no estructurales, el cual se realizó para un (1) metro cuadrado con un espesor de 0.12 m.

Tabla 12. APU de módulos de muros no estructurales.

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
DESCRIPCION:					
I. EQUIPO					
DESCRIPCION	UND	Precio Unitario	rendimiento	Valor Unitario	
HERRAMIENTA Y EQUIPO MENOR (% M.O.)	%	\$ 15,000	0.03	\$ 450	
			SUB-TOTAL	\$ 450	
II. MATERIALES EN OBRA					
DESCRIPCION	UND	Precio Unitario	Cantidad	Valor Unitario	
MALLA GALLINERO 1/4 PULGADA 1,5X30 METROS	m	\$ 2,500	3.50	\$ 8,750	
ENVASES PET	Kg	\$ 400	12.00	\$ 4,800	
CINTA DE ENMASCARAR	m	\$ 66	12.00	\$ 792	
ALAMBRE NEGRO	Kg	\$ 3,000	0.50	\$ 1,500	
PLASTICO POLIETILENO CALIBRE 6	m2	\$ 3,500	3.00	\$ 10,500	
			SUB-TOTAL	\$ 26,342	
III. TRANSPORTE					
DESCRIPCION	Vol. Peso o Cant.	Distancia	M3-Km	Tarifa	Valor Unitario
TRANSPORTE DE MATERIAL	-	2	1.00	\$ 2,000	\$ 2,000
			SUB-TOTAL	\$ 2,000	
IV. MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	UND	Precio Unitario	Cantidad	Valor Unitario	
CUADRILLA M.O. (2 AYUDANTES)	HORA	\$ 3,750	3.5	\$ 13,125	
			SUB-TOTAL	\$ 13,125	






PROYECTO DISEÑO DE CASETONES Y MUROS NO ESTRUCTURALES CON BOTELLAS PET PARA CONTRUCCION EN OBRAS CIVILES.

SUB TOTAL COSTO DIRECTO	\$ 41,917
PRECIO UNITARIO	\$ 41,917

Fuente: Propia

En la Tabla 13 se comparan diferentes tipos de casetones utilizados como aligeramientos para placas de entrepiso de la cual se comparan factores como el costo por unidad cúbica, el peso, la vida útil, el costo por uso y la variación del precio del casetón con envases PET respecto a los demás. El peso es otro factor importante, ya que esto ayuda a que los casetones sean fáciles de manipular y se necesiten menos cantidad de personal, además se muestra la variación de peso entre 3 tipos de casetones los de icopor con un peso de 5 kg, los de PVC cuentan con un peso de 8.75 kg y los de envases PET un peso de 1.55 kg.

Tabla 13. Comparativo de factores de los casetones

MATERIAL	CASETON DE ICOPOR	CASETON DE GUADUA	CASETON EN LONA	CASETON EN PVC	PROTOTIPO CASETÓN PET
FIGURA					
COSTO POR M ³	Perdido: \$ 99.000 COP Recuperable: \$ 183.000COP	\$ 48.500 COP	\$ 78.569 COP	\$ 927.098 COP	\$41.917 COP
PESO	5 kg	35 Kg	12.4 kg	8.75 kg	1.55 kg
VIDA ÚTIL	Perdido: 1 vez máximo Recuperable: 13 veces máximo	No se recupera	Perdido: 1 vez máximo Recuperable: 3 veces máximo	Recuperable : Más de 40 veces con un buen manejo.	Recuperabl e: Más de 3 veces con un buen manejo.
COSTO POR USO RECUPERABLE	\$ 14.000 COP	\$ 48.500 COP	\$ 26.189 COP	\$ 23.177 COP	\$ 13.972 COP
SOBRE COSTOS RESPECTO AL CASETÓN EN PET	0.2%	247.1%	87.4%	65.8%	0%

Fuente: Formaletas aligeradas para losas de entrepisos (casetones) con un sistema de montaje plegable y modular. [12]

Los casetones de icopor y de PVC son los más costosos por metro cuadrado con un costo de \$183.000 COP el primero y de \$927.098 COP para el segundo, pero los cuales cuentan con una condición favorable al permitir más de 13 usos. Los otros casetones cuentan con precios más económicos debido a sus materiales de fabricación como madera, guadua, envases PET y lona. Permitiendo establecer un comparativo en porcentaje del sobre costos por uso de cada casetón respecto al casetón en envase PET dando un 0.2% para el casetón en icopor, un 247.1% el casetón en guadua, un 87.4% en el casetón en lona, 65.8% al de PVC lo que muestra que el casetón en envases PET es más económico que el de icopor y mucho más económico con los demás.

11.3 ESTIMADO DE ENVASES PET UTILIZADOS COMO CASETONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN EDIFICIO TIPO Y ANALISIS DE PRECIO.

Para evidenciar el número de envases utilizados como casetones se realizó el ejercicio de calcular los metros cúbicos utilizados en la construcción de una estructura de 4 pisos tipo como se muestra en la Ilustración 64.

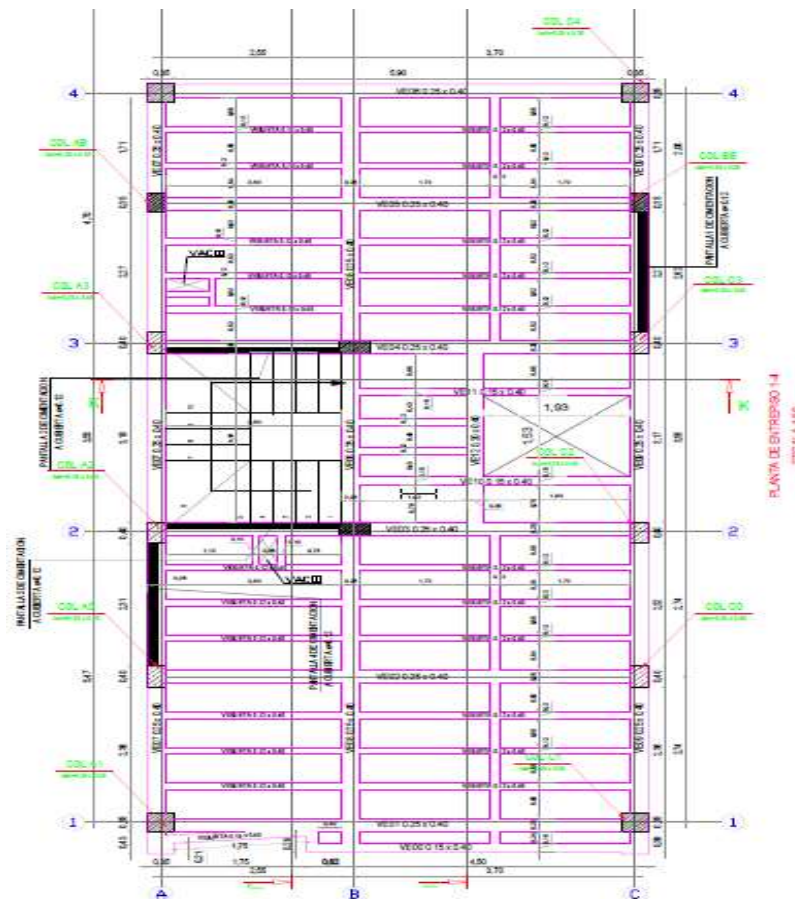


Ilustración 64. Plano en planta del piso 1 al 4.
Fuente: Propia

En la Tabla 14 se muestra el cálculo de las cantidades de casetones utilizados por piso con un total de 18.63 m³, cuenta con 4 pisos para un total de 74.54 m³ de casetón, teniendo en cuenta un 5 % de desperdicios se obtuvo un total de 78.26 m³ de casetones necesarios para realizar todos los entrepisos.

