

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
ALIGERAMIENTO DE LOSAS DE ENTREPISO DE
CONCRETO CON BOTELLAS PET Y CARTÓN**

**LUIS ÁNGEL PADILLA FLOREZ
CARLOS DAVID TRESPALACIOS CABRERA**



**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

Cartagena De Indias D. T. Y C.

2017



**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ALIGERAMIENTO DE LOSAS DE
ENTREPISO DE CONCRETO CON BOTELLAS PET Y CARTÓN**

Por:

**LUIS ANGEL PADILLA FLOREZ
CARLOS DAVID TRESPALACIOS CABRERA**

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Director:

MODESTO BARRIOS FONTALVO

Ingeniero Civil

Grupo de Investigación:

GEOMAVIT

Línea de Investigación:

Materiales de Construcción

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
Cartagena de Indias D. T. Y C.**

Colombia - 2017



AGRADECIMIENTOS

A Dios

Por habernos dado la vida y permitirnos llegar a este punto de nuestra formación profesional.

A nuestros padres

Por habernos apoyado en todo momento y ayudarnos en cada uno de las circunstancias difíciles que se presentaron en este largo y difícil camino; por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que nos permitieron alcanzar nuestras metas, pero más que nada, por su amor.

A nuestros maestros

Al ingeniero Modesto barrios Fontalvo director de esta tesis, por ayudarnos en la elaboración de la misma y facilitarnos los espacios para la realización de los ensayos. Al ingeniero José España Moratto por su asesoría en la elección del tema de la tesis y por siempre mostrarse abierto a ayudarnos en cualquier circunstancia

Gracias a todas las personas que participaron directa e indirectamente en la realización de este proyecto



TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|-----------|
| RESUMEN | 12 |
| INTRODUCCIÓN | 13 |
| 1. MARCO REFERENCIAL | 16 |
| 1.1. ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE | 16 |
| 1.2. MARCO TEORICO | 26 |
| 1.2.1. Losas de entre piso. | 26 |
| 1.2.1.1. Clasificación de las losas de entre piso | 26 |
| 1.2.1.2. Aligeramiento de losas de entre piso | 32 |
| 1.2.2. Cimbras (shores), encofrado y formaletas (formwork) | 42 |
| 1.2.2.1. Economía e importancia de la cimbra | 42 |
| 1.2.2.2. Cargas presentes en las formaletas | 43 |
| 1.2.3. Resistencia a la compresión | 44 |
| 1.2.4. Resistencia a la flexión | 44 |
| 1.2.5. Tereftalato de polietileno | 45 |
| 1.2.5.1. Datos técnicos del PET..... | 45 |
| 1.2.5.2. Identificación de los diferentes tipos de plásticos | 47 |
| 1.2.6. Cartón | 48 |
| 1.2.6.1. Tipos de cartón | 49 |
| 2. OBJETIVOS | 51 |
| 2.1. OBJETIVO GENERAL | 51 |
| 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 51 |
| 3. ALCANCE | 52 |



| | |
|---|-----------|
| 3.1. DELIMITACIÓN ESPACIAL | 52 |
| 3.2. DELIMITACIÓN TEMPORAL | 53 |
| 3.3. DELIMITACIÓN CONCEPTUAL | 53 |
| 3.4. PRODUCTOS COMPLEMENTARIOS..... | 55 |
| 3.5. LIMITACIONES..... | 55 |
| 4. METODOLOGÍA | 56 |
| 4.1. DISEÑO DE CASETONES DE MUESTRA PARA ENSAYOS DE RESISTENCIA..... | 56 |
| 4.2. ELABORACIÓN DE CASETONES DE MUESTRA PARA ENSAYOS DE RESISTENCIA..... | 56 |
| 4.2.1. Materiales..... | 56 |
| 4.2.2. Dimensiones del casetón | 57 |
| 4.3. ENSAYOS AL CASETON..... | 57 |
| 4.3.1. Resistencia a compresión..... | 58 |
| 4.3.2. Resistencia a la flexión | 60 |
| 4.3.3. Densidad del casetón..... | 62 |
| 4.4. COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE RESISTENCIA RESPECTO A LOS CASETONES DE ICOPOR | 62 |
| 4.5. DETERMINACIÓN DE COSTOS DEL CASETÓN | 63 |
| 4.6. COMPARACIÓN DE COSTOS RESPECTO A LOS CASETONES DE ICOPOR | 63 |
| 4.7. FABRICACIÓN LOSA PILOTO DE CONCRETO ARMADO..... | 63 |
| 4.7.1. Materiales..... | 64 |
| 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS | 65 |
| 5.1. DISEÑO DEL CASETON..... | 65 |
| 5.2. PROCESO CONSTRUCTIVO DEL CASETÓN | 66 |
| 5.3. PRUEBAS DE RESISTENCIA | 72 |



| | |
|--|-----------|
| 5.4. COMPARACIÓN DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS ENTRE LOS CASETONES DE PET Y LOS DE ICOPOR | 74 |
| 5.5. COSTOS DE ELABORACION DE CASETON DE PET Y CARTON | 75 |
| 5.6. COMPARACIÓN ECONÓMICA ENTRE LOS CASETONES DE PET Y LOS DE ICOPOR | 76 |
| 5.7. PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA LOSA PILOTO..... | 76 |
| 5.8. CASETON DE LOSA PILOTO | 79 |
| 6. CONCLUSIONES | 80 |
| 7. RECOMENDACIONES Y LIMITACIONES..... | 82 |
| 7.1. LIMITACIONES..... | 82 |
| 7.2. RECOMENDACIONES..... | 82 |
| 8. ANEXOS | 84 |
| 8.1. MUESTRAS ENSAYADAS A COMPRESIÓN LONGITUDINAL | 84 |
| 8.2. MUESTRAS ENSAYADAS A COMPRESIÓN TRANSVERSAL | 88 |
| 9. BIBLIOGRAFÍA | 91 |



INDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Losa en un sentido, trabe y vigueta. | 27 |
| Figura 2. Losa de un sentido apoya en travesos o en muros..... | 28 |
| Figura 3. Losa de un sentido nervada..... | 28 |
| Figura 4. Losa maciza armada en dos direcciones soportada en Columnas. | 29 |
| Figura 5. Losa maciza armada en dos direcciones soportada en columnas con capiteles y ábacos..... | 30 |
| Figura 6. Losa aligerada armada en dos direcciones soportada en columnas (Reticular Celulado)..... | 31 |
| Figura 7. Losa maciza armada en dos direcciones soportadas por vigas en sus cuatro bordes. | 31 |
| Figura 8. Losa aligerada armada en dos direcciones soportada por vigas en su cuatro bordes | 32 |
| Figura 9. Casetón de madera no recuperable para aligeramiento de losa. | 33 |
| Figura 10. Casetón rectangular de madera fabricado en tres segmentos yuxtapuesto. | 34 |
| Figura 11. Sección de casetón rectangular fabricado en uno y en tres segmentos..... | 35 |
| Figura 12. Casetón de Poliestireno de formas diversas..... | 36 |
| Figura 13 Casetón de fibra de vidrio de forma cuadrada. | 40 |
| Figura 14. Casetón de fibra de vidrio para losa de dos direcciones, montado sobre un entablado continuo. | 40 |
| Figura 15. Modelos diversos de casetones de acero. | 41 |



| | |
|---|----|
| Figura 16. Distribución de los costos para losas | 43 |
| Figura 17. Esquema de Fuerza a compresión a la que es sometido el casetón. | 44 |
| Figura 18. Diagrama de carga aplicada a flexión..... | 45 |
| Figura 19. Cartón corrugado de pared sencilla. | 48 |
| Figura 20. Esquema Cartón sencillo (Single Face)..... | 49 |
| Figura 21. Esquema Cantón simple (Single Wall)..... | 50 |
| Figura 22. Esquema Cartón doble (Doube Wall)..... | 50 |
| Figura 23. Ubicación laboratorio de suelos y materiales del Ingeniero Geotecnista Modesto Barrios Fontalvo, Coordenadas 10°24'N,75°31'W | 52 |
| Figura 24. Ubicación de la Universidad de Cartagena campus Piedra de Bolívar, coordenadas 10°24'N,75°30' W | 53 |
| Figura 25. Ensayo de casetón a compresión | 59 |
| Figura 26. Casetón ensayado a compresión | 59 |
| Figura 27. Ensayo de viga a flexión..... | 61 |
| Figura 28. Vigueta ensayada a flexión | 62 |
| Figura 29. Guarderas de madera | 64 |
| Figura 30. Detalle típico del diseño propuesto del casetón PET y CARTÓN | 65 |
| Figura 31. Etapa 1 | 66 |
| Figura 32. Etapa 2 | 66 |
| Figura 33. Etapa 3 (a)..... | 67 |



| | |
|---|----|
| Figura 34. Etapa 3 (b)..... | 67 |
| Figura 35. Etapa 4 | 68 |
| Figura 36. Etapa 5 | 68 |
| Figura 37. Etapa 6(a)..... | 69 |
| Figura 38. Etapa 6 (b)..... | 69 |
| Figura 39. Etapa 7 (a)..... | 70 |
| Figura 40. Etapa 7 (b)..... | 70 |
| Figura 41. Etapa 8 (a)..... | 71 |
| Figura 42. Casetón terminado | 71 |
| Figura 43. Corte típico del sistema constructivo de la losa piloto. | 77 |
| Figura 44. Instalación de la muestra a ensayar. | 77 |
| Figura 45. Confinamiento con guarderas de madera. | 78 |
| Figura 46. Losa en proceso de fraguado. | 78 |
| Figura 47. Cargas representativas aplicadas después de un día de fraguado | 79 |



INDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Clasificación según densidad..... | 38 |
| Tabla 2. Especificaciones técnicas generales del casetón de Poliestireno Expandido..... | 38 |
| Tabla 3. Propiedades mecánicas del PET | 46 |
| Tabla 4. Propiedades Térmicas del PET. | 46 |
| Tabla 5. Propiedades químicas del PET..... | 46 |
| Tabla 6. Sistema de identificación de envases y empaques. | 48 |
| Tabla 7. Resultados de muestras ensayadas a compresión transversal | 72 |
| Tabla 8. Resultados de muestras ensayadas a compresión longitudinal | 72 |
| Tabla 9. Resultados de muestras ensayadas a flexión..... | 73 |
| Tabla 10. Resultados promedios de muestras ensayadas a compresión longitudinal | 73 |
| Tabla 11. Promedio de resultados de muestras ensayadas a compresión transversal | 73 |
| Tabla 12. Resultados promedios de muestras ensayadas a flexión..... | 73 |
| Tabla 13. APU casetones de botellas PET y cartón | 75 |
| Tabla 14. Resultados casetón ensayado con losa piloto..... | 79 |



INDICE DE ECUACIONES

| | |
|---|----|
| Ecuación 1. Resistencia a la compresión | 58 |
| Ecuación 2. Resistencia a la flexión..... | 60 |
| Ecuación 3. Resistencia a la flexión..... | 61 |
| Ecuación 4. Densidad del casetón..... | 62 |



RESUMEN

Este proyecto consistió en la implementación de un sistema alternativo de aligeramiento de losas con botellas PET y cartón, evaluando su factibilidad tanto técnica como económica, mediante ensayos de laboratorio y análisis de precios unitarios, respectivamente. Este consistió en un bloque hecho con botellas PET y cartón, cuyo tamaño puede variar dependiendo de la estructura, el cual tiene el objetivo de aligerar la losa de concreto ocupando los espacios entre vigas, impidiendo que se utilice más concreto del necesario, con esto se obtiene una losa de concreto más delgada y por ende menos pesada. Con este sistema se genera un ahorro significativo de dinero y al mismo tiempo se aporta a la mitigación de la contaminación ambiental.

Para esto se realizaron 18 muestras, a las cuales se les efectuó ensayos de resistencia a compresión y flexión, y se les determinó su densidad, que son las características más importantes de los casetones aligerantes de losas.

Se realizó una comparación técnica y económica con los casetones tradicionales de poliestireno expandido y se elaboró una placa piloto que permitió observar la manejabilidad en obra que presentan estos casetones.

Los resultados obtenidos indican que los casetones de PET y cartón propuestos en este proyecto presentan una resistencia a compresión muy cercana a la de los casetones de icopor, y una densidad muy superior a la de estos. En cuanto al apartado económico los casetones de PET y cartón son hasta un 75% más económicos que los de icopor, convirtiéndose así en un material que puede reducir considerablemente los costos en la construcción de estructuras de concreto.

Con base en estos resultados se concluye que los casetones de botellas PET y cartón son una excelente alternativa en el aligeramiento de losas, pues son viables desde el punto de vista técnico y mucho más aun desde el punto de vista económico.



INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental es uno de los problemas que más aquejan a la población mundial en la actualidad, a medida que la población aumenta también lo hace la cantidad de recursos necesarios para abastecer a la misma y por lo tanto el número de residuos generados. Los desechos sólidos constituyen uno de los tipos de contaminación más comunes, y en las últimas décadas su composición ha variado gracias al crecimiento de industrias de nuevos materiales como los plásticos y el cartón, materiales que son utilizados para múltiples procesos en la vida cotidiana, y que sin una correcta disposición pueden generar graves problemas ambientales y de salud pública.

Los productos no biodegradables que en la mayoría de las veces demoran cientos de años en descomponerse, ocasionan un impacto medioambiental muy alto, y aunque en la actualidad existen muchas formas de reciclaje y muchos procesos desarrollados por empresas orientadas a ello, sigue siendo mínima la cantidad de residuos que se reciclan en comparación a los generados.

Por tal motivo ha surgido una gran necesidad por el reciclaje de estos productos, pues, son materiales que aun después de su uso principal, siguen conservando muchas características que los hacen ideales para su reutilización. Estas actividades les competen a todas las personas, aunque en las mismas, tienen un papel protagónico los profesionales de las distintas áreas, entre ellas la construcción; pues, para estos se ha convertido en casi un compromiso con la sociedad, generar procesos innovadores que contribuyan a la mitigación de la contaminación.

Existen muchas áreas en las cuales se puede dar uso a los residuos plásticos y de cartón, una de ellas es la construcción, pues estos materiales presentan características como su resistencia y bajo peso, que permiten ser utilizados en distintos procesos, y al ser materiales reciclados, generan una reducción significativa de los costos de un proyecto.

El uso de materiales reciclados en la construcción ha sido objeto de múltiples estudios tanto a nivel nacional como internacional, se han utilizado las botellas PET en la construcción de



muros y cimientos para viviendas, en la estabilización de taludes y hasta en la elaboración de plataformas flotantes para casas. A pesar de lo innovadores que han sido estos proyectos, la acogida que se les ha dado ha sido poca, esto se puede deber a que presentan desventajas como un comportamiento sísmico resistente no adecuado o complicaciones en la mano de obra. Sin embargo, en el presente proyecto propuso una alternativa innovadora que no había sido objeto de estudio, con esta se buscó aprovechar los materiales desechados para crear un nuevo sistema amigable con el medio ambiente y que puede ser aprovechado en la industria de la construcción.

La construcción es una de las áreas de mayor auge en la actualidad, pues es uno de los principales indicadores de desarrollo de un país. Una de las premisas fundamentales históricamente de la construcción ha sido, la optimización de costos, debido a esto se dice que la mejor estructura, es aquella que cumpla con todos los requerimientos estructurales, al menor precio posible. Por tal motivo se ha buscado desde siempre generar técnicas que ayuden a la reducción de costos en esta industria.

De esta manera se explica la importancia social y ambiental del presente proyecto, en el que se aprovecharon los desechos contaminantes antes mencionados, en la implementación de un sistema de aligeramiento de losas con casetones de botellas PET y cartón, que puede reemplazar a los sistemas tradicionales. Con este proyecto se busca aportar a la mitigación de la contaminación ambiental y simultáneamente reducir costos en la construcción de estructuras. Por ende, la contaminación y la optimización de costos en la construcción fueron la base de la investigación.

Con este proyecto se evitarían las grandes cantidades de botellas PET y cartón que a diario se depositan en los rellenos sanitarios y que se observan en las calles de las ciudades. Este tuvo en cuenta diferentes aspectos como la resistencia a la compresión, economía y mano de obra de los casetones elaborados, con el objetivo de garantizar la idoneidad del mismo. El producto obtenido, puede perfectamente posicionarse como una firme alternativa para el aligeramiento de losas, compitiendo directamente con las técnicas tradicionales.



**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ALIGERAMIENTO DE LOSAS
DE ENTREPISO DE CONCRETO CON BOTELLAS PET Y CARTÓN**



Al llevar a cabo este proyecto surgió la siguiente pregunta de investigación: ¿Es posible diseñar un sistema efectivo de aligeramiento de losas con botellas PET y cartón, que reemplace los sistemas tradicionales?

Los ensayos necesarios que se le realizaron a los casetones de botellas PET, estuvieron regidos por las normas NTC 2871 y NTC 673 para concreto estructural, haciendo una analogía con los casetones propuestos, estos ensayos se realizaron en la ciudad de Cartagena, en el laboratorio de Suelos y Materiales del Ingeniero Geotecnista Modesto Barrios Fontalvo ubicado en el barrio El Prado, y los ensayos con la placa piloto se realizaron en las instalaciones de la Universidad de Cartagena ubicada en el barrio Piedra de Bolívar.

Por último y según todo lo anterior, la investigación se ubicó dentro del grupo de investigación GEOMAVIT de la Universidad de Cartagena en la línea de investigación de Materiales de construcción, esto se debe al carácter estructural que presentan los casetones diseñados, los cuales serán capaces de resistir cargas muertas aplicadas por el peso del concreto y las cargas vivas presentes al momento de su instalación en obra, con el objetivo de obtener una losa de entrepiso con menos peralte y menos desperdicio de concreto.



1. MARCO REFERENCIAL

1.1. ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE

La problemática de la contaminación ambiental cada vez, afecta más a las personas, es por eso que el reciclaje de materiales contaminantes, tanto los biodegradables como los que no lo son, se ha convertido en una necesidad. Actualmente se reciclan grandes cantidades de estos materiales, pero sigue siendo insuficiente. A pesar de esto existen muchas ideas innovadoras orientadas a este fin.

En la historia reciente se han llevado a cabo investigaciones sobre los beneficios del plástico en la construcción, específicamente las botellas PET. El máximo exponente del reciclaje de botellas PET es el edificio Eco Ark, ubicado en Taipéi, Taiwán, construido en el año 2010 por un grupo de arquitectos de la oficina Miniwiz Sustainable Energy Development Ltd.; la estructura cuenta con 1.5 millones de botellas plásticas, y tiene unas dimensiones de 130 m de largo, 40 m de ancho y 26 m de alto. El sistema usado para la construcción de esta estructura es llamado Polli-Brick, el cual consiste en la fabricación de bloques hexagonales de botellas, inspirados en los panales de abejas, sin necesidad de pegantes. Este sistema resulta muy eficiente y resistente contra los fuertes huracanes que azotan al país. (Pavez V, 2012).

En Latinoamérica se han llevado a cabo estudios e investigaciones aplicando las botellas PET a la construcción, un ejemplo de esto son las diferentes investigaciones sobre construcción de muros de viviendas con botellas PET. Las botellas se pueden triturar para la elaboración de eco-ladrillos, o bien se puede conservar su estado natural para construir paneles.

Con relación a la elaboración de bloques con PET triturado se encuentra la investigación realizada en el año 2003, en el centro experimental de la vivienda económica CEVE, en Córdoba Argentina, en dirección de la arquitecta y magister en diseño arquitectónico y urbano, Rosana Gaggino, titulada “*Elementos constructivos con PET reciclado*”, relativa a la fabricación de elementos constructivos utilizando materiales plásticos reciclados. Esta investigación buscaba reemplazar los áridos tradicionales de un concreto o mortero por partículas de PET reciclado, con el fin de obtener elementos más livianos y abaratar los costos



en la construcción de viviendas de interés social. En la investigación se evaluaron los siguientes aspectos: Costo, peso, conductividad térmica, resistencia mecánica, absorción de agua, comportamiento a la intemperie, actitud para el clavado y aserrado; luego se compararon los resultados con los ladrillos y placas comunes. La investigación concluyó que, los elementos constructivos fabricados utilizando PET reciclado establecen una alternativa viable para la ejecución de muros de construcciones, siendo más ecológicos, más económicos, más livianos y de mejor aislación térmica que la mampostería. (Gaggino, 2003). En la universidad de Mendoza, argentina, en el año 2004, se desarrolló una investigación titulada: *“Muros de botellas descartables de PET para viviendas con conservación de energía y alta inercia térmica interior”*, estuvo liderada por el ingeniero Alfredo Esteves y los arquitectos Daniel Gelardi y Alejandro Oliva, y consistió en el estudio de las características constructivas y térmicas de los sistemas que utilizan botellas PET, como ladrillos, ubicadas en distinta posición para dar lugar a diferentes sistemas. Para cada sistema se estudiaron los aspectos constructivos y térmicos. Las conclusiones indican que estos sistemas cuentan con varias ventajas: poseen una inercia comparable a la mampostería de ladrillo, se reducen los costos de transporte (al transportar la botella vacía y llenarla in situ), bajo costo de adquisición (son botellas descartables) y un impacto positivo al medio ambiente que se traduce en tres aspectos fundamentales: una solución a la eliminación de residuos, ahorro energético en la fabricación de otros ladrillos de PET y no degradación del suelo cuya capa fértil se elimina para destinarla como materia prima de los mismos. (Esteves, Gelardi, & Oliva, 2004).

En el área de la geotecnia también se han llevado a cabo estudios que involucran las botellas PET. Por ejemplo, el efectuado en el año 2011, en el instituto de ensayo de materiales de la universidad de San Andrés, ubicado en la ciudad de La Paz, Bolivia, se llevó a cabo una investigación titulada *“Botellas PET en el hormigón ciclópeo de los cimientos corridos para la construcción de viviendas”*, realizada por: Luis Castro, Fernando Ceruto, Luis Chambi y Freddy Pérez. En este estudio se propone una alternativa tecnológica, para la construcción de viviendas de interés social, utilizando las botellas PET para la fabricación de los cimientos corridos de las mismas, sustituyendo la piedra desplazadora del hormigón ciclópeo. Se



realizaron pruebas a los bloques de hormigón ciclópeo con PET, para el estudio de la resistencia a compresión se tomaron distribuciones de botellas en filas y al tercer bolillo, separadas entre sí 2, 3 y 4 cm, con relaciones volumétricas cemento-agua de 1:3 y 1:4. La resistencia de los bloques a compresión a los 28 días debía encontrarse entre 8 y 11 MPa. Las dimensiones de los bloques evaluados a compresión fueron 20x24x40 (cm). Los ensayos arrojaron como resultado que la distribución en filas es mas a adecuada, debido a que proporciona mayor resistencia a compresión. Los resultados de resistencia para 2 cm, 3 cm y 4 cm de separación fueron respectivamente, 3.2 MPa, 3.4 MPa y 3.8 MPa, para la distribución en filas. Para el ensayo a flexión, se evaluaron las vigas con refuerzo y sin refuerzo; se tomaron bloques con dimensiones de 20x20x40 (cm), arrojando como resultado una resistencia a flexión de 1.9 MPa para las vigas sin refuerzo y 2 MPa para las vigas con refuerzo. Se concluyó que el hormigón ciclópeo con botellas PET puede sustituir al hormigón ciclópeo convencional en construcciones de viviendas de hasta 3 niveles, debido a su resistencia y bajos costos de mano de obra. (Castro V, Cerruto A, Chambi Ch, & Perez Q, 2011).

Se ha estudiado también la alternativa de reforzar los muros de botellas PET con acero, buscando mayor resistencia y estabilidad. En el año 2012 en la ciudad de Guayaquil, Ecuador, el estudiante Johan Chon Torvela, en su tesis de grado, realizo una investigación titulada, *“Elaboración y análisis del comportamiento a flexión y a compresión de paneles prefabricados de plástico reciclado reforzado con mallas de acero y mortero”*, referente a la construcción de paneles prefabricados similares a los de los sistemas M2 y Walltech, con la diferencia de tener un núcleo de botellas plásticas entre las mallas y capa de mortero, con el propósito de ocupar el espacio interior, evitando el desperdicio de mortero, generando un ahorro en materiales. Se sometieron los paneles a ensayos de compresión y flexión, midiendo las resistencias correspondientes y la deformación en el caso de la flexión. Se concluyó que los paneles presentaron un buen comportamiento en los ensayos realizados; las resistencias tanto a flexión como a compresión superan las necesarias para viviendas de interés social, a pesar de que estas hayan sido menores a las teóricas. Por lo tanto pueden ser usadas para este tipo de construcción, aunque con ligeras modificaciones. (Chon Torvela, 2012).



En la ciudad de Riobamba, Ecuador, en el año 2013, el estudiante Carlos Alfredo Valle Mayorga, en su tesis de grado titulada *“Utilización de botellas plásticas tipo PET como unidad estructural para mampostería liviana”*, la misma consistió en recolectar y limpiar las botellas PET de tres litros, para luego proseguir a diseñar las unidades estructurales, posteriormente se rellenaron con una mezcla de mortero, luego se evaluó la resistencia mecánica de las mismas rellenas de la mezcla; además se evaluó también la resistencia de las botellas vacías y los ladrillos convencionales. Se concluyó que la utilización de botellas PET como unidad estructural para muros es posible, puesto que estas presentan mejores características, tanto físicas como mecánicas, con relación a los bloques convencionales, además de reducir el impacto ambiental del plástico con el medio ambiente. (Valle Mayorga, 2013).

Se desarrolló en el año 2013, en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) por Eduardo Botero Jaramillo, Liliana Muñoz, Alexandra Ossa y Miguel Romo, un proyecto de investigación titulado *“Comportamiento mecánico del Polietileno Tereftalato (PET) y sus aplicaciones geotécnicas”*, relativo a la utilización de los envases PET como una sustitución de materiales ligeros convencionales utilizados en la nivelación o reemplazo de suelo, para la realización de esta investigación se siguió el siguiente procedimiento: Se clasificaron los envases en dos grupos; los utilizados para el almacenamiento de agua y los utilizados para el almacenamiento de bebidas carbonatadas, también se evaluaron los envases vacíos y rellenos con bolsas de polietileno, luego a estos dos grupos se le realizaron pruebas de compresión, individuales y en grupo, para determinar su resistencia mecánica. Se concluye que: La resistencia a la compresión de los envases utilizados para almacenar bebidas carbonatadas es mayor que la de los utilizados para almacenar agua. La resistencia a la compresión de los envases rellenos con bolsas de polietileno es mayor que la de los envases vacíos. Por último, aplicando los envases PET a un problema geotécnico en el valle de México, para casas de 7m x 15m, se concluyó que es viable utilizar estos envases en la restitución y nivelación de suelos, sobre los que se apoyara la cimentación de las casas, puesto que las cargas transmitidas por las mismas es menor que las resistencias máximas presentada por los grupos de envases indicados. (Botero Jaramillo, Muñoz, Ossa , & Romo, 2013).



En el año 2014, en la ciudad de Sucre, Bolivia, los estudiantes Víctor Florez, Jesús Rojas, Rodrigo Torres, Rolando Vallejos, Paola Flores y Mariana Flores, de la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, en un artículo publicado en la revista de aplicaciones de la ingeniería titulado *“Elementos constructivos para casas ecológicas”* realizaron una investigación que consistió en la elaboración de ladrillos y tejas combinando cemento con PET y adicionándole un aditivo químico, con el objetivo de mejorar la resistencia del mortero. Evaluando también aspectos importantes como el peso unitario, la resistencia mecánica y los costos. Se concluyó que, en estado fresco el mortero con PET se presentó poco plástico y poco cohesivo, debiéndose esto, según los autores, a una inadecuada granulometría. Con relación a los costos se llegó a la conclusión que los ladrillos y tejas fabricados con PET son más económicas que los tradicionales. (Florez, y otros, 2014).