Tabla 14. Estimación de los metros cúbicos necesarios para una estructura de 4 pisos tipo.

CASETÓN	BASE	ANCHO	PROFUNDIDAD	CANTIDAD	VOLUMEN (M3)
1	2.3	0.55	0.35	2	0.89
2	2.3	0.54	0.35	1	0.43
3	2.3	0.52	0.35	3	1.26
4	1.65	0.52	0.35	1	0.30
5	1.12	0.55	0.35	1	0.22
6	0.73	0.55	0.35	1	0.14
7	2.3	0.55	0.35	7	3.10
8	1.72	0.55	0.35	4	1.32
9	1.72	0.54	0.35	2	0.65
10	1.72	0.52	0.35	8	2.50
11	1.42	0.66	0.35	1	0.33
12	1.42	0.43	0.35	3	0.64
13	1.42	0.7	0.35	1	0.35
14	1.93	0.66	0.35	1	0.45
15	1.93	0.7	0.35	1	0.47
16	1.72	0.55	0.35	12	3.97
17	1.72	0.54	0.35	2	0.65
18	1.72	0.54	0.35	2	0.65
19	1.72	0.24	0.35	2	0.29
20	0.3	0.24	0.35	1	0.03
Total por piso (m3)					18.63
Número de pisos	4				74.54
Desperdicio	5%				3.73
TOTAL (m3)					78.26

Fuente: Propia

Una vez calculado los metros cúbicos necesarios para todos los pisos de la estructura se estimaron los costos para cada casetón establecidos en la Tabla 13 para un total de 78.26 m³ proporcionando variación en los precios totales para cada tipo de casetón como se muestra en la Tabla 15.

Tabla 15. Comparativo de precios de los casetones para una estructura con pisos tipo
Fuente: propia

	COSTO TOTAL DEL CASETON	COSTO TOTAL PARA TODOS LOS PISOS	DINERO AHORRADO (%)	DINERO AHORRADO (\$)
PRECIO CASETON EN ICOPOR	\$ 183,000	\$ 14,322,065	77%	\$ 11,041,530
PRECIO CASETON EN GUADUA	\$ 48,500	\$ 3,795,739	14%	\$ 515,203
PRECIO CASETON EN LONA	\$ 78,569	\$ 6,149,018	47%	\$ 2,868,483
PRECIO CASETON EN PVC	\$ 927,098	\$ 72,557,149	95%	\$ 69,276,613
PRECIA CASETON CON ENVASES PET	\$ 41,917	\$ 3,280,536	\$ -	

En la Tabla 15 se observa que los casetones con envase PET generan un ahorro de \$11.041.530 frente al casetón de icopor con un costo de total de \$14.322.065 por todos los 4 pisos. Los casetones más costosos son los de PVC con un precio de \$72.557.149 para todos los pisos, respecto al casetón con envases PET se ahorran \$69.276.613. El casetón en guadua genera un precio de \$3.795.739 y el de lona un costo de \$6.149.018 los cuales son mucho más económicos que los anteriores, pero cuentan con problemas en los acabados. El casetón con envases PET tendría un costo para todo el edificio de \$3.280,536 reduciendo considerablemente los costos, lo que muestra que nuestros casetones son económicamente competitivos frente a los demás casetones.

11.4 COMPARATIVO DE LOS MUROS CONVENCIONALES FRENTE A LOS DE ENVASES PET.

Un factor importante es el costo debido a que si el producto es muy costoso no se vende exitosamente, para este caso el metro cuadrado de DURAPANEL está a \$153.600, el de bloque se encuentra a \$ 148.400, el de DRYWALL A \$111.700, además frente a un incendio estos muros generarían gases tóxicos y sería de fácil propagación. Los muros con envases PET sale el metro cuadrado a \$96.805 de acuerdo con el APU establecido en la Tabla 16 generando competencia económica y ambientalmente frente a los demás sistemas de fabricación de muros.

PROYECTO DISEÑO DE CASETONES Y MUROS NO ESTRUCTURALES CON BOTELLAS PET PARA CONTRUCCION EN OBRAS CIVILES.

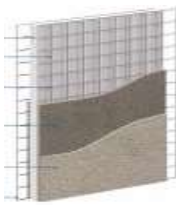



Tabla 16. Análisis de precio unitario para muros con envases PET.

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
DESCRIPCION:		módulo de muro no estructural			
I. EQUIPO					
DESCRIPCION	UND	Precio Unitario	rendimiento	Valor Unitario	
HERRAMIENTA Y EQUIPO MENOR (% M.O.)	%	\$ 15,000	\$ 0.03	\$ 450	
			SUB-TOTAL	\$ 450	
II. MATERIALES EN OBRA					
DESCRIPCION	UND	Precio Unitario	Cantidad	Valor Unitario	
MALLA VENA 0.60 X 2MT CAL. 34	m2	\$ 6,900	2	\$ 13,800	
ENVASES PET	KG	\$ 600	12	\$ 7,200	
HIERRO 4200 KG/CM2 CORRU/RECTO 3/8	KG	\$ 2,266	1	\$ 2,665	
ALAMBRE NEGRO	KG	\$ 5,000	1	\$ 2,500	
PAÑETE E=0.025 M	M2	\$ 20,806	2	\$ 41,612	
CEMENTO GRIS	KG	\$ 528	28	\$ 14,548	
AGUA	L	\$ 2	13	\$ 25	
ARENA GRIS	M3	\$ 55	0	\$ 5	
			SUB-TOTAL	\$ 82,355	
III. TRANSPORTE					
DESCRIPCION	Vol. Cant.	Distancia	M3-Km	Tarifa	Valor Unitario
TRANSPORTE DE MATERIAL	-	2	5.00	\$ 2,000	\$ 10,000
				SUB-TOTAL	\$ 10,000
IV. MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	UND	Precio Unitario	Cantidad	Valor Unitario	
CUADRILLA M.O. (2 AYUDANTES)	HORA	\$ 4,000	1.00	\$ 4,000	
			SUB-TOTAL	\$ 4,000	
PRECIO UNITARIO				\$ 96,805	

Fuente: Propia

En la Tabla 17 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 17. Comparativo de factores para muros divisorios

MATERIAL	DURAPANEL	BLOQUE	DRY WALL	ENVASES PET
FIGURA				
COSTO POR M ²	\$ 153.600 COP	\$148.400 COP	111.700 COP	\$96.805 COP
PESO POR 1 M ²	116 Kg	256 Kg	25 Kg	110 Kg
RECUPERABLE	No	No	Si	No
SOBRE COSTOS RESPECTO AL MURO EN PET	58.66%	53.29%	15.38%	0%