En el año 2016, José Ismael Ñurinda Martínez y Jonathan Javier Silva, estudiantes de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN), en una investigación llamada *“Diseño y desarrollo experimental de un panel a base de botellas PET, para ser utilizado en construcciones de muros en viviendas”*, llevaron a cabo el diseño de un panel de botellas recicladas utilizado como elemento de cerramiento en construcciones de viviendas mínimas, para estos paneles se unieron 15 columnas de botellas, cada columna de 9 botellas, unidas por el fondo y el pico de cada una, luego se confinaron las columnas en mallas de acero, cuya malla está formada por varillas lisas de 3/8” y para el amarre un alambre de acero con bajo contenido de carbono, conocido como alambre quemado; este panel es recubierto o pañetado con mortero. Las ventajas de este sistema son la reducción de costos, tiempo, equipo y mano de obra, así también como la eliminación de la formaletería y presenta una buena resistencia. (Ñurinda Martinez & Silva, 2016).

En Colombia, se han llevado a cabo también investigaciones involucrando las botellas PET en la construcción, un proyecto muy innovador se ejecutó en el año 2010 en la universidad EAFIT en la ciudad de Medellín por los estudiantes Andrés Walker Uribe y Sergio Andrés Molina, en su tesis de grado titulada *“Diseño y desarrollo de una plataforma flotante adecuada para la construcción de una vivienda rural unifamiliar para población de bajos recursos para sobrellevar las inundaciones aluviales futuras en las zonas críticas de la*



depresión Momposina del bajo magdalena”, la necesidad de este proyecto se da por la gran cantidad de personas que habitan en las zonas rurales inundables de la Depresión Momposina en su mayoría en extrema pobreza, las cuales son afectadas considerablemente y deben desplazarse o sobrevivir a estas duras condiciones de vida. La plataforma será económica, segura y proporcionará grandes ventajas a sus habitantes. Para el proyecto de la plataforma flotante se define una metodología específica de diseño y desarrollo de productos que consta de seis etapas que van desde la investigación y planteamiento hasta la construcción y pruebas del prototipo del proyecto. Se plantearon varias alternativas como material para la fabricación de la plataforma, resultando como el más óptimo las botellas PET. Para la construcción de la plataforma se utilizaron 6400 botellas, la cual será capaz de soportar el peso de una vivienda típica de esa región. A la misma se le realizaron una serie de pruebas, las cuales fueron: Prueba de flotación, de estabilidad y de arrastre. Se concluyó que la plataforma es capaz de soportar una vivienda ya que presenta una capacidad de flotación de máximo 16 toneladas. Las pruebas fueron satisfactorias: soportando las cargas máximas (220 kg/m^2), llegando además al nivel de flotación deseado, resultando más estable al estar cargada con el peso pre-establecido, soportando corrientes de hasta 1.25 m/seg . Se genera entonces una solución flotante para la población afectada por las inundaciones, pudiendo ser subsidiada por el gobierno o construida por los mismos usuarios usando el principio de las botellas PET. (Uribe & Molina, 2010).

En el año 2011, en la universidad Industrial de Santander, la estudiante Diana Stella Ramírez Luna, en su tesis de grado titulada *“Propuesta de un material compuesto con base al PET reciclado con aplicaciones en construcción”*, planteaba una propuesta de uso del PET reciclado como material de refuerzo para la fabricación de elementos de construcción, contribuyendo así a minimizar el impacto que generan los desechos plásticos en el medio ambiente. Para llevar a cabo la investigación, se realizaron pruebas físico-mecánicas de flexión, tracción y compresión, con el fin, de determinar su comportamiento y resistencia. Seguidamente se plantan dos formas de transformación del PET reciclado, mediante un proceso de fundición; la primera consistía en usar solo temperatura, y la segunda, temperatura más presión. El procedimiento para la elaboración de los bloques de prueba fue,



primeramente, triturar las botellas de PET, luego fundirlas y por ultimo formarlos con la ayuda de moldes de acero, las dimensiones de los bloques fueron dadas por la norma. Los resultados obtenidos fueron los siguientes: Para compresión la máxima carga resistida fue 7561,41 Kgf; para tensión fue 23,53 Kgf y para flexión fue 1009,12 Kgf. Luego de las pruebas se procedió a determinar el material más óptimo compatible con el PET, para así cumplir con el objetivo del proyecto; para esto se propusieron los siguientes: Desechos sintéticos del plástico, como polietileno, polipropileno, PVC y ABS; fibras naturales como, guadua y fique; u otras fibras como, nylon y fibra de vidrio. Luego de analizar cada uno de estos materiales se concluyó que ninguno mejora las características del PET, por tal motivo se decidió utilizar el PET no como material base sino como material de refuerzo en resina de poliéster. Para esto se elaboraron muestras, a las cuales se le realizaron pruebas de compresión y flexión, arrojando los siguientes resultados: Para resina de poliéster sin adición de PET, 14019,89 Kgf y 84,54 Kgf, para resina de poliéster con 5% de PET, 6961,35 Kgf y 59,89 Kgf; para resina de poliéster con 10% de PET, 4314,09 Kgf y 56,83 Kgf, para compresión y flexión respectivamente. Se concluye que la adición de PET a la resina sirve como carga y agente reforzante, siempre y cuando la granulometría del mismo sea baja. A medida que aumenta el contenido de PET en la resina la resistencia disminuye. (Ramírez Luna, 2011).

Cada vez son más los usos que se le dan al PET en la ingeniería civil. Actualmente se han llevado a cabo estudios sobre la aplicación del PET en la estabilización de taludes, en Colombia el ejemplo más reciente es el realizado en el año 2014 en la Universidad Católica de Colombia, por los estudiantes María Angélica Sánchez Sierra y Pedro Alexander Paredes Quiroga en su tesis de grado titulada “*Estudio de viabilidad técnica de la implementación del polietileno tereftalato como material para estabilización de taludes*”, el proyecto fue de carácter investigativo, y llevó a cabo el siguiente procedimiento: Se recolecto información sobre las características físicas, químicas y biológicas del material, luego se recolecto información sobre construcciones realizadas con PET, se identificaron los tipos de movimientos que se pueden presentar en un terreno debido a su topografía y sismicidad de la zona y por último se recopiló información sobra las aplicaciones del PET en la ingeniera



civil con el objetivo de describir el procedimiento de la construcción de estructuras con PET para finalmente obtener como resultado si es posible o no la utilización de este material en el ámbito planteado. Se concluyó que: La contención de taludes con material PET es viable para movimientos de tierras con velocidades bajas, pocos centímetros de material al año, como los movimientos de reptación presentados en suelos blandos. (Sánchez Sierra & Paredes Quiroga , 2014).

En la Universidad Católica de Colombia en el año 2014, se planteó también la construcción de estructuras con material reciclado, concretamente la construcción de una escuela, utilizando esta vez neumáticos en la cimentación de la misma, la investigación fue realizada por los estudiantes Ángela Rocío Romero Muñoz y Nelson Darío Ahumada Quimbay, y fue titulada *“Desarrollo auto sostenible de la implementación de la construcción de la escuela “porvenir” con la utilización de material reciclable”*. Para la construcción de la escuela se utilizaron diferentes materiales reciclables, entre ellos neumáticos, utilizados en los cimientos y botellas PET utilizados en los muros. La estructura principal fue un sistema de pórticos (vigas y columnas). Se realizó el análisis estructural y de cargas con base en la Norma Sismo Resistente Colombiana (NSR10), y el diseño arquitectónico con base en la Norma Técnica Colombiana NTC 4595. Se concluyó que: Los nuevos elementos constructivos desarrollados utilizando PET reciclado son una alternativa posible para la ejecución de construcciones, más ecológica, más económica, más liviana y de mejor aislación térmica, que la mampostería de ladrillos comunes que se utilizan tradicionalmente en la región; con una resistencia mecánica similar. (Romero Muñoz & Ahumada Quimbay, 2014).

En la misma universidad, un año después se realizó un proyecto similar, para la construcción de una vivienda de bajos recursos, utilizando los mismos materiales, pero esta vez haciendo una modelación con el software SAP2000, esta tuvo como título *“Prototipo de vivienda de bajos recursos con material reciclado (modelación SAP, caracterización de los materiales, animación virtual)”*, y tenía como objetivo Generar una simulación mediante el programa estructural SAP, y realizar una animación virtual con el fin de mostrar la construcción de una vivienda de bajo costo hecha en material reciclado, permitiendo así optimizar los costos, tiempos y calidad de producción, con el propósito de promover este tipo de construcciones



en el futuro. La investigación hizo parte de la tesis de grado de los estudiantes Fabio Andrés Argüello Rueda y Mario Leonardo Castellanos Salazar. En la misma pudieron concluir que los diseños previos que se realizaron para la vivienda son factibles dado que soportan las cargas estáticas que se generan, teniendo en cuenta los resultados obtenidos a través de SAP. Los materiales que se van a usar para la construcción son de gran resistencia y de fácil acceso, lo que permite reducir costos y disminuir los impactos medioambientales. (Argüello Rueda & Castellanos Salazar, 2015).

En la Universidad Tecnológica de Pereira, Mauricio Aguirre Rodríguez y Sebastián Rodríguez Arango, en el año 2016, efectuaron un estudio titulado “*Diseño y construcción de un módulo de vivienda con botellas recicladas*”, este tenía como objetivos determinar el modelo de vivienda y el material óptimo para el relleno de las botellas, establecer el número de las mismas y la forma estructural en que quedarán ensambladas para proporcionar la mayor resistencia, medida mediante pruebas de laboratorio. Para el relleno de las botellas se utilizó material reciclable (plástico). Se construyó el módulo de vivienda en la fundación Kyrios siguiendo el siguiente procedimiento: Preparación y limpieza del terreno, nivelación del terreno (placa base), fundiciones de vigas y columnas de concreto, pegado de botellas con mortero, levantamiento de muros, colocación de base para el techo, instalación de servicios básicos. Los resultados de las pruebas a compresión para las botellas de 1.7 y 3 L, fueron, 454,8 y 584,7 KN respectivamente. En la construcción del módulo se utilizaron 1,7 toneladas de basura. Se concluye que los proyectos de construcciones de módulos de viviendas con botellas reciclables, pueden ayudar a solucionar el problema de vivienda de las personas de escasos recursos al mismo tiempo que se evita el vertimiento de una gran cantidad de basuras al medio ambiente. (Aguirre Rodríguez & Rodríguez Arango, 2016).

Los proyectos anteriormente realizados, contribuyen a la mitigación de la contaminación ambiental y generan alternativas innovadoras que pueden solucionar las dificultades presentadas en una comunidad. En general, estas investigaciones presentan falencias en la parte de vulnerabilidad sísmica, ya que no se realizaron estudios sobre qué tan resistentes son las estructuras construidas con botellas PET al embate de un sismo, a pesar de esto pueden ser recomendadas para zonas donde el riesgo sísmico sea bajo. Ahora bien, con relación al



**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ALIGERAMIENTO DE LOSAS
DE ENTREPISO DE CONCRETO CON BOTELLAS PET Y CARTÓN**



tema planteado en esta investigación, no se encontraron estudios previos, a pesar de esto se pueden tomar como referencia los estudios que se le efectuaron a las botellas PET en las distintas investigaciones mencionadas anteriormente, esto servirá para tener una idea del comportamiento de las mismas al momento de trabajar como un sistema compacto de aligeramiento de losas.



1.2. MARCO TEORICO

1.2.1. Losas de entre piso.

Losas o placas de entrepiso son los elementos rígidos que separan un piso de otro, construidos monolíticamente o en forma de vigas sucesivas apoyadas sobre los muros estructurales o columnas.

Las losas o placas de entrepiso cumplen las siguientes funciones:

- **Función arquitectónica:** Separa unos espacios verticales formando los diferentes pisos de una construcción; para que esta función se cumpla de una manera adecuada, la losa debe garantizar el aislamiento del ruido, del calor y de visión directa; es decir, que no deje ver las cosas de un lado a otro.
- **Función estructural:** Las losas o placas deben ser capaces de sostener las cargas de servicio como el mobiliario y las personas, lo mismo que su propio peso y el de los acabados como pisos y revoques. Además, forman un diafragma rígido intermedio, para atender la función sísmica del conjunto. (SENA, 2002).

1.2.1.1. Clasificación de las losas de entre piso

1.2.1.1.1. Según la dirección de la carga

- **Losa en un sentido**

En la que la relación de rectangularidad (Longitud/ ancho de losa) es mayor de 2, y la carga de la losa es transferida a las trabes de apoyo en una dirección. La construcción en un sentido incluye generalmente losa macizas sobre vigas o muros, losas nervadas de un sentido apoyadas sobre muros o muros de carga. (Hanna, 2005).



- **Losa en un sentido, trabe y vigueta**

Este sistema consiste en una losa sólida, que se apoya en traveses de concreto que están espaciadas uniformemente. Las traveses, a su vez, se apoyan en viguetas en ángulos rectos a la trabe para transferir las cargas a las columnas (ver Figura 1). Este sistema proporciona generalmente la oportunidad de cubrir claros más largos que el sistema de dos sentidos, diseñando traveses y viguetas más peraltadas. (Hanna, 2005).

Figura 1. Losa en un sentido, trabe y vigueta.



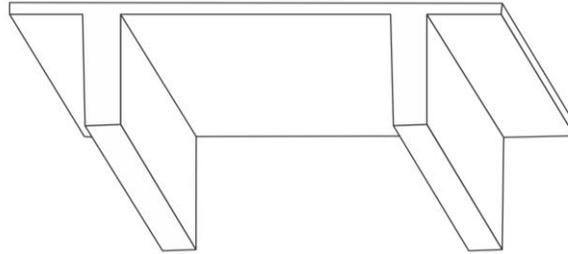
Fuente: Sistema de cimbra para concreto. (Hanna, 2005)

- **Losa de un sentido apoyada en traveses o en muros de carga**

Este sistema es una modificación de la losa, del inciso anterior. Elimina las traveses secundarias (Ver Figura 2) El acero de refuerzo es relativamente simple, y la existencia de huecos no es en general una preocupación crítica. (Hanna, 2005).



Figura 2. Losa de un sentido apoya en traves o en muros.