FUENTE: AConstructoras [40], Durapanel [41]

11.5 ESTIMADO DE ENVASES PET UTILIZADO COMO MUROS EN LA CONSTRUCCIÓN DE UNA VIVIENDA DE 1 PISO.

En la Tabla 18 se especifica las dimensiones de los envases utilizados para los módulos de los muros no estructurales

Tabla 18. Dimensiones envase de 3 Litros

Envase de 3L	Diámetro botella (m)	0.12	Área (m ²)
	Altura botella (m)	0.37	0.0444

Fuente: Propia

FACHADA PRINCIPAL



Ilustración 65. Facha bodega de un piso
Fuente: Propia

VISTA LATERAL 1

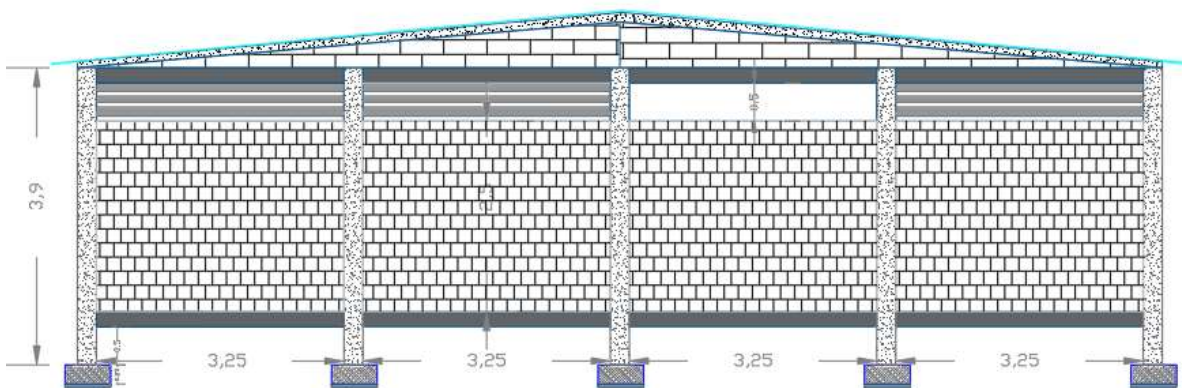


Ilustración 66. Vista lateral 1 bodega de un piso
Fuente: Propia

VISTA LATERAL 2

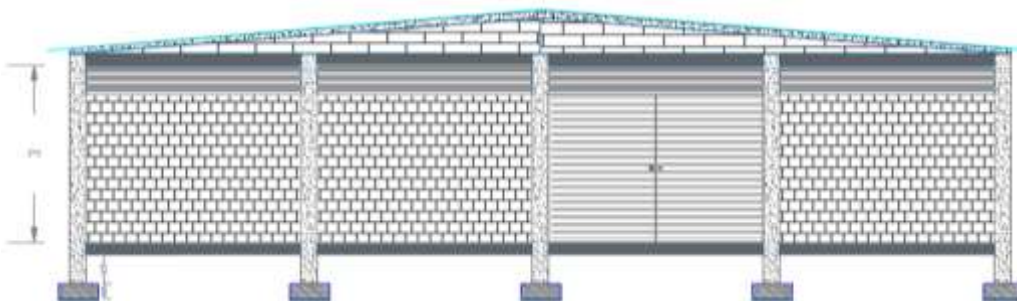


Ilustración 67. Vista lateral 2 bodega de un piso
Fuente: Propia

Se realizó la estimación de envases PET que podrían utilizarse para la construcción de los muros de la bodega de una planta del proyecto el VISO. Dando un total de 1902 envases, sin contar los materiales como la malla electrosoldada, en vena, mortero, etc.

Tabla 19. Cantidad de envases PET para la construcción de una bodega

ELEMENTOS	ESPESOR (M)	ALTURA (M)	LONGITUD (M)	ÁREA (M2)
vista lateral 1	0.12	2.5	3.25	8.125
	0.12	2.5	3.25	8.125
	0.12	2.5	3.25	8.125
	0.12	2.5	3.25	8.125
vista lateral 2	0.12	2.5	3.25	8.125
	0.12	2.5	3.25	8.125
	0.12	2.5	3.25	8.125
vista trasera	0.12	2.5	3.25	8.125
	0.12	2.5	3.25	8.125
frente	0.12	2.5	0.23	0.575
	0.12	0.25	1.06	0.265
	0.12	2.5	0.19	0.475
	0.12	0.45	1.57	0.7065
	0.12	0.76	1.57	1.1932
muros internos	0.12	2.5	3.25	8.125
Área total de muros (m2)				84.4647
cantidad de botella para un piso (und)				1902

Fuente: Propia

12 ANÁLISIS DE RESULTADOS

12.1 CASETONES

12.1.1 Pruebas preliminares en el laboratorio, ensayo de carga parcial estática

Tabla 20. Materiales para pruebas de carga (kg)

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

Fuente: Propia

12.1.1.1 Prueba #1

Tabla 21. Prueba de peso casetón 11

MATERIAL DE CARGA	PESO (KG)	CANTIDAD (UND)	PESO TOTAL(KG)	
BLOQUE LADRILLO	4.5	8	36	
BULTO DE CEMENTO	50	2	100	
PERSONA 1	71	1	71	
PESO AL QUE FUE SOMETIDO EN TOTAL			207	

Fuente: Propia

Este prototipo tuvo una resistencia de 207 kg, debido a que se colocaron las cargas de manera uniformes, además este prototipo contaba con malla hexagonal de alambre, alambre negro, el cual fija los envases en modo de cruz permitiendo que el casetón conserve su forma, además cuenta con envases de 3 litros con dimensiones de 37cm de altura por 12cm de diámetro, con una configuración favorable especificadas en las Tabla 9; Cumpliendo con la expectativa de no deformarse después de los 100 kg.

12.1.1.2 Prueba #2

Tabla 22. Prueba de peso casetón 5

MATERIAL DE CARGA	PESO (KG)	CANTIDAD (UND)	PESO TOTAL(KG)
BLOQUE LADRILLO	4.5	8	36
BULTO DE CEMENTO	50	2	100
PERSONA 2	99	1	99
PESO AL QUE FUE SOMETIDO EN TOTAL			235



Fuente: Propia

Este prototipo soportó un peso de 235 kg sin presentar ninguna deformación en los envases utilizados en el casetón, los cuales eran de 2.5 Litros estableciendo la configuración especificada en la Tabla 9 generando estabilidad en el casetón.

12.1.1.3 Prueba #3

Tabla 23. Prueba de peso casetón 12

MATERIA L DE CARGA	PES O (KG)	CANTIDA D (UND)	PESO TOTAL(KG)
BLOQUE LADRILLO	4.5	8	36
BULTO DE CEMENTO	50	2	100
PERSONA 2	99	1	99
LAMINA DE HIERRO	19.90	1	19.20
PESO AL QUE FUE SOMETIDO EN TOTAL			254.2



Fuente: Propia

Este prototipo fue el ensayo al que se aplicó la máxima carga de 254.2 kg, presentando una mínima deformación en los envases exteriores posteriormente después de retirarle la carga los envases volvieron a su estado inicial sin que presentaran daños permanentes. Este casetón cuenta con la configuración 2 establecida en la Tabla 9.

Este casetón presentó un problema en una de las tapas debido a que las filas no generaban un apoyo uniforme para distribuir las cargas, además se presentó deformaciones e inestabilidad en el casetón a la hora de hacer los ensayos, así que se apoyó en una lámina de hierro para los ensayos de carga.



Ilustración 68. Casetón 12 daño generado por la carga
Fuente: Propia

12.1.1.4 Prueba #4

Tabla 24. Prueba de peso casetón 13

MATERIAL DE CARGA	PESO (KG)	CANTIDAD (UND)	PESO TOTAL(KG)
BLOQUE LADRILLO	4.5	8	36
BULTO DE CEMENTO	50	2	100
LAMINA DE HIERRO	19.20	1	19.20
PESO AL QUE FUE SOMETIDO EN TOTAL			155.2

Fuente: Propia

Este casetón fue el menos resistente, el cual contaba con la configuración número 1 establecida en la Tabla 9, poseía un área limitada y los envases era muy pequeños, adicional a esto otro factor que afectó el prototipo fue unas de sus tapas debido a que no estaba ajustada dejando escapar el aire que daba rigidez a la botella, haciendo que no soportara la carga fallando en una de las esquinas del casetón teniendo una deformación de manera permanente de su estado natural.



Ilustración 69. Casetón 12 daño generado por la carga
Fuente: Propia

12.1.1.5 Prueba #5

Tabla 25. Prueba de peso casetón 10

MATERIAL DE CARGA	PESO (KG)	CANTIDAD (UND)	PESO TOTAL(KG)
BULTO DE CEMENTO	50	2	100
PERSONA 2	99	1	99
LAMINA DE HIERRO	19.20	1	19.20
PESO AL QUE FUE SOMETIDO EN TOTAL			218.2


Fuente: Propia

Este casetón llego a 218.2 kg, aunque presento una falla por pandeo, haciendo que las botellas se separaran, esto debido al recubrimiento de vinitel y al poco alambre negro utilizado para asegurar los envases, además la falta de malla hexagonal de alambre la cual permite que el casetón no perdiese su forma cuadrada; debido a esto no se recomienda este casetón a causa de posibles deformaciones en las vigas y viguetas.

12.1.1.6 Prueba #6

Tabla 26. Prueba de peso casetón completo (1,2,3,4)

MATERIAL DE CARGA	PESO (KG)	CANTIDAD (UND)	PESO TOTAL(KG)
BLOQUE LADRILLO	4.5	8	36
BULTO DE CEMENTO	50	2	100
PERSONA 2	99	1	99
LAMINA DE HIERRO	19.20	1	19.20
PESO AL QUE FUE SOMETIDO EN TOTAL			254.20



Fuente: Propia

Este casetón soportó 254.20 kg sin presentar deformaciones, contaba con la configuración 2 establecida en la Tabla 9, para este casetón se utilizaron módulos de 4 envases los cuales se pusieron como se muestra en la Ilustración 70 teniendo en cuenta la configuración establecida. Se utilizaron envases de 2.5 litros amarrados al contorno con alambre en la parte superior e inferior de los envases, además cuenta con malla de alambre hexagonal permitiendo mayor resistencia y mejor soporte lateral.

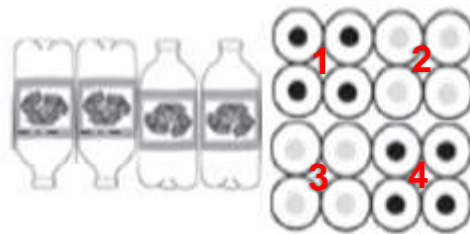
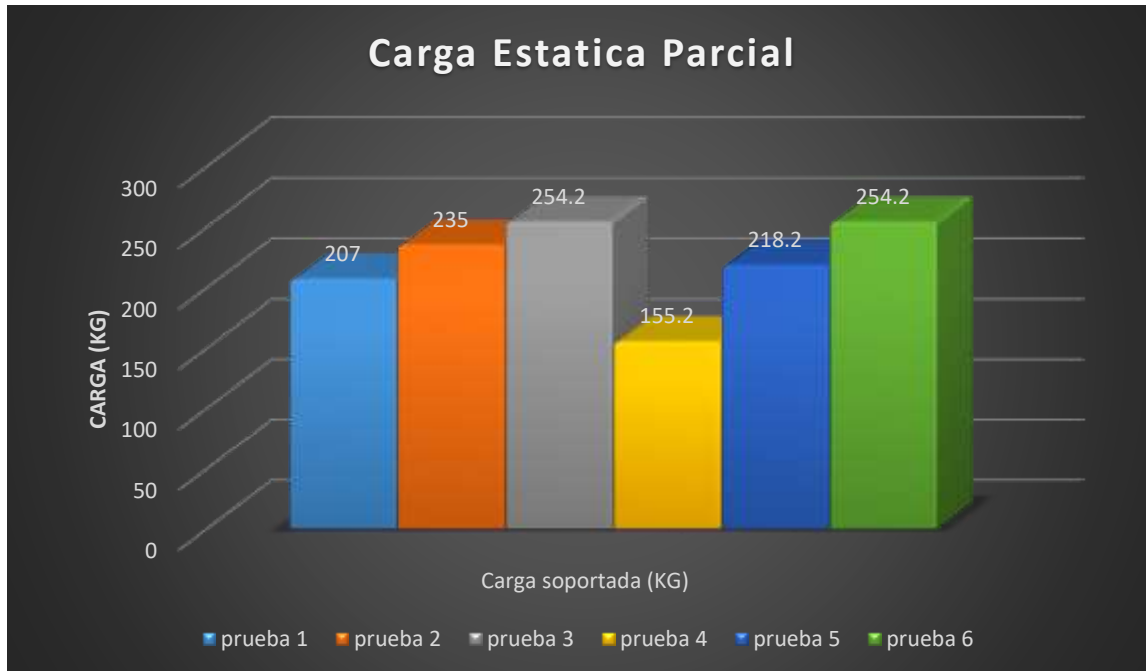