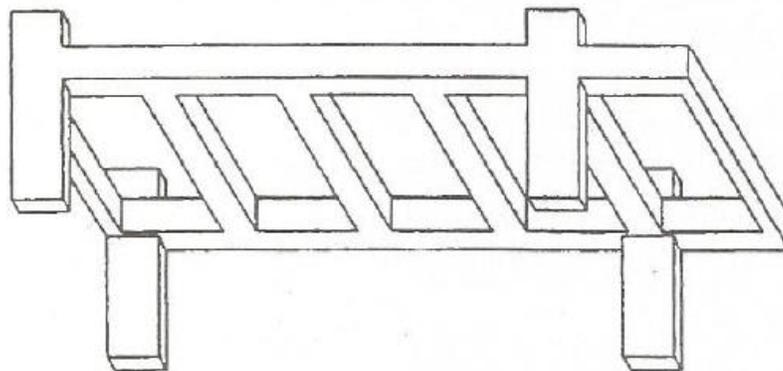


Fuente: Sistema de cimbra para concreto (Hanna, 2005)

○ **Losa en un sentido con nervadura**

Las losas nervadas de un sentido son una combinación monolítica de viguetas uniformemente espaciadas o nervaduras. Y una losa delgada colada en la obra para formar una unidad integral. Cuando las viguetas son paralelas se le denomina construcción de viguetas de un sentido. Las viguetas son agradables en aspecto arquitectónico y para los sistemas de apoyo mecánico, (Figura 3). (Hanna, 2005).

Figura 3. Losa de un sentido nervada.



Fuente: Sistema de cimbra para concreto (Hanna, 2005)



- **Losa en dos sentidos**

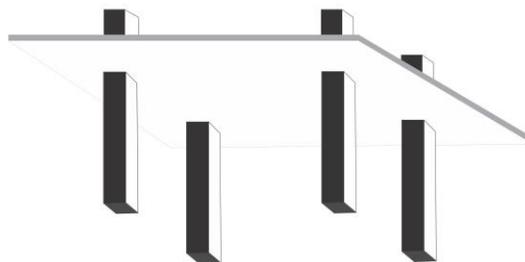
En la que la relación de rectangularidad (Longitud/ ancho de losa) es entre 1 y 2, y la carga de la losa es transferida a las vigas de apoyo en dos direcciones. La construcción en dos sentidos incluye la placa plana, la losa plana, la losa reticular, y las losas en dos direcciones apoyadas en capitales. (Hanna, 2005).

- **Losa maciza armada en dos direcciones soportadas en columnas sin vigas**

Un sistema de piso estructural de *Losa maciza armada en dos direcciones soportada en columnas sin vigas* consiste en una losa de concreto de espesor constante en toda su superficie, sin trabes o capiteles en las columnas (ver Figura 4). Tales losas pueden estar en voladizo en el exterior del edificio para permitir el uso de balcones.

Las columnas de apoyo para placas planas generalmente están igualmente espaciadas para facilitar el diseño y la construcción de tales losas. Este sistema es económico para claros de hasta 23 pies (7.0 m) con refuerzo moderado. Las placas planas pueden construirse en tiempo mínimo debido a que utilizan la cimbra más simple posible. Las placas planas han sido usadas exitosamente en edificios de muchos pisos para moteles, hoteles, hospitales y edificios de departamentos. (Hanna, 2005).

Figura 4. Losa maciza armada en dos direcciones soportada en Columnas.



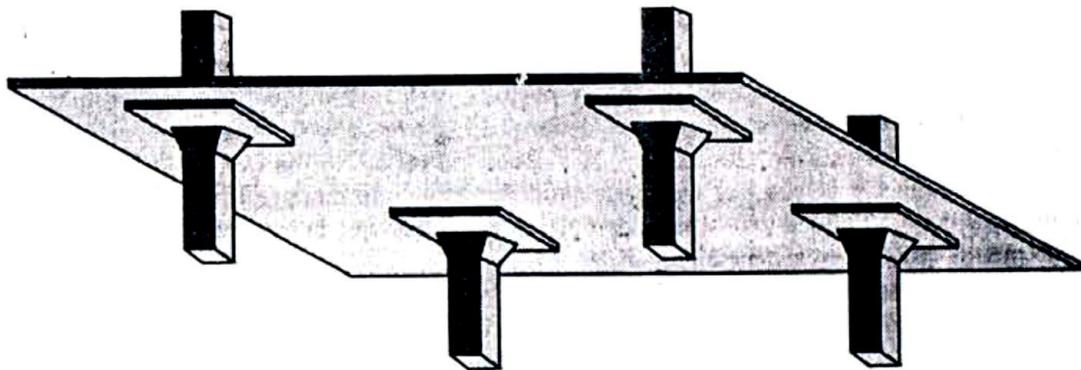
Fuente: Estructuras de concreto I, Jorge Segura, 1999



- **Losa maciza armada en dos direcciones soportada en columnas con capiteles y abacos**

Un sistema estructural de losa maciza armada en dos direcciones soportada en columnas con capiteles y abacos. Consiste en una losa de concreto de espesor constante con capiteles refuerzo en las ubicaciones de columnas (ver Figura 5). En años pasados, los capiteles de columna se utilizaban junto con ábacos, pero debido al mayor costo del cimbrado, los capiteles de columna son menos favorecidos en la práctica actual de construcción. Las losas planas se utilizan para resistir cargas más pesadas y con claros más largos que las placas planas. En general, el sistema es más adecuado para paneles cuadrados o casi cuadrados. (Hanna, 2005).

Figura 5. Losa maciza armada en dos direcciones soportada en columnas con capiteles y ábacos.



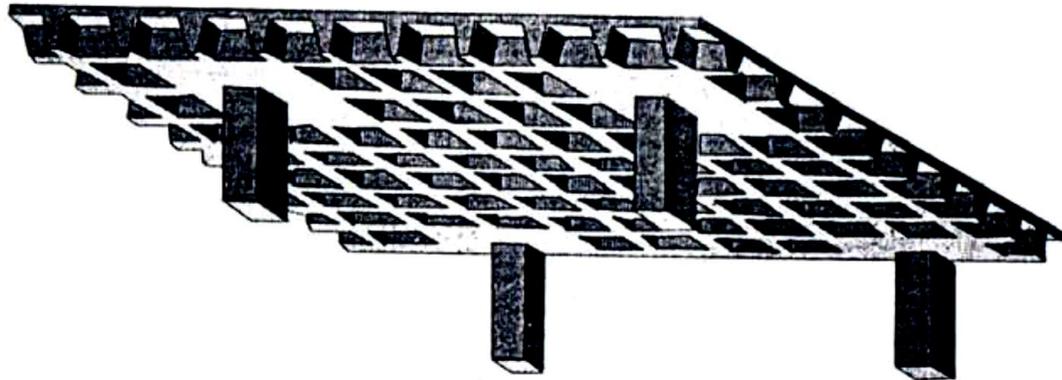
Fuente: Estructuras de concreto I, Jorge Segura, 1999

- **Losa aligerada armada en dos direcciones soportada en columna (reticular celularo)**

La construcción de una losa reticular celularo se muestra en la Figura 6. Consiste en filas de nervaduras de concreto en ángulo recto con paneles sólidos en las columnas. Las losas reticulares pueden usarse para claros de hasta 5 pies (15.2m), y se utilizan para obtener un plafón atractivo. (Hanna, 2005).



Figura 6. Losa aligerada armada en dos direcciones soportada en columnas (Reticular Celulado)

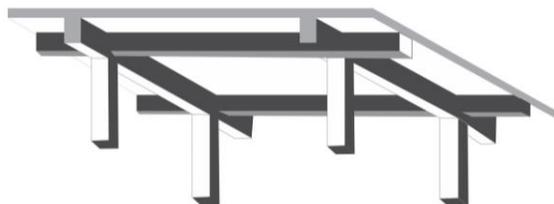


Fuente: Estructura de concreto I, Jorge Segura, 1999.

- **Losa maciza armada en dos direcciones soportadas por vigas en sus cuatro lados**

Este sistema Consiste en una losa sólida diseñada para extenderse en dos direcciones, ya sea hacia las trabes de concreto o hacia muros (Figura 7). La ventaja principal del sistema es la de ahorrar acero de refuerzo y sección de la losa como resultado de ser capaz de aprovechar la acción en dos sentidos. El cimbrado para el sistema en dos direcciones es complicado y generalmente sobrepasa las ventajas de costo asociadas con el ahorro acero de refuerzo y espesor de la losa. (Hanna, 2005).

Figura 7. Losa maciza armada en dos direcciones soportadas por vigas en sus cuatro bordes.

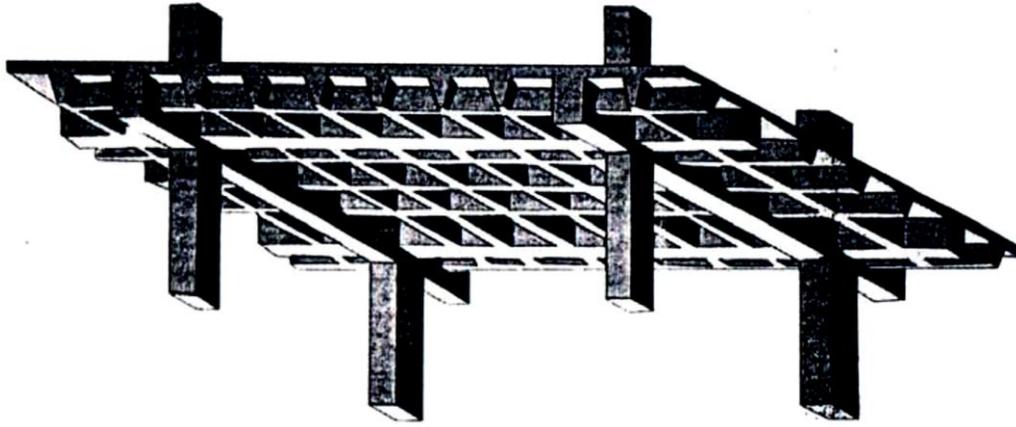


Fuente: Estructuras de concreto I, Jorge Segura, 1999.



- **Losa aligerada armada en dos direcciones soportada por vigas en sus cuatro bordes**

Figura 8. Losa aligerada armada en dos direcciones soportada por vigas en su cuatro bordes



Fuente: Estructura de concreto, Jorge Seguras, 1999.

1.2.1.2. Aligeramiento de losas de entre piso

Los sistemas reticulados de entrepiso en hormigón reforzado, o losas nervadas, constituyen uno de los avances más relevantes en los sistemas estructurales del siglo XX, tendientes a minimizar el peso de las estructuras sin detrimento de su seguridad, al tiempo que se consigue una importante economía de materiales, un sensible incremento en la velocidad de construcción, y bajo ciertas modalidades, una enorme reducción de los encofrados.

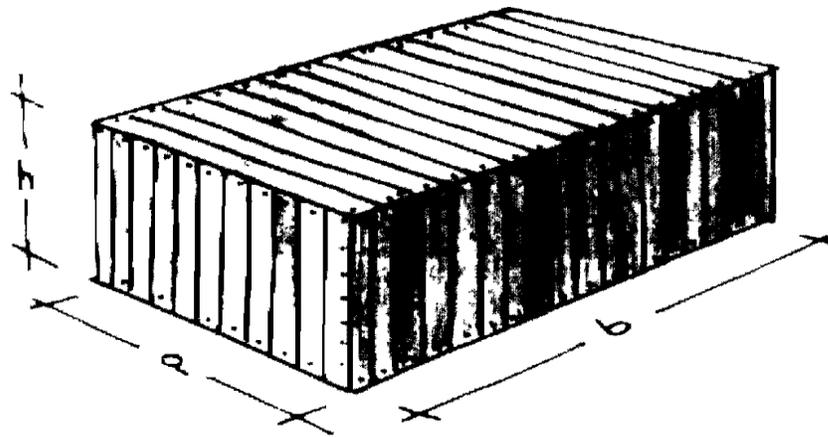
Después de la desaparición del sistema nervado reticulado celular, ocuparon su lugar otras modalidades de aligeramiento, destacándose entre ellas los casetones reutilizables de madera, de fibra de vidrio y de Poliestireno expandido.

Pero entre todos los sistemas de aligeramiento para losas basados en casetones, el más antiguo y el más popular ha sido el casetón no recuperable de madera o de guadua, paradójicamente el peor de todos, cuyo uso sólo se fundamenta en falsas expectativas de economía y que, en vía de desaparición, ha encontrado entre nosotros su último asilo.



Este tipo de aligeramiento denominado también casetón perdido (Figura 9), ha sido ideado para permanecer confinado allí por siempre, y necesariamente debe quedar oculto tras una torta de mortero previamente ejecutada. De no ser así, la apariencia del entrepiso sería inaceptable, además de convertirse rápidamente en un descomunal «semillero» de comején. (Botero, 2006).

Figura 9. Casetón de madera no recuperable para aligeramiento de losa.



Fuente: ENCOFRADOS, Román Botero R., 2006.

- **Casetones recuperables de madera**

Consisten en cajones de forma troncopiramidal, fabricados con retales de madera de buena calidad, o con lámina de madera aglomerada, o de contrachapado residual procedente de empaques. La madera debe ser perfectamente maquinada, con perfecto ajuste de todas las uniones. Para tener un armazón interno bien confeccionado que trabaje solidariamente, de modo que pueda ser jalado sin perder su integridad. Su geometría piramidal hace más difícil su construcción, porque contiene muchas piezas que no son rectangulares. En una palabra, su factura debe ser óptima. De otra manera no funcionan.

Normalmente se utilizan clavos como medio de unión, pero podrían fabricarse con tornillos de 1 pulgada colocados con atornillador eléctrico; esto sería mucho mejor, pero incrementaría

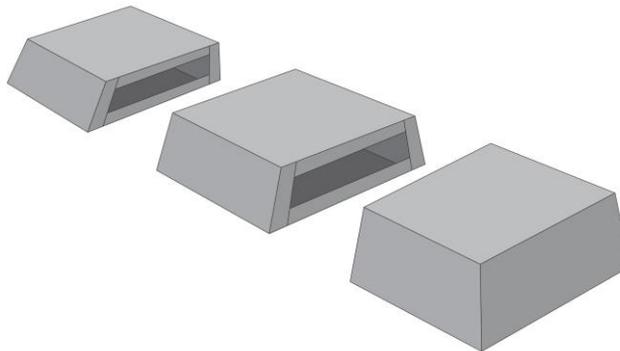


un poco su costo. Para tener una idea sobre este consumo. Puede decirse con mucha aproximación. Que 1 m de casetón consume 260 puntillas, o sea que un casetón de 2.50 m de longitud. Consume 640 puntillas o tornillos.

Se extraen manualmente sin utilizar ninguna herramienta especial; sólo una palanca Para hacer posible su extracción es indispensable la inclinación de sus paredes, con una pendiente mínima de 0.5 a 10, y máxima de 1 a 10. Es indispensable además envolverlos totalmente en polietileno. En forma cuidadosa para evitar arrugas que se marcan en el hormigón. De todas maneras, a veces es difícil predecir el éxito de su extracción, pues al no tener una óptima confección. La operación puede fallar ocasionando un importante desperdicio de madera; y un trabajo Permanente de reconstrucción, no previsto.

Se fabrican cuadrados o rectangulares según sea la losa en una o dos direcciones. Los casetones rectangulares no deben exceder los 2.50 m de longitud, porque se torna difícil de extraer; es deseable más bien, seccionarlo en dos o tres partes que se instalan simplemente yuxtapuestas (Figura 10 y 11).

Figura 10. Casetón rectangular de madera fabricado en tres segmentos yuxtapuesto.



Fuente: ENCOFRADOS, Román Botero R., 2006.



Figura 11. Sección de casetón rectangular fabricado en uno y en tres segmentos.



Fuente: ENCOFRADOS, Román Botero R., 2006.

Como bien se sabe, la forma inclinada de las paredes del casetón, implica un consumo adicional de hormigón que debe quedar considerado en el análisis de costo de la losa. Para una losa nervada de 40 cm de espesor, utilizando una inclinación de 05 a 10, este incremento de hormigón resulta ser del 9%. Es arriesgado rebajar esta inclinación; por ejemplo, con una pendiente de 1 a 10, el incremento del hormigón pasa a ser del 17%. (Botero, 2006)

- **Casetones recuperables de Poliestireno expandido**

El casetón recuperable de Poliestireno es con seguridad uno de los más exitosos en el mundo y uno de los llamados a perdurar. Representa un gran paso hacia la modernidad en el aligeramiento de losas, y su primer mérito consiste en haber licenciado a la madera como material de aligeramiento. Ofrece ventajas valiosas como su facilidad de manejo. Su facilidad de extracción y el grado de reciclaje que permite. El material utilizado en su fabricación es Poliestireno expandido a calor, que se moldea en grandes bloques con una densidad variable entre 14 y 20 kg/m³.

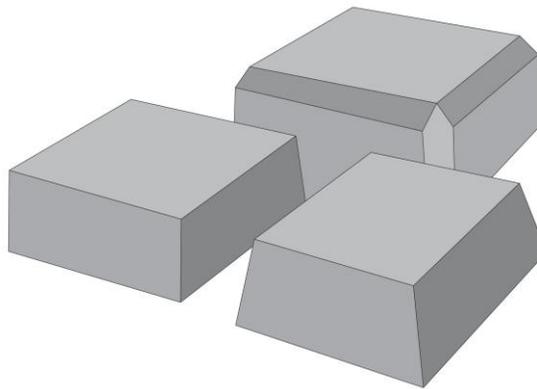
Es imposible extraerlos por el método de jalarlos, sencillamente porque no tienen de donde ser agarrados, y además el material no resistiría la maniobra. La extracción debe hacerse con aire comprimido, por medio de un cojín inflable que empuja el casetón hacia abajo y que se



deja extendido sobre él; del cojín se deriva una pequeña manguera que permite inyectar aire comprimido. Todos los casetones deben quedar envueltos en polietileno para facilitar la extracción.

La forma es una condición variable (Figura 12) puede ser tronco piramidal o totalmente rectangular, dependiendo en parte del tipo de losa. Es decir si se piensa en su extracción, resulta obvio que la forma troncopiramidal es la ideal, pero implica un consumo adicional de hormigón. Por esta razón, los fabricantes limitan el uso de la forma troncopiramidal a las losas en dos direcciones, donde las celdas son de forma cuadrada. Para las losas de una sola dirección, cada celda de losa se aligera con un casetón alargado, seccionado en tres partes, de modo que, liberando el segmento central con cojín de aire, los restantes se extraen fácilmente en este caso son completamente rectangulares y no aplican consumo adicional de hormigón. (Botero, 2006)

Figura 12. Casetón de Poliestireno de formas diversas.



Fuente: ENCOFRADOS, Román Botero R., 2006.

A pesar de todo, el casetón sufre un deterioro notable por la operación de extracción, pero recuérdese que en gran medida puede ser reciclado, por ejemplo, de un bloque muy



deteriorado superficialmente, se obtiene por recorte un bloque más pequeño, que siempre será útil. Los proveedores locales estiman en 12 veces el factor de duración de un casetón.

Se utilizan en algunos países los casetones de Poliestireno permanentes (no recuperados), destinados al aislamiento térmico o acústico, y se fabrican en material de baja densidad, algo así como 10 kg/m³. Tienen su aplicación, por ejemplo, en losas de cubierta para climas rigurosos, haciendo parte del programa de climatización del edificio; o en condominios lujosos para minimizar la transmisión del sonido por los entrepisos. (Botero, 2006).

En las losas unidireccionales, cada celda es ocupada por un casetón alargado seccionado en varias partes. Las piezas extremas son de cuatro caras, y las centrales de tres. Debido a esto, el efecto de ventosa desaparece y los casetones se retiran manualmente flexionando los un poco desde su borde. No es necesaria la aplicación de aire comprimido en este caso. (Botero, 2006).

En la Tabla 1. Se estipula la clasificación según la densidad, cada uno de estos tipos, dependiendo de sus características de inflamabilidad se clasifican en los siguientes grados: Auto-extinguible (F) o no Auto-extinguible (P). En la Tabla. 2. se muestra los requisitos para las espumas rígidas de polietileno expandido.



Tabla 1. Clasificación según densidad.

| Tipo | Densidad nominal Kg/m³ | Densidad Mínima Kg/m³ |
|-------------|--|---|
| I | 10 | 9 |
| II | 12 | 11 |
| III | 15 | 13,5 |
| IV | 20 | 18 |
| V | 25 | 22 |
| VI | 30 | 27 |

Fuente: Norma Técnica Colombiana (NTC) 1359, 1977

Tabla 2. Especificaciones técnicas generales del casetón de Poliestireno Expandido

| Dimensiones | Variables |
|--|-----------------------------------|
| Densidad | 8 hasta 18 kg/m ³ |
| Coefficiente de conductividad térmica | 0,025 kcal-m/hr m ² °C |
| Resistencia a la compresión | 1.2 Kg/cm ² |
| Resistencia a la Flexión | 2.5 Kg/cm ² |
| Resistencia al Corte | 7 Kg/cm ² |
| Absorción de agua después de ser sumergido 8 días | Max 0,7% |

Fuente: Viguetas y Poliestireno, soluciones arquitectónicas, México

- **Casetones de fibra de vidrio**

Se fabrica a base de una mezcla de resina de poliéster y fibra de vidrio. Es necesario construir previamente un molde o patrón, de yeso, madera, etc., sobre el cual habrá de formarse el



casetón utilizando un procedimiento más o menos artesanal; debe recordarse que no se trata aquí de un proceso de inyección al vacío. Requieren interiormente un esqueleto rigidizante de madera o de metal, para evitar su deformación, esqueleto que también podría conformarse con nervaduras de la misma resina, pero seguramente a un costo mayor.

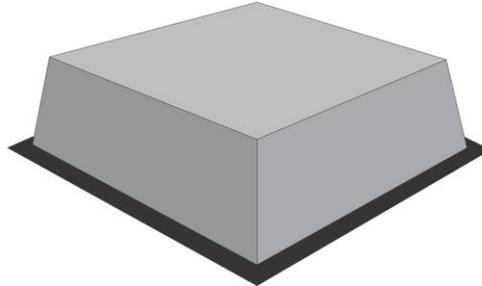
Exteriormente presenta una superficie totalmente tersa. Terminada con laca aplicada a pistola, de manera que su adherencia al hormigón es mínima, Aun así, se acostumbra impregnarlos de alguna emulsión desmoldante, o mantenerlos brillados con cera luego de cada uso.

Entre sus cualidades, la que más se destaca es su capacidad para producir hormigones a la vista de un terminado perfecto, y para este tipo de trabajos es ideal. Pero es un producto de costo elevado, que solamente se justifica en proyectos con una gran área de losas, en dónde, gracias a un elevado factor de uso, resultan económicos. Su duración puede llegar al centenar de usos o quizás más, y hasta cierto momento son reparables utilizando el mismo material que los constituye.

Debido a su hermetismo y a su pulimento externo, el método de extracción tiene una importante relación con su forma. El casetón de la Figura 13. Utilizado en losas bidireccionales, se comporta frente al hormigón como una ventosa, de manera que su extracción sólo es posible con aire comprimido que se inyecta por un agujero dispuesto para tal fin. La Figura 14. Representa una losa bidireccional en proceso de construcción.

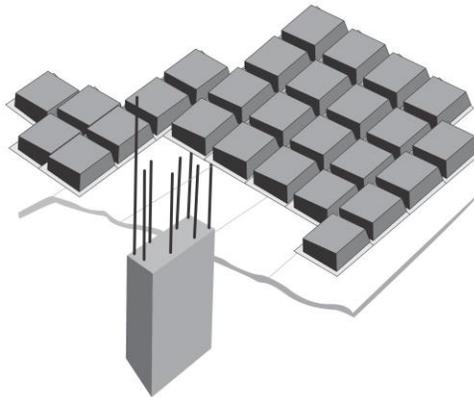


Figura 13 Casetón de fibra de vidrio de forma cuadrada.



Fuente: ENCOFRADO, Román Botero R., 2006.

Figura 14. Casetón de fibra de vidrio para losa de dos direcciones, montado sobre un entablado continuo.



Fuente: ENCOFRADO, Román Botero R., 2006

En las losas unidireccionales, cada celda es ocupada por un casetón alargado seccionado en varias partes. Las piezas extremas son de cuatro caras, y las centrales de tres. Debido a esto, el efecto de ventosa desaparece y los casetones se retiran manualmente flexionando los un



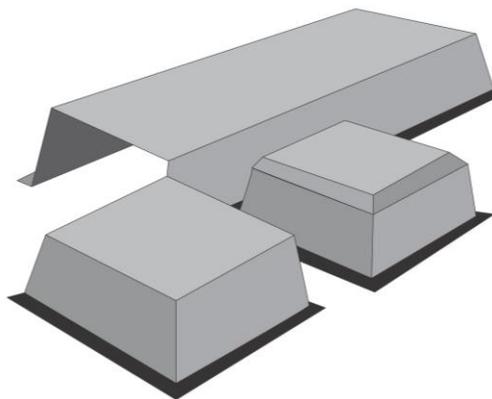
poco desde su borde. No es necesaria la aplicación de aire comprimido en este caso. (Botero, 2006).

- **Casetones de acero**

Los casetones de acero son un implemento de construcción propio de países industrializados con abundante disponibilidad de acero y con un volumen de construcción muy elevado: en tales países existe un mercado amplio de venta y de arriendo y pueden adquirirse a precio razonable, mediando claro está, un factor de repetición importante. En el medio colombiano no se conocen, porque su uso tendría un precio escandaloso.

Se fabrican con lámina de acero de 2.5 mm de espesor o mayor, con formas un poco diversas. Pueden ser troquelados o simplemente constituidos por planos unidos a base de soldadura (Figura 15). Su manera de utilizarlos tiene mucho en común con los casetones de resina y fibra presentados anteriormente. Sus condiciones de extracción son muy semejantes o casi las mismas, e igualmente se fabrican para losas de una o dos direcciones. Es corriente instalarlos sobre un entablado parcial, pues su contextura permite a los operarios caminar libremente sobre ellos sin romperse. (Botero, 2006)

Figura 15. Modelos diversos de casetones de acero.



Fuente: ENCOFRADO, Román Botero R., 2006.



1.2.2. Cimbras (shores), encofrado y formaletas (formwork)

Las cimbras (Shores) son una estructura provisional de madera o elementos metálicos, de forma, dimensiones y seguridad adecuadas para la colocación del refuerzo y el concreto de un elemento estructural, y sostenerlos mientras el concreto adquiere la resistencia adecuada.

Los encofrados y formaletas (Formwork) son moldes con forma y las dimensiones de los elementos estructurales, en los cuales se coloca el refuerzo y se vierte el concreto fresco. (Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcción Sismo Resistente, 2012).

El objeto de las cimbras y encofrados es obtener una estructura que cumpla con la forma, los niveles y las dimensiones de los elementos según lo indicado en los planos de diseño y en las especificaciones.

Las cimbras y encofrados deben ser esencialmente y suficientemente y suficientemente herméticos para impedir la fuga del mortero.

Las cimbras y encofrados deben estar adecuadamente arriostrados o amarrados entre sí, de tal manera que conserven su posición y forma.

Las cimbras y encofrados y sus apoyos deben diseñarse de tal manera que no dañen la estructura previamente construida.