Ilustración 70. Casetón 12 daño generado por la carga

Fuente: Propia

12.1.2 Comparación de resultados pruebas preliminares



Gráfica 2. Pruebas de carga parcial Estática
Fuente: Propia

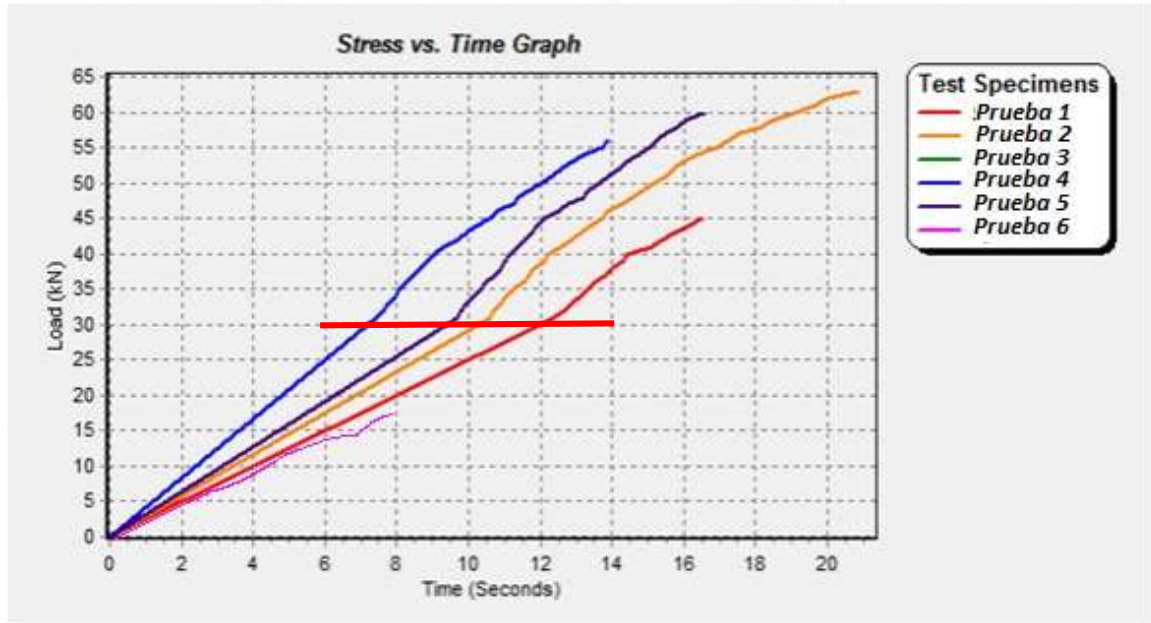
Como se puede evidenciar dentro de la Gráfica 2, la prueba 3 y 6 comprenden una mayor carga posible con la diferencia de su configuración. De esta manera, se observa que existe una correlación entre la botella junto con su área de forma directamente proporcional, cumpliendo con una mejor resistencia, como también entre más botellas, el área del prototipo se verá menos afectada, indicando que cumple con el objetivo planteado. En relación con la prueba 4, (el cual era nuestro casetón más pequeño) se obtuvo un valor más reducido que los anteriores, debido a que, en la esquina del prototipo se encontraba una botella con una ligera malformación en la tapa de la misma, ocasionando que se fragmentara y se escapara la presión contenida dentro del envase, acarreando que se doblara y que el peso se no cumpla con su correcta distribución, originando un colapso, pero aun así soportó más de 100 kilogramos que es nuestra punto base.

12.1.3 Prueba de carga con máquina de compresión

12.1.3.1 Ensayo de casetones 1,2,3,4,5,6

En la Gráfica 3 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 promedia 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

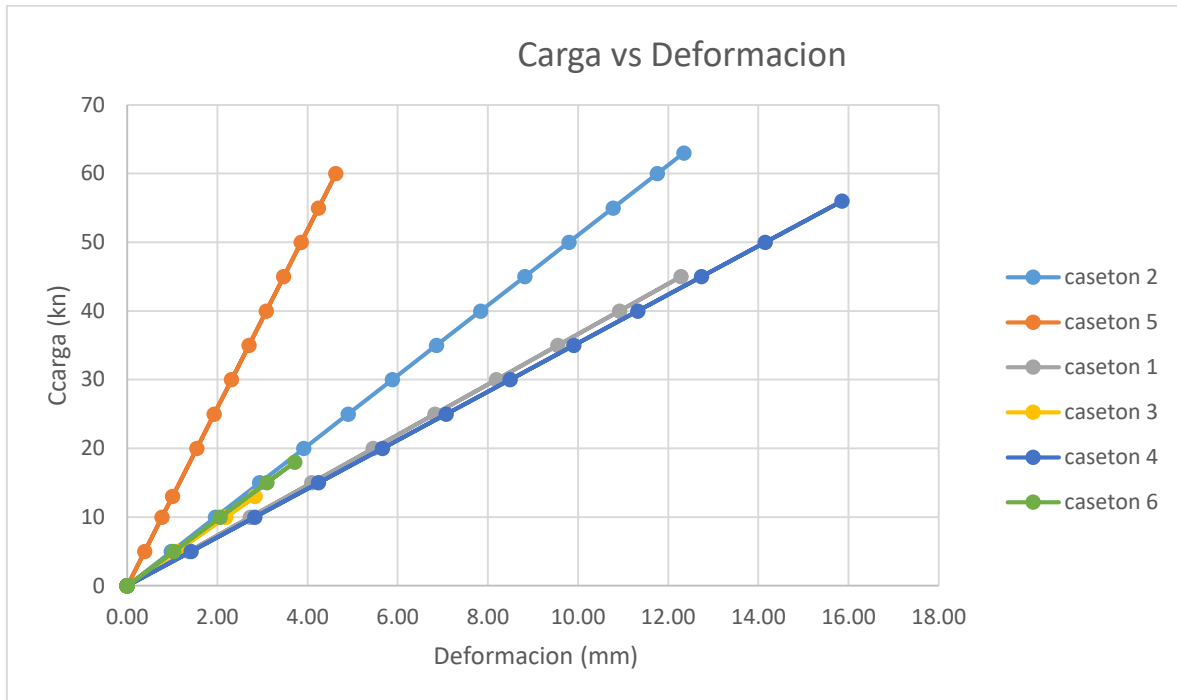
la máquina universal se permitió una deformación permanente (estado plástico) en los casetones y en la prueba de carga estática los casetones presentaron deformaciones elásticas, es decir, no presentaron deformaciones permanentes, debido a que no se contaba con más elementos para cargar los casetones.



	<u>Prueba 1</u>	<u>Prueba 2</u>	<u>Prueba 3</u>	<u>Prueba 4</u>	<u>Prueba 5</u>	<u>Prueba 6</u>
Max. Load (kN):	45,00	63,00	13,00	56,00	60,00	5,00

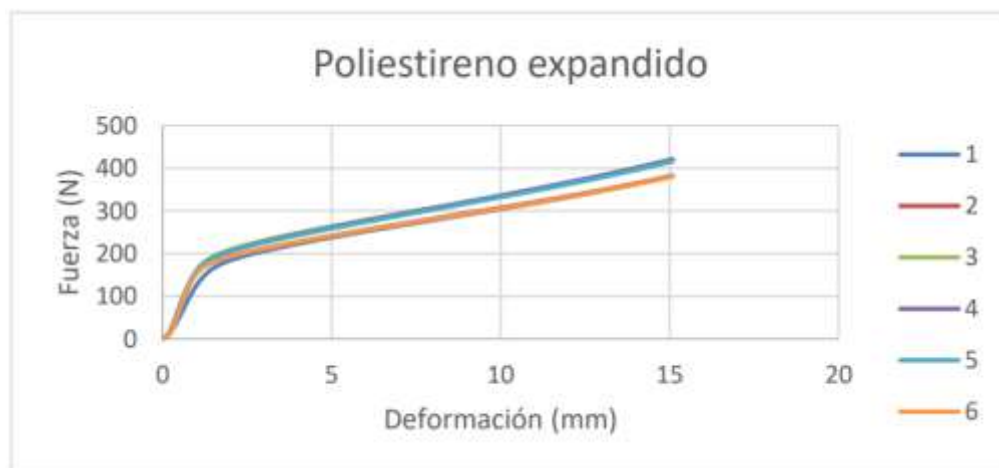
Gráfica 3. Pruebas de carga compresión por medio de máquina universal prueba (1,2,3,4,5,6)
Fuente: Propia

En la Gráfica 4 el comportamiento es lineal hasta su carga máxima aplicada, debido a que se están ensayando envases los cuales su núcleo no es sólido 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.