El diseño de las cimbras y encofrados debe tener en cuenta los siguientes factores:

- a. Velocidad y método de colocación del concreto.
- b. Cargas de construcción, incluyendo cargas verticales, horizontales y de impacto.
- c. Requisitos especiales de las cimbras y encofrados para la construcción de cáscaras, losas plegadas, domos, concreto arquitectónico u otros tipos de elementos similares; (Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcción Sismo Resistente, 2012)

1.2.2.1. Economía e importancia de la cimbra

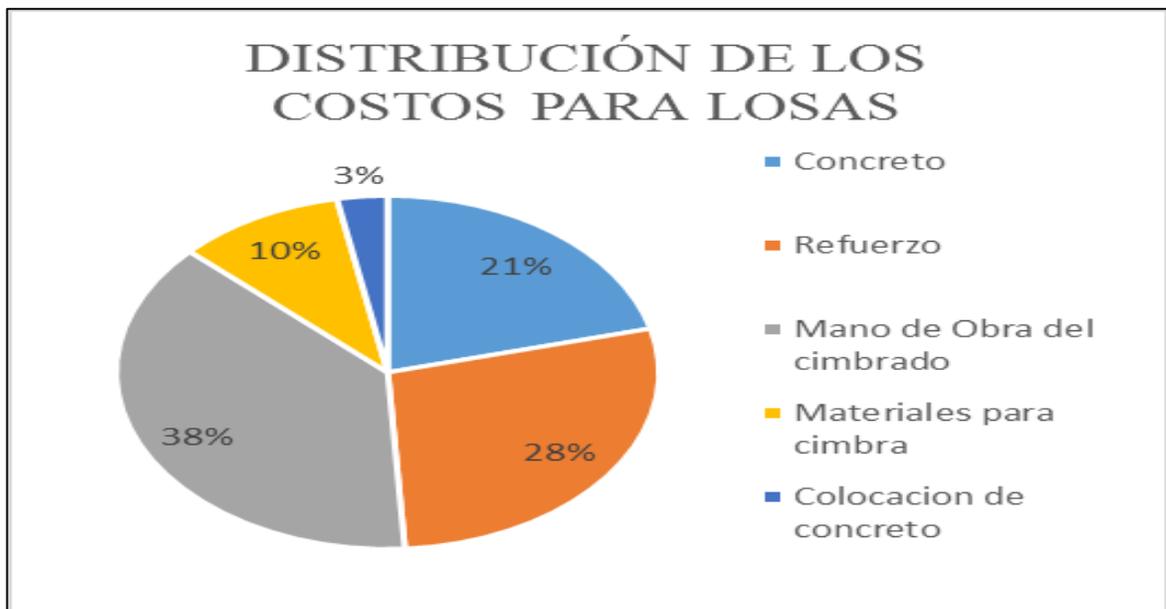
La cimbra es el componente de mayor costo para un edificio típico de concreto reforzado de varios pisos. El costo de la cimbra representa del 40 al 60 por ciento del costo de la estructura



de concreto y aproximadamente 10 por ciento del costo total del edificio. La Ilustración 13 presenta un análisis de diferentes categorías de costos para cimbra de losas y de muros de concreto convencionales. Una gran proporción del costo de la cimbra convencional está relacionado con los costos de mano de obra del cimbrado. Se podría lograr un ahorro significativo reduciendo los costos de la mano de obra.

Los costos de la cimbra no son el único componente importante del ciclo de vida de la misma. Otros aspectos importantes de la operación del cimbrado incluyen la velocidad, la seguridad, y la calidad. (Hanna, 2005).

Figura 16. Distribución de los costos para losas.



Fuente: Sistemas de cimbra para concreto, Awad S. Hanna, 2005.

1.2.2.2. Cargas presentes en las formaletas

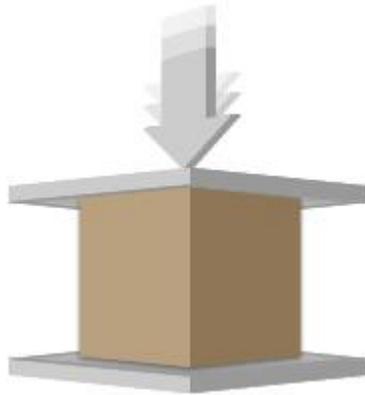
Las cargas presentes en las formaletas serán las aplicadas por el peso del concreto y la carga viva ocasionada por los trabajadores y maquinarias al momento de la instalación de los casetones y la fundición de la placa.



1.2.3. Resistencia a la compresión

Esfuerzo máximo que puede soportar un material bajo una carga de aplastamiento. La resistencia a la compresión de un material que falla debido a la rotura de una fractura se puede definir, en límites bastante ajustados, como una propiedad independiente. Sin embargo, la resistencia a la compresión de los materiales que no se rompen en la compresión se define como la cantidad de esfuerzo necesario para deformar el material una cantidad arbitraria. La resistencia a la compresión se calcula dividiendo la carga máxima por el área transversal original de una probeta en un ensayo de compresión. (INSTRON, 2016).

Figura 17. Esquema de Fuerza a compresión a la que es sometido el casetón.



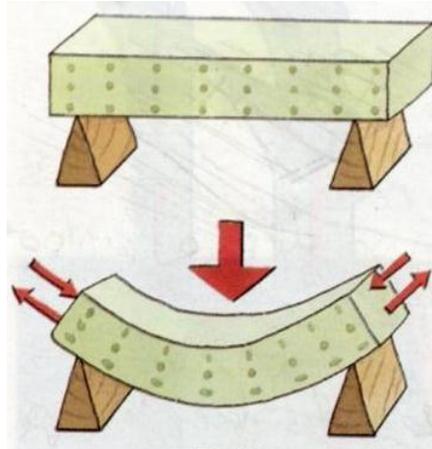
Fuente: Ríos corrugadora S.A, Mexico, (2009)

1.2.4. Resistencia a la flexión

Esfuerzo máximo de la fibra desarrollado en una probeta justo antes de que se agriete o se rompa en un ensayo de flexión. Se presenta la resistencia de fluencia de la flexión en lugar de la resistencia a la flexión para aquellos materiales que no se rompen en el ensayo de flexión. Sinónimo de módulo de rotura. (INSTRON, 2016).



Figura 18. Diagrama de carga aplicada a flexión.



Fuente: Flexión y Flexo-tracción en Estructuras de acero y madera. Terán E. (2015)

1.2.5. Tereftalato de polietileno

El PET está constituido de petróleo crudo, gas y aire. Un kilo de PET es 64% de petróleo, 23% de derivados líquidos del gas natural y 13% de aire. A partir del petróleo crudo se extrae el Paraxileno y se oxida con el aire para obtener ácido Tereftálico. El etileno, que se obtiene principalmente a partir de derivados del gas natural, es oxidado con aire para formar el etilenglicol. La combinación del ácido Tereftálico y el etilenglicol produce como resultado el PET.

Sus principales usos son las botellas de gaseosas, agua, aceite y vinos, envases farmacéuticos, tejas, películas para el empaque de alimentos, cuerdas, cintas de grabación; alfombras; zuncho, rafia, fibras. (Ministerio de Ambiente, 2004)

1.2.5.1. Datos técnicos del PET

En las Sigüientes tablas se presentan los datos técnicos del PET, los cuales incluyen las propiedades Mecánicas, Eléctricas, Térmicas y Químicas.



Tabla 3. Propiedades mecánicas del PET

| PROPIEDADES MECANICAS A 23°C | UNIDAD | ASTM | DIM | VALORES |
|--|-----------------------|-------------|------------|----------------|
| Peso específico | g/cm ³ | D-792 | 53479 | 1.39 |
| Resistencia A la tracción (Fluencia/Rotura) | Kg/cm ² | D-638 | 53455 | 900/-- |
| Resistencia a la compresión (1 y 2 % Deformación) | Kg/cm ² | D-695 | 53454 | 260/480 |
| Resistencia a la Flexión | Kg/cm ² | D-790 | 53452 | 1450 |
| Resistencia al choque sin entalla | Kg.cm/cm ² | D-256 | 53453 | >50 |
| Alargamiento a la rotura | % | D-638 | 53455 | 15 |
| Módulo de Elasticidad (Tracción) | Kg/cm ² | D-638 | 53457 | 37000 |
| Dureza | Shore D | D-2240 | 53505 | 85-87 |
| Coef. De roce estático S/Acero | | D-1894 | | -- |
| Coef. De roce dinámico S/Acero | | D-1894 | | 0.20 |
| Resistencia al desgaste por roce | | | | MUY BUENA |

Fuente: Industrias JQ (2015). Obtenido de <http://www.jq.com.ar/imagenes/productos/pet/dtecnicos/dtecnicos.htm>

Tabla 4. Propiedades Térmicas del PET.

| PROPIEDADES TERMICAS | UNIDAD | ASTM | DIM | VALORES |
|--|---------------|-------------|------------|----------------|
| Calor específico | Kcal/Kg.°C | C-351 | | 0.25 |
| Temperatura de Flexión B/Carga (18.5 Kg/cm ²) | °C | D-648 | 53461 | 75 |
| Temperatura de uso continuo en aire | °C | | | -20 a 110 |
| Temperatura de fusión | °C | | | 255 |
| Coeficiente de dilatación lineal de 23 a 100°C | Por °C | D-696 | 52752 | 0.00008 |
| Coeficiente de conducción térmica. | Kcal/m.h.°C | C-177 | 52612 | 0.25 |

Fuente: Industrias JQ (2015). Obtenido de <http://www.jq.com.ar/imagenes/productos/pet/dtecnicos/dtecnicos.htm>

Tabla 5. Propiedades químicas del PET

| PROPIEDADES QUIMICAS | OBSERVACIONES |
|--|----------------------|
| Resistencia a hidrocarburos | BUENA |
| Resistencia a ácidos débiles a temperatura ambiente | BUENA |
| Resistencia a álcalis débiles a temperatura ambiente | BUENA |
| Resistencia a productos químicos definidos | CONSULTAR |
| Efecto de los rayos solares | ALGO LO AFECTAN |
| Aprobado para contacto con los alimentos | SI |



| | |
|--------------------------------|---------------------------------|
| Comportamiento a la combustión | ARDE CON MEDIA DIFICULTAD |
| Propagación de llamas | MANTIENE LA LLAMA |
| Comportamiento al quemarlo | GOTEA |
| Color de la llama | AMARILLO ANARANJADO TIZANADO |
| Olor al quemarlo | AROMATICO DULCE |

Fuente: Industrias JQ (2015). Obtenido de <http://www.jq.com.ar/imagenes/productos/pet/dtecnicos/dtecnicos.htm>

1.2.5.2. Identificación de los diferentes tipos de plásticos

“Sistema de codificación de envases plásticos: Este sistema, utilizado internacionalmente, ayuda a identificar en los envases, botellas, contenedores y recipientes en general. El tipo de material plástico usado para su fabricación. Ello facilita notablemente la selección, recuperación, y reciclaje de las diferentes resinas y compuestos plásticos, permite disminuir la cantidad de materiales que se incineran o se desechan en rellenos sanitarios y genera empleo a través de la industria de recuperación.

El símbolo universal del reciclaje se compone de tres flechas que forman un triángulo con un número en el centro y letras en la base, donde el número y las letras indican la resina usada.” (Ministerio de Ambiente, 2004).

Se ha diseñado un sistema internacional para identificar los plásticos más utilizados, ya que estos poseen características estructurales diferentes, por tal razón tienen tratados diferentes para su reciclaje.

Las resinas plásticas más utilizadas en la sociedad son Polietileno Tereftalato (PET), Polietileno de alta densidad (PE-AD), Poliestireno (PS), Cloruro de Polivinilo (PVC). (Ministerio de Ambiente, 2004).



Tabla 6. Sistema de identificación de envases y empaques.

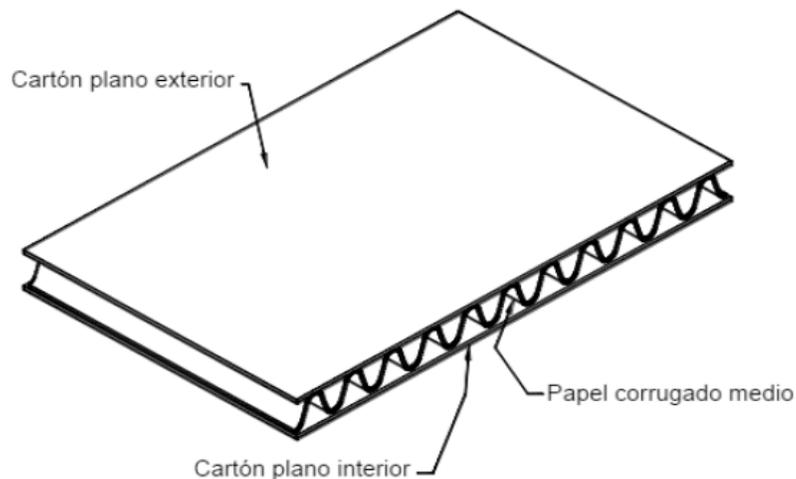
| Tereftalato de polietileno PET | Polietileno de alta densidad PEAD | Policloruro de vinilo PVC | Polietileno de Baja densidad PEBD | Polipropileno PP | Poliestireno PS | Otros |
|-----------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|---------------------|--------------------|-------|
| | | | | | | |

Fuente: Principales procesos básicos de la transformación de la industria Plástica y manejo, aprovechamiento y disposición de residuos plásticos post-consumo. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Colombia

1.2.6. Cartón

El cartón corrugado es una estructura formada por un nervio central de papel ondulado (papel onda), reforzado externamente por dos capas de papel (papeles liners o tapas) pegadas con adhesivo en las crestas de la onda. Es un material liviano, cuya resistencia se basa en el trabajo conjunto y vertical de estas tres láminas de papel. Para obtener su mayor resistencia, la onda del cartón corrugado tiene que trabajar en forma vertical. Se puede hacer una analogía entre las columnas que forma el cartón corrugado y las columnas de una construcción. (CMPC, 2017).

Figura 19. Cartón corrugado de pared sencilla.



Fuente: Norma Técnica Colombiana 452.



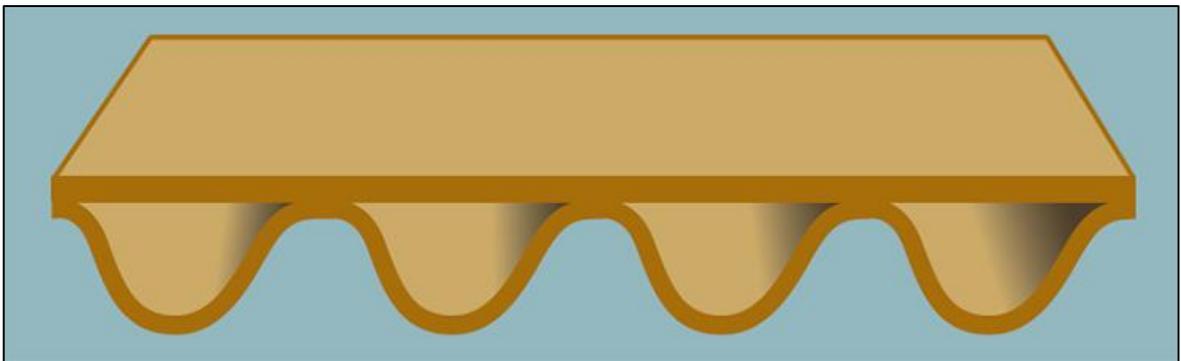
1.2.6.1. Tipos de cartón

Dentro de la gran variedad de posibilidades que el cartón corrugado ofrece, podemos distinguir principalmente los siguientes tipos:

- **Cartón sencillo (single face)**

Es una estructura flexible formada por un elemento ondulado (onda) pegado a un elemento plano (liner) (Ver figura 20).