Gráfica 4. 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 Gráfica 5 [42].



Gráfica 5. Representación gráfica de los ensayos de resistencia a compresión
Fuente: informe de ensayo poliestireno expandido tratado [42].

Realizando un comparativo entre los resultados de la Gráfica 4 y la Gráfica 5 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 [25] tomado como referencia un solo envase de PET puede llegar a soportar cargas entre 63,59 hasta 661,39 Newton dependiendo de su volumen como se muestra en la Tabla 27.

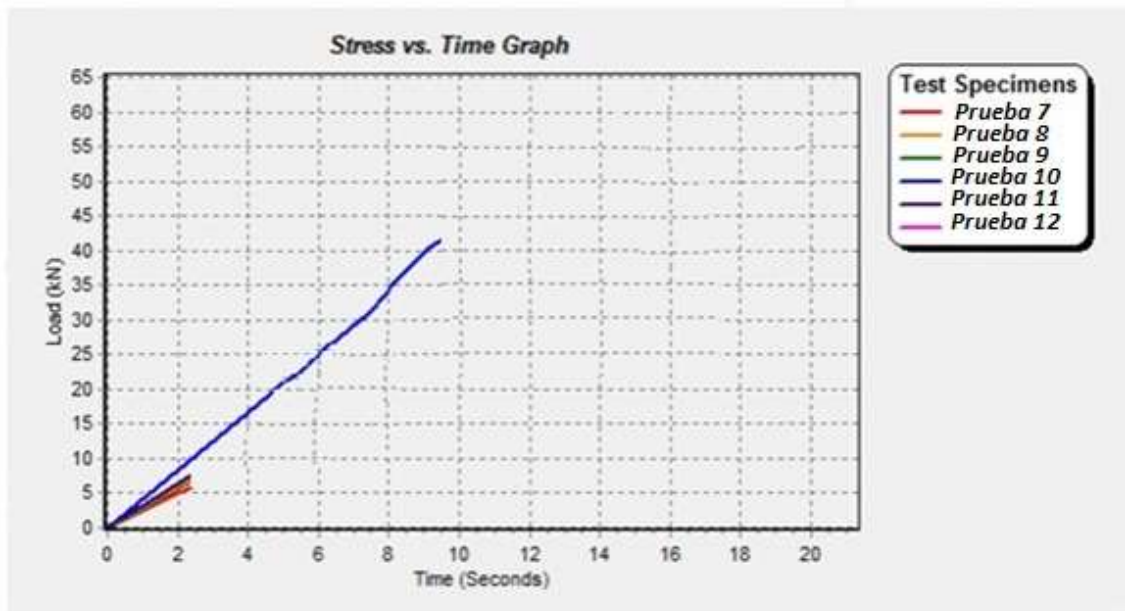
Envase	Volumen (L)	Carga máxima (N)	Carga máxima (KN)	Carga máxima (KG)
agua	1.5	144.5	0.145	14.735
agua	1.5	80.25	0.080	8.183
agua	1.5	106.14	0.106	10.823
agua	1.5	62.59	0.063	6.382
Bebida carbonatada	1.5	137.54	0.138	14.025
Bebida carbonatada	1.75	438.61	0.439	44.726
Bebida carbonatada	2	186.49	0.186	19.017
Bebida carbonatada	2	182.96	0.183	18.657
Bebida carbonatada	2	149.01	0.149	15.195
Bebida carbonatada	2	75.73	0.076	7.722
Bebida carbonatada	2	189.33	0.189	19.306
Bebida carbonatada	2	191.69	0.192	19.547
Bebida carbonatada	2	157.45	0.157	16.055
Bebida carbonatada	2	183.74	0.184	18.736
Bebida carbonatada	2	148.82	0.149	15.175
Bebida carbonatada	2	173.15	0.173	17.656
Bebida carbonatada	2	184.82	0.185	18.846
Bebida carbonatada	2	244.07	0.244	24.888
Bebida carbonatada	2.5	194.04	0.194	19.787
Bebida carbonatada	2.5	235.44	0.235	24.008
Bebida carbonatada	2.5	661.39	0.661	67.443
Bebida carbonatada	2.5	177.36	0.177	18.086
Bebida carbonatada	2.5	172.56	0.173	17.596
Bebida carbonatada	2.5	184.04	0.184	18.767
Bebida carbonatada	3	508.65	0.509	51.868
Bebida carbonatada	3	198.95	0.199	20.287
Bebida carbonatada	3	171.48	0.171	17.486
Bebida carbonatada	3	183.25	0.183	18.686

Tabla 27. Resultados de los ensayos de compresión realizados a envases individuales de PET
Fuente: artículo Comportamiento mecánico del Polietileno Tereftalato (PET) y sus aplicaciones geotécnicas [25]

No obstante, el comportamiento de los casetones es directamente proporcional a su área, es decir, a mayor área o mayor dimensión del casetón mayor será su capacidad de soportar cargas. Podemos constatar que nuestro prototipo no se deforma irregularmente debido al material utilizado es vacío en su interior y no presenta falla súbita, el poliestireno expandido al iniciar con el ensayo se presenta una resistencia lineal conocida como zona elástica donde vuelve a su estado original y continúa deformándose en la región plástica en el cual el material no vuelve a su estado inicial. Adicional a esto se evidencia una carga en el material PET de 30 KN antes de deformarse permanentemente y en el material de poliestireno expandido de 0.18 KN antes de deformarse con la diferencia que el material vuelve a tener una deformación lineal hasta su punto máximo 0.4 KN.