Figura 20. Esquema Cartón sencillo (Single Face)



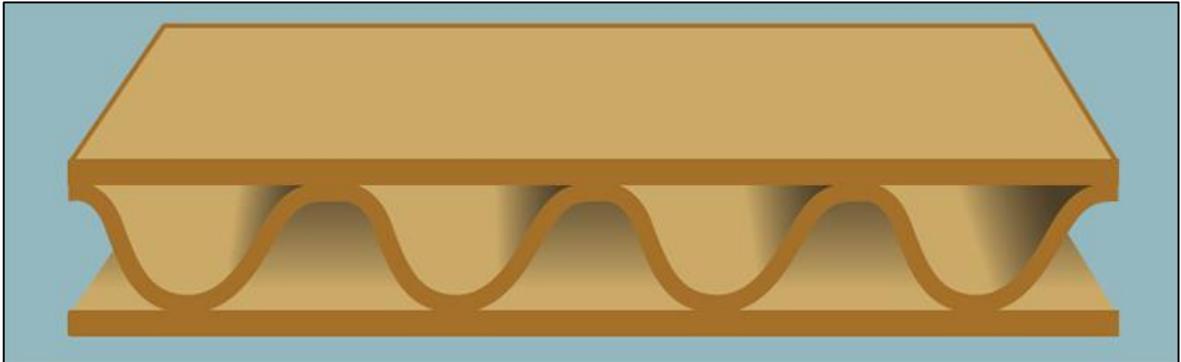
Fuente: Manual de elaboración del cartón corrugado, (2007). Obtenido de http://www.corrugando.com/index.php?option=com_content&view=article&id=328:i-fasciculo-manual-de-elaboracion-del-carton-ondulado&catid=30:edicion-7&Itemid=18

- **Cartón simple (single wall)**

Es una estructura rígida formada por un elemento ondulado (onda) pegado en ambos lados a elementos planos (liners) (Ver figura 21).



Figura 21. Esquema Cantón simple (Single Wall)

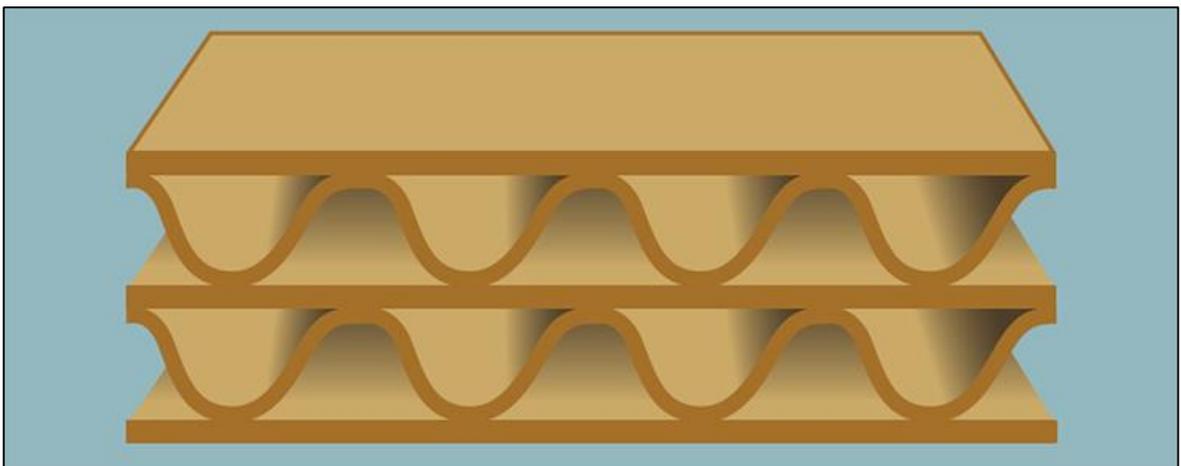


Fuente: Manual de elaboración del cartón corrugado, (2007). Obtenido de http://www.corrugando.com/index.php?option=com_content&view=article&id=328:i-fasciculo-manual-de-elaboracion-del-carton-ondulado&catid=30:edicion-7&Itemid=18

- **Cartón doble (double wall)**

Es una estructura rígida formada por tres elementos planos (liners) pegados a dos elementos ondulados (ondas) intercalados (Ver figura 22). (CMPC, 2017)

Figura 22. Esquema Cartón doble (Double Wall).



Fuente: Manual de elaboración del cartón corrugado, (2007). Obtenido de http://www.corrugando.com/index.php?option=com_content&view=article&id=328:i-fasciculo-manual-de-elaboracion-del-carton-ondulado&catid=30:edicion-7&Itemid=18



2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la factibilidad técnica y económica de un sistema alternativo de aligeramiento de losas de entrepiso de concreto, utilizando casetones elaborados con material reciclable (Botellas PET y cartón), mediante la realización de ensayos de resistencia en laboratorio y el análisis de los costos que conlleven su fabricación, con el fin de reducir costos en la construcción de estructuras y contribuir con la mitigación de la contaminación ambiental.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar y diseñar un casetón con botellas PET y cartón, que funcione como aligerante de losas de concreto.
- Evaluar la resistencia a compresión y flexión en sentido longitudinal y transversal del casetón, mediante ensayos de laboratorio.
- Evaluar la factibilidad económica y de mano de obra de los casetones.
- Realizar una comparación entre las propiedades mecánicas de los casetones de botellas PET y los convencionales de icopor.
- Realizar una comparación económica entre los casetones de botellas PET y los convencionales de icopor.
- Evaluar las deformaciones presentadas en los casetones de botellas PET.

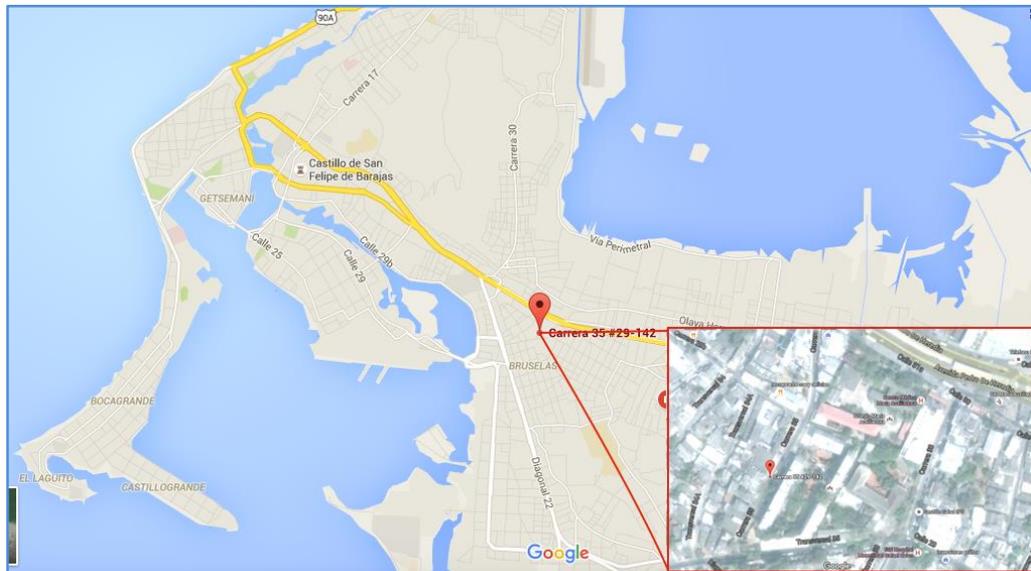


3. ALCANCE

3.1. DELIMITACIÓN ESPACIAL

La metodología propuesta en esta investigación plantea dos escenarios generales, uno en donde se hacen los ensayos mecánicos de los casetones de PET & Cartón, estas se llevaron a cabo en las instalaciones del laboratorio de suelos y materiales del Ingeniero Geotecnista Modesto Barrios Fontalvo, ubicado en el Conjunto Residencial Los Tamarindos, En la Tv. 35 No. 26C – 175, con cordenadas $10^{\circ} 24' N$, $75^{\circ} 31' W$, Cartagena – Bolívar. Como segundo escenario tenemos la prueba piloto, en donde se puso a prueba el casetón de PET & Cartón, desde un punto de vista constructivo y de manejabilidad en obra, este fue en las instalaciones del campus de Piedra de Bolívar de la Universidad de Cartagena, ubicado en la Avenida El Consulado, Calle 30 No. 39B-192, con cordenadas $10^{\circ} 24' N$, $75^{\circ} 30' W$, Cartagena - Bolivar.

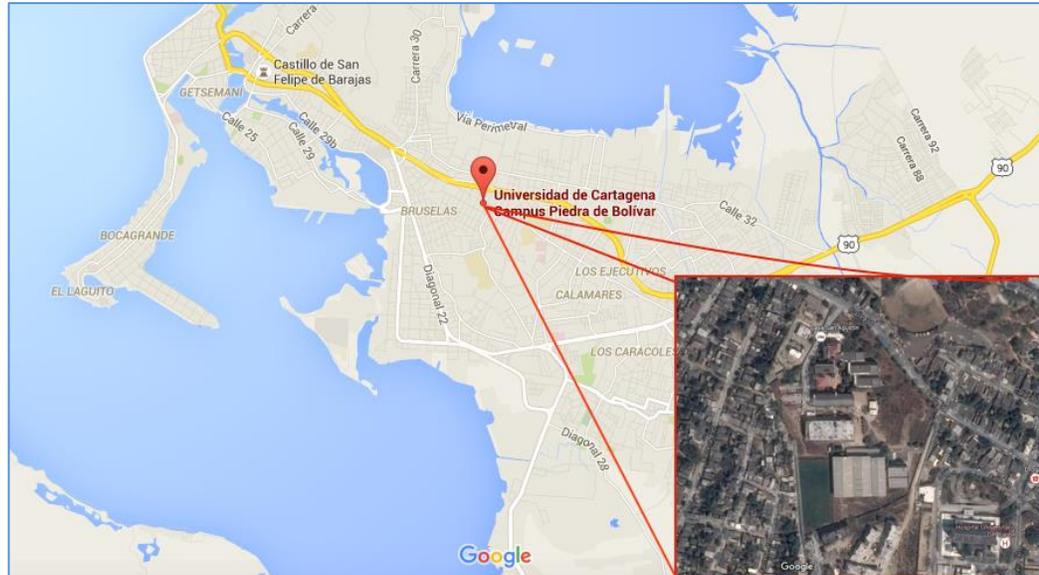
Figura 23. Ubicación laboratorio de suelos y materiales del Ingeniero Geotecnista Modesto Barrios Fontalvo, Coordenadas $10^{\circ}24'N,75^{\circ}31'W$



Fuente: Google Maps. (2016)



Figura 24. Ubicación de la Universidad de Cartagena campus Piedra de Bolívar, coordenadas 10°24'N,75°30' W



Fuente: Google Maps. (2016)

3.2. DELIMITACIÓN TEMPORAL

En lo que respecta al alcance temporal del proyecto de investigación, este fue desarrollado durante el segundo periodo académico del año 2017 de la Universidad de Cartagena.

3.3. DELIMITACIÓN CONCEPTUAL

Al establecer los parámetros que influyeron en los resultados de ensayos, estos estuvieron sujetos al comportamiento de las botellas de PET y del Cartón, además, se asumió que la prueba piloto y sus resultados estuvieron ligados fielmente a las condiciones climatológicas, a la mano de obra contratada y a los equipos utilizados, entre otros.

- **Envases PET**

- *Altura:* La altura está limitada por las establecidas por las empresas productoras de bebidas, esta generalmente va asociada al volumen ofrecido, esto significa que los



problemas producidos por este motivo están fuera del alcance de esta investigación, y pueden ser raíz para que surjan nuevas investigaciones respecto al tema.

- *Diámetros y Capacidad del envase:* Esta va ligada generalmente a la altura del mismo.
- *Acomodación de las botellas.*

- **Materiales de Confinamiento**

- *Plástico de confinamiento*
- *Cartón*

- **Cartón**

- *Tipo de cartón*
- *Espesor del cartón*
- *Ubicación del cartón*

- **Dimensiones del casetón de PET & CARTON**

- *Relación largo – ancho efectivo*
- *Altura efectivas*

- **Manejabilidad en obra**

- **Costos**

Fue de vital importancia la determinación de cada una de estas características para el diseño de los casetones de PET & CARTÓN, estos definieron a la variable independiente principal que es la carga máxima aplicada en cada ensayo y que determina una de las variables dependientes más importante, la resistencia a la compresión (longitudinal y transversal).



A partir de estas variables mencionadas anteriormente, se determinaron las demás variables dependientes, las cuales consistieron en medir la deformación, determinar la manejabilidad en obra y los costos.

Cabe destacar que el sistema de aligeramiento de losa utilizado como base de comparación es el poliuretano expandido o más comúnmente conocido como icopor.

3.4. PRODUCTOS COMPLEMENTARIOS

Los siguientes elementos pueden ser base para futuras investigaciones:

- El sistema de desencofrado
- Modificación en la muestra: como por ejemplo rellenar las botellas PET con algún material producto del reciclado.
- Métodos de confinamiento de los envases.
- Estudios de alternativas diferentes al cartón.
- Limitación en la altura de las botellas: está ligada a la producción de envases para bebidas, la cual está atada a la capacidad en volumen de la misma.

3.5. LIMITACIONES

Las características fundamentales (mecánicas, térmicas, acústicas y químicas) de las botellas de PET, CARTÓN y CASETONES DE ICOPOR, no estuvieron abarcadas dentro del alcance de este proyecto, igualmente no se determinaron numéricamente las cargas a las que son sometidos los casetones ya instalados. (Cargas muertas y cargas vivas).