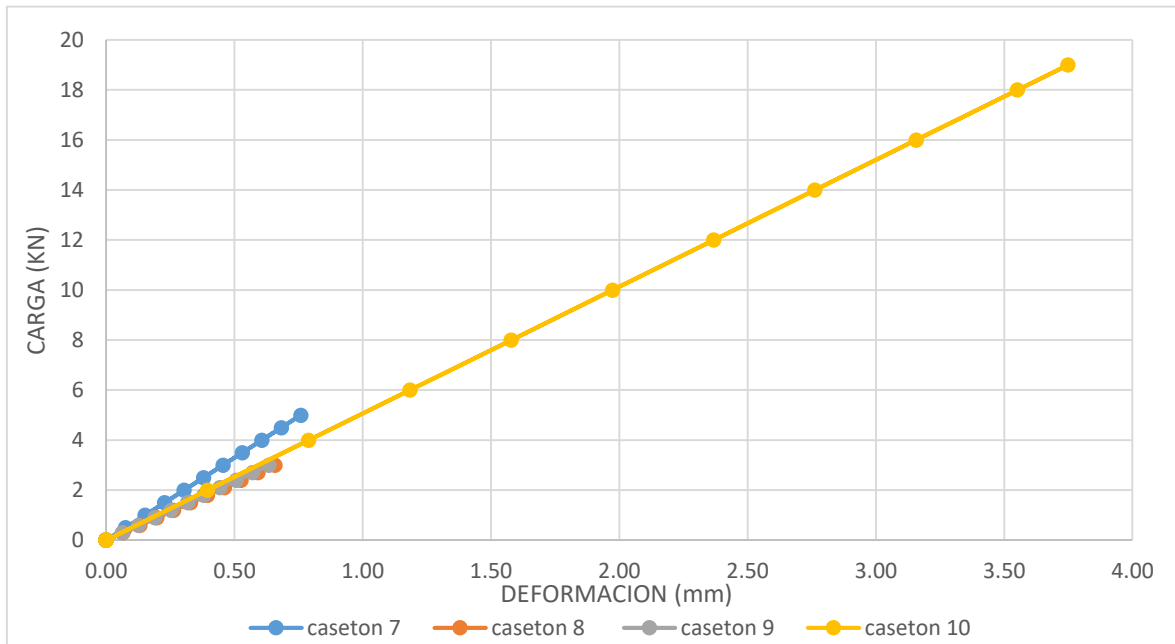
12.1.3.2 Ensayo de casetón 7,8,9,10

Analizando los resultados proporcionados por la máquina de compresión se decidió realizó hacer 4 ensayos más de carga debido a que los prototipos de las pruebas tenían mayores dimensiones, se utilizó una lámina de hierro debido a que no se apoyaba uniformemente a la base de la máquina.



	<u>Prueba 7</u>	<u>Prueba 8</u>	<u>Prueba 9</u>	<u>Prueba 10</u>	<u>Prueba 11</u>	<u>Prueba 12</u>
Max. Load (kN):	5,00	3,00	3,00	19,00	0,00	0,00

Gráfica 6. Pruebas de carga compresión por medio de máquina universal 7,8,9,10.
FUENTE: Propia



Gráfica 7. Pruebas de carga compresión vs deformación prueba (7,8,9,10)

Fuente: Propia

Estas pruebas arrojaron 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.

12.1.4 Esfuerzos de las pruebas a compresión en los prototipos

En la Tabla 28 se muestra la carga y el área superficial de cada casetón probado en la máquina para estimar los esfuerzos generados por cada casetón; como cada área es diferente sus esfuerzos varían, por tal motivo se evidencia que entre mayor área de soporte menor es el esfuerzo, además otro factor importante es el área utilizado para cada casetón y el tipo de amarre utilizado para cada casetón

Tabla 28. Esfuerzos de los prototipos ensayados en el laboratorio

PRUEBAS	CARGA (KN)	ÁREA(m2)	ESFUERZO (Kpa)
1	45	0.0484	929.75
2	63	0.0484	1301.65
3	13	0.0484	268.60
4	56	0.0484	1157.02
5	60	0.1296	462.96
6	5	0.052	96.15

7	5	0.0625	80.00
8	3	0.0625	48.00
9	3	0.0676	44.38
10	19	0.1225	155.10

Fuente: Propia

En la Tabla 29 se estable el esfuerzo a la compresión de 6 muestras de poliestireno expandido el cual da como promedio de resultado de las 6 muestras un valor de 160 KPA según el informe de ensayos de poliestireno expandido tratado [42].

Material	Resistencia a compresión (kPa)						Valor medio
	1	2	3	4	5	6	
Producto Endurpol	4676	10006	8361	4260	8377	6186	6978
Poliestireno expandido	156	153	165	168	169	150	160
Poliestireno extruido	269	273	278	277	279	278	276
Madera de pino	5808	6271	6453	5757	6335	6670	6216

Tabla 29. Resistencia a la compresión del Poliestireno expandido (icopor)

Fuente: Informe de ensayo Poliestireno expandido tratado [42]

Al llegar a este punto, cabe mencionar que la información que se va a contemplar a continuación ha sido tomada como base para el proyecto, la información (con tablas) fue expuesta inicialmente por el instituto mexicano del transporte. Con esto, y considerando que por motivos de la pandemia generada por el Coronavirus (también conocido por su abreviación COVID-19), los recursos cada vez eran más escasos (en cuanto a la materia prima en sí) y el acceso a los laboratorios dentro de las instalaciones de la Universidad. Para la realización de las pruebas correspondientes (de los casetones correspondientes) las cuales nos arrojen una serie de resultados válidos y apropiados que fueran acorde a lo que se está planteando inicialmente. Con esto en mente, y en un sano criterio, decidimos tomar los siguientes apartados de esa investigación como marco de referencia, sin vulnerar o violar los derechos de autor.

Realizando un comparativo de los valores proporcionados por las Tabla 28 y Tabla 29, el esfuerzo generado en los casetones con envases PET es mayor al del icopor, aclarando que para los casetones y el icopor se utilizaron módulos de dimensiones pequeñas. Por lo que se pronostica que para casetones de mayores dimensiones puedan soportar mucha más carga y aumentar su resistencia a la compresión

13 RESULTADOS E IMPACTOS

En el siguiente listado se muestran los resultados esperados con la ejecución del proyecto:

Resultado	Indicador	Objetivo Relacionado
Módulos para los muros no estructurales	Condiciones óptimas del material PET	Objetivo específico 1
	Acabados de muros	Objetivo específico 2
	Costo de adquisición	Objetivo específico 4
Desarrollo del casetón	Costo de adquisición	Objetivo específico 4
	Acabados	Objetivo específico 2
	Estado adecuado de los envases recolectados	Objetivo específico 1
	Realizar ensayos de resistencia a la compresión	Objetivo específico 3
Comparativo de costos de fabricación de los casetones convenciones vs el diseño propuesto	Realizar análisis de precios	Objetivo específico 4

Tabla 30. tabla de resultados

Fuente: Autor

14 IMPACTOS

Aspecto	Impacto	Supuesto	Plazo
Social	Aprovechamiento de envases RPET	Recolecciones de envases PET	Largo.
Social	Aumento de oportunidades laborales	Implementación de personas para la recolección de las botellas y construcción de los muros no estructurales y casetones	largo
Social	Concientización ambiental	Campañas de recolección de botellas en los barrios de Villavicencio.	largo
Económico	Disminución de precios de alquiler de las muros no estructurales y casetones	Como son materiales reutilizados no son de difícil acceso para la fabricación de estas formaletas y de los casetones.	Largo
Económico	Poca inversión	Los materiales necesarios son en la actualidad desechados, de los cuales se realiza una reutilización de su vida útil.	largo
Académico	Implementar nuevos conocimientos	Utilización de materiales no convencionales	corto
Académico	Incentivar la investigación	Búsqueda de nuevos materiales para la ayuda de las construcciones	mediano
Científico	Implementación de nuevos materiales para las construcciones	Utilización de botellas PET desechadas	Largo

Tabla 31. Impacto del proyecto

Fuente: Autor

15 CONCLUSIONES

- Los envases PET recolectados no pueden tener espesores menores a los estipulados en la Tabla 1 (0.05mm) ya que no soportan 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 cubren 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 planteó fue la que mejor se acopló al proyecto, dado que las demás configuraciones dificultan 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 permanezcan 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 resistencias óptimas 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 es 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 Tabla 13 y Tabla 17 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.

16 REFERENCIAS

- [1] Ikoportex , «Ikoportex,» 2011. [En línea]. Available: <http://www.ikoportex.n.nu/>. [Último acceso: 25 09 2020].
- [2] Greenpeace, Universidad de los Andes, MASP, «Situacion actual 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 plastico 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] Textos Cientificos «Poliestireno expnadido,» 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] normativa Astm, «ASTM C39/C39M - 18,» 01 2018. [En línea]. Available: <https://www.astm.org/Standards/C39C39M-SP.htm>.
- [9] Modulo 2 «Contaminacion ambiental causada por los residuos solidos,» [Último acceso: 25 11 2020]. [En línea]. Available: https://www.minam.gob.pe/proyecolegios/Curso/cursovirtual/Modulos/modulo2/2Primaria/m2_primaria_sesion_aprendizaje/Sesion_5_Primaria_Grado_6_RESIDUOS_SOLIDOS_ANEXO4.pdf.
- [10] Empresa de servicio publico de Sabana de torres «Por que el icopor es un material no aprovechable» 12 09 2017. [En línea]. Available: <https://espusato.gov.co/co/inicio/blog/33-porque-el-icopor-es-un-material-no-aprovechable>. [Último acceso: 27 12 2020].
- [11] Ecoologic.com, «Reciclaje de residuos,» [En línea]. Available: <https://www.ecoologic.com/reciclajedepet#:~:text=El%20PET%20es%20un%20pl%20C3%A1stico,%20seguro%20irrompible%20y%20reciclable.&text=Los%20productos%20de%20PET%20pueden,tipo%20de%20envases%20y%20recipientes>. [Último acceso: 2 01 2021].
- [12] J. P. A. C. Laura Marcela Gomez Barrera, «Formaletas aligeradas para losas de entre piso con un sistema de montaje plegable y modular,» 03 15 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].
- [13] C. A. R. Granados, «Plásticos para construcción en Colombia,» [En línea]. Available: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/14537/u441265.pdf?sequence=1> .
- [14] C. H. Q. Peña, «Reciclaje termo - mecánico del poliestireno expandido (Icopor), como una estrategia de mitigación de su impacto ambiental en rellenos sanitarios,» 2013. [En línea]. Available: <https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/762/TESIS%20CARLOS%20QUINTERO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [15] v. y. d. t. ministerio de ambiente, «Norma sismo resistente,» 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].
- [16] construyendo.co, «Tipos de losas,» 02 2015. [En línea]. Available: <https://construyendo.co/losas/tipos.php>.
- [17] Capitulo 2 «Estado del conocimiento,» [En línea]. Available: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6165/06Mcp06de17.pdf?sequence=6&isAllowed=y>. [Último acceso: 22 08 2020].
- [18] Icoformas, «Icoformas,» 2018. [En línea]. Available: <https://icoformas.com.co/producto/icopanel-3d-panel/>. [Último acceso: 1 10 2020].
- [19] Unidad nacional para la gestión del riesgo de desastre , «progrma para la gestión para el manejo integral de residuos,» 06 02 2016. [En línea]. Available: http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Documents/Lineamientos_Int/PRO-1300-SIPG-01_Manejo_Integral_de_Residuos-V5.pdf.
- [20] Mariano, «Tecnologías de los plásticos,» 30 05 2011. [En línea]. Available: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/05/proceso-de-reciclaje-del-pet.html>.
- [21] U. C. D. Colombia, «Viabilidad de la construcción de mobiliario urbano con botellas pet de aceite automotriz rellenas de material de excavación,» 2016. [En línea]. Available: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/13992/4/TG-2016-III%20V.2.pdf>.
- [22] t. s.a, «Máquinas de ensayo,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.topoequipos.com/topoequipos2.0/labs-pin/maquinas-de-ensayo>.
- [23] f. interactiva, «metodos,» 23 julio 2013. [En línea]. Available: <https://amrs17.wordpress.com/2-metodos/cronograma/>.
- [24] coca cola journey, «CocacoladeArgentina,» 2000. [En línea]. Available: <https://www.cocacoladeargentina.com.ar/historias/medio-ambiente-casas-botellas-plastico>.
- [25] 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. 207-219, 2014.
- [26] i. keiren, «Plastic Bottle Homes and Greenhouses,» 28 noviembre 2016. [En línea]. Available: <https://instead.com/blog/plastic-bottle-homes/>.
- [27] M. J. S. Bohigues, «arquitecturayempresa,» 07 02 2017. [En línea]. Available: <https://arquitecturayempresa.es/noticia/ladrillos-pet-avances-en-la-construccion-ecologica>. [Último acceso: 5 01 2021].

- [28] Agencia Informativa conacyt, «Residuos profesionales,» 06 07 2017. [En línea]. Available: <https://www.residuosprofesional.com/fibras-pet-reciclado-construccion/>. [Último acceso: 29 12 2020].
- [29] J. SANCHEZ, «Construccion con botellas de plastico,» 15 01 2019. [En línea]. Available: http://oa.upm.es/54207/1/TFG_Gonzalez_Sanchez_Jonatan.pdf. [Último acceso: 29 12 2020].
- [30] C. d. Colombia, «ley 400,» Bogota, 1997.
- [31] El Congreso de Colombia, «suin juriscol,» 25 09 2019. [En línea]. Available: <http://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Leyes/1689034>.
- [32] IDEAM«Documentacion ideam,» 2002. [En línea]. Available: http://documentacion.ideam.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=8409&shelfbrowse_itemnumber=8901.
- [33] Ibericaenvases, «Ibericaenvases,» IBERICAenvases, 22 08 2018. [En línea]. Available: <http://ibericaenvases.com/desinfectar-envases-plastico/>. [Último acceso: 13 08 2019].
- [34] T. y. Padilla, «Implementación de un sistema de aligeramiento de losas de entrepiso de concreto con botellas pet y cartón,» cartagena, 2017.
- [35] a. m. l. g. a. Alfonso moreno, «Innovación al sistema constructivo de paneles de espuma de poliestireno expnadido, 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].
- [36] Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, «reglamento colombiano 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].
- [37] 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].
- [38] 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].
- [39] 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].
- [40] Aconstructoras.com, «Aconstructoras.com,» [En línea]. Available: <https://www.aconstructoras.com/>. [Último acceso: 21 09 2020].
- [41] Industria concreto, «durapanel,» [En línea]. Available: <http://sociedadcolombianadearquitectos.org/memorias/FNV/Durapanel.pdf>. [Último acceso: 5 11 2020].
- [42] 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].

17 ANEXOS

ANEXO 1 MEMORIA DE CALCULOS

ANEXO 2. VIDEO CONSTRUCCION DE CASETON

ANEXO 3. PLANOS ESTRUCTURALES EDIFICIO ANDRINO

ANEXO 4. RESULTADOS PRUEBAS DE COMPRESION