4. METODOLOGÍA

El desarrollo de esta investigación constó de etapas experimentales, de análisis de los datos recolectados y de aplicación experimental de los mismos por medio de una prueba piloto. Con base en lo anterior este proyecto estuvo enmarcado dentro de la clasificación de tipo experimental, ya que en este se manipularon variables dentro del laboratorio, como lo son las características de las botellas PET y el tipo de cartón utilizado, para determinar por medio del análisis de resultados, la viabilidad de los diseños propuestos. A continuación, se describen los procesos llevados a cabo para alcanzar los objetivos planteados.

4.1. DISEÑO DE CASETONES DE MUESTRA PARA ENSAYOS DE RESISTENCIA

Como primera parte de esta investigación se diseñó la estructura del casetón, dejando plasmado este en planos de formato digital y físico.

4.2. ELABORACIÓN DE CASETONES DE MUESTRA PARA ENSAYOS DE RESISTENCIA

Para los ensayos de Resistencia a la compresión y flexión se elaboraron dieciocho (18) muestras

4.2.1. Materiales

- ***Botellas PET***

Para la construcción de los casetones se utilizaron botellas PET vacías, en buen estado, que no presentaran abolladuras y que contaran con su tapa. Estas, se recolectaron en instituciones educativas. Las botellas utilizadas para la elaboración de un casetón, tienen el mismo tamaño, esto con el fin de facilitar el proceso



constructivo y permitir que dicho casetón sea más compacto y por lo tanto presente 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.

- ***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 costo económico, el cual fue asumido por los investigadores.

4.2.2. Dimensiones del casetón

Las dimensiones del casetón estuvieron sujetas a las dimensiones de la maquina en donde se realizaron los ensayos.

4.3. ENSAYOS AL CASETON

Para los ensayos ejecutados a los casetones se adoptaron las normas NTC 673 y NTC 2871, las cuales describen las pruebas de resistencia a compresión y flexión, respectivamente, que se le realiza al concreto. Se siguen los mismos procedimientos allí descritos, pero aplicados a un casetón de botellas PET.



4.3.1. Resistencia a compresión

Para la realización del ensayo a compresión se ubicó un casetón cúbico sobre la platina de la máquina de ensayo, se le aplicó una fuerza compresora en N continua y sin impactos, por medio de un gato hidráulico sobre una platina metálica para que la fuerza se distribuya uniformemente. Se colocó un deformímetro para tomar datos de la deformación ocasionada por la fuerza aplicada hasta el punto de falla de la muestra. Se le aplicó la carga de compresión hasta que el indicador de carga mostrara que la carga estuviera decreciendo constantemente y el espécimen mostrara un patrón de fractura bien definido.

Se registraron los datos del deformímetro y de la carga aplicada cada cierto tiempo, con el fin de poder obtener la gráfica Carga-Deformación (N-mm), donde se colocaron los datos de las muestras ensayadas y se realizó una curva de tendencia para obtener la capacidad de carga a la compresión del casetón ensayado.

La resistencia a la compresión fue calculada dividiendo la carga máxima soportada entre el área transversal del casetón.

$$\sigma = \frac{P_{max}}{A_{neta}} \quad (1)$$

Ecuación 1. Resistencia a la compresión



Figura 25. Ensayo de casetón a compresión



Fuente: Autores

Figura 26. Casetón ensayado a compresión



Fuente: Autores



4.3.2. Resistencia a la flexión

Para la evaluación de la resistencia a la flexión, se tomó un casetón rectangular, cuya luz es tres veces mayor a su espesor, este se ensayó como una viga simple, es decir, se colocó sobre dos apoyos simples de rodillo. Se colocaron los dispositivos de aplicación de carga en contacto con la superficie del espécimen y en los puntos correspondientes al tercio medio, se cargó el espécimen continuamente y sin impactos. La carga en N, fue aplicada a una velocidad constante hasta ocasionar la rotura.

Se registrarán los datos del deformímetro y de la carga aplicada cada cierto tiempo con el fin de elaborar la gráfica carga-deformación de las muestras ensayadas.

La resistencia a la flexión se calculó de la siguiente manera:

- Si la falla se inicia en la superficie a tensión dentro del tercio medio de la luz, se calcula el módulo de rotura como sigue:

$$R = \frac{Pl}{bd^2} \quad (2)$$

Ecuación 2. Resistencia a la flexión

Donde:

R = Módulo de rotura, Mpa.

P = Carga máxima aplicada indicada por la máquina de ensayo, N.

l = Longitud entre apoyos, mm.

b = Ancho promedio del espécimen en el lugar de falla, mm.

d = Altura promedio del espécimen en el lugar de falla, mm.

- Si la falla ocurre en la superficie a tensión por fuera del tercio medio en no más de un 5% de la luz, se calcula el módulo de rotura como sigue:



$$R = \frac{3Pa}{bd^2} \quad (3)$$

Ecuación 3. Resistencia a la flexión

Donde:

a = distancia promedio entre la línea de falla y el soporte más cercano medido en la superficie a tensión de la viga.

Figura 27. Ensayo de viga a flexión



Fuente: Autores



Figura 28. Vigueta ensayada a flexión



Fuente: Autores

4.3.3. Densidad del casetón

La densidad del casetón se calculó con la siguiente ecuación:

$$Densidad = \frac{W}{V} \quad (4)$$

Ecuación 4. Densidad del casetón

Donde:

W = Masa del casetón, kg.

V = Volumen del casetón, m³.

4.4. COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE RESISTENCIA RESPECTO A LOS CASETONES DE ICOPOR

Luego de obtener los resultados de resistencia y densidad de los casetones de botellas PET, estos se compararon con las características establecidas para los casetones de icopor, según



su densidad, estos se obtuvieron en las fichas técnicas de las empresas comercializadoras de este producto.

El fin de esta comparación es verificar que el uso de los casetones de botellas PET realmente sea viable y funcional desde el punto de vista estructural.

4.5. DETERMINACIÓN DE COSTOS DEL CASETÓN

Se determinó el costo de fabricar 1 m³ de casetón de botellas PET, con base en los materiales y la cantidad necesaria de estos mismos, mano de obra y equipos necesarios, se evaluaron diversas formas de adquirir los materiales, escogiendo la mejor. La determinación de estos costos se realizó mediante un Análisis de Precios Unitarios (APU).

4.6. COMPARACIÓN DE COSTOS RESPECTO A LOS CASETONES DE ICOPOR

Luego de obtener los resultados económicos de lo que cuesta fabricar 1 m³ de casetón de botellas PET, estos se compararon con el precio del m³ de casetón de icopor, esto con el fin de comprobar si realmente existe una factibilidad económica con los casetones propuestos en este proyecto. Los datos de precios de los casetones de icopor se obtuvieron de las empresas dedicadas a la distribución del mismo.

4.7. FABRICACIÓN LOSA PILOTO DE CONCRETO ARMADO

Se evaluó el proceso de instalación en obra de los casetones mediante la fabricación de una placa de concreto, con esto se pudo visualizar el comportamiento en obra y se midió la deflexión que este podría sufrir, no solo por la carga aplicada por la losa, sino también la que el personal de construcción y la maquinaria podría transmitirle a esta.



4.7.1. Materiales

- **Concreto**

El concreto fue suministrado por el director de este proyecto el ingeniero geotecnista Modesto Barrios Fontalvo, para su elaboración, se utilizó una dosificación 1:2:2

- **Formaleta de madera**

Para la realización de las formaletas se utilizaron Guarderas como las mostradas en la Figura 29. Las Guarderas se instalaron como formaletas perimetrales, con esto se obtiene el tamaño deseado de la losa.

Figura 29. Guarderas de madera



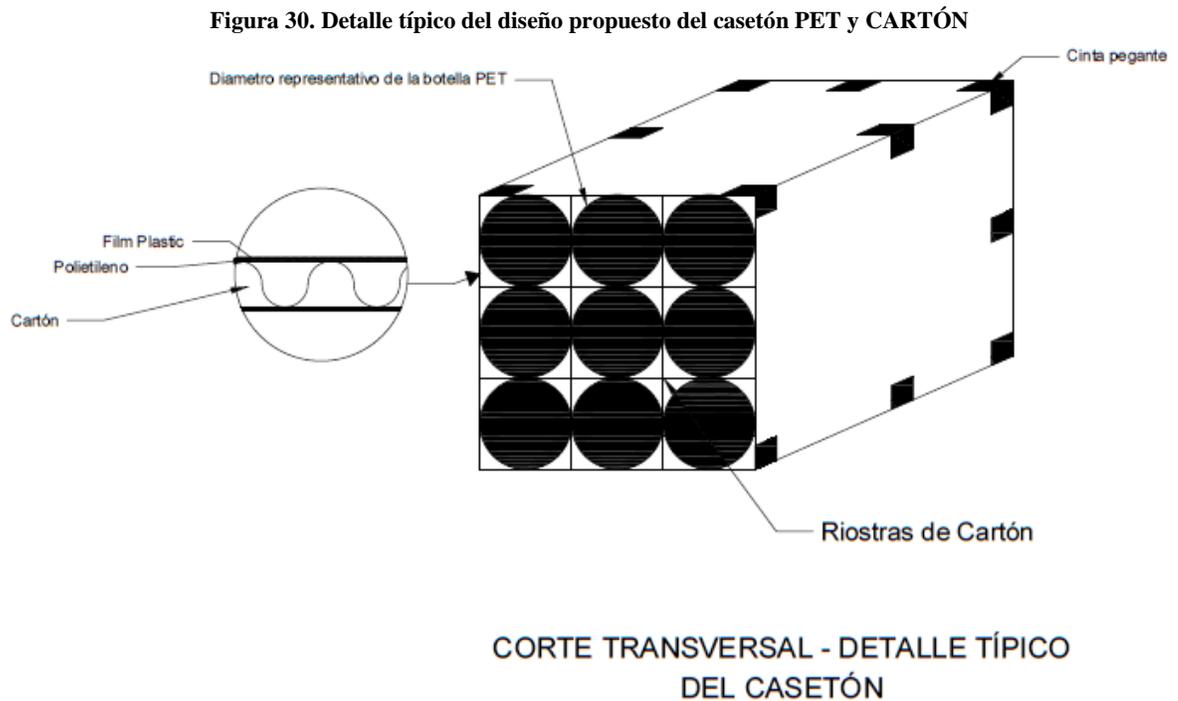
Fuente: Equinorte.co, (2017). Obtenido de <http://equinorte.co/>



5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. DISEÑO DEL CASETON

El diseño de los casetones de botellas PET y cartón fue planteado por los autores de esta investigación. En la figura 26 se muestra el esquema de un casetón en posición horizontal, describiendo cada uno de sus elementos.



Fuente: Autores



5.2. PROCESO CONSTRUCTIVO DEL CASETÓN

Para la construcción de los casetones de muestra, se siguió el siguiente procedimiento:

- **Etapa 1:** Se colocan las botellas encima de una lámina de cartón en forma vertical y se ordenan una junto a la otra, formando un bloque, hasta cumplir con las dimensiones deseadas. (Ver figura 31).

Figura 31. Etapa 1



Fuente: Autores

Etapa 2: Se miden y se cortan 6 láminas de cartón, las cuales forman el cubo dentro del cual están las botellas. (Ver figura 32).

Figura 32. Etapa 2



Fuente: Autores



- **Etapa3:** Se forma el cubo, pegando las láminas entre sí con cinta industrial, dejando la cara superior descubierta. (Ver figuras 33 y 34).

Figura 33. Etapa 3 (a)



Fuente: Autores

Figura 34. Etapa 3 (b)



Fuente: Autores

- Etapa4:** Se introducen las botellas con la disposición deseada. (Ver figura 35).



Figura 35. Etapa 4



Fuente: Autores

Etapa 5: Se coloca una lámina de cartón entre cada línea de botella, en ambos sentidos. (Ver figura 36).

Figura 36. Etapa 5



Fuente: Autores



- **Etapa 6:** Se coloca la lámina superior, adhiriéndola también con cinta industrial. (Ver figuras 37 y 38)

Figura 37. Etapa 6(a)



Fuente: Autores

Figura 38. Etapa 6 (b)



Fuente: Autores



- **Etapa7:** Se forra el bloque con el polietileno. (Ver figuras 39 y 40).

Figura 39. Etapa 7 (a)



Fuente: Autores

Figura 40. Etapa 7 (b)



Fuente: Autores



- **Etapa 8:** Se forra el bloque con film plastic con el fin de confinar los materiales. (Ver figuras 41 y 42).

Figura 41. Etapa 8 (a)



Fuente: Autores

Figura 42. Casetón terminado



Fuente: Autores



5.3. PRUEBAS DE RESISTENCIA

Se realizaron los ensayos a los casetones para evaluar la resistencia a compresión longitudinal y transversal, así como también su resistencia a la flexión, tal como se describió en el ítem 4.3. Los resultados obtenidos quedaron plasmados en las siguientes tablas.

Tabla 7. Resultados de muestras ensayadas a compresión transversal

| MUESTRAS ENSAYADAS A COMPRESION TRANSVERSAL | | | | | | | | | | | | |
|---|------------|------------|-----------|-------------------------|----------------------------|---------------------------|-----------|-------------------------------|----------------------------|---|---|---|
| Muestra | Ancho (cm) | Largo (cm) | Alto (cm) | Área (cm ²) | Volumen (cm ³) | Volumen (m ³) | Masa (kg) | Densidad (kg/m ³) | Carga máxima aplicada (Kg) | Deformación máxima con carga máxima aplicada (mm) | Resistencia a la compresión (Kg/cm ²) | Resistencia a la compresión (Ton/m ²) |
| 1 | 21 | 32 | 35 | 672 | 23520 | 0,0235 | 1,35 | 57,398 | 390 | 3,81 | 0,580 | 5,804 |
| 2 | 23 | 31 | 36 | 713 | 25668 | 0,0257 | 1,202 | 46,829 | 260 | 3,048 | 0,365 | 3,647 |
| 3 | 25 | 36 | 37 | 900 | 33300 | 0,0333 | 1,14 | 34,234 | 320 | 2,54 | 0,356 | 3,556 |
| 4 | 24 | 32 | 36 | 768 | 27648 | 0,0276 | 1,183 | 42,788 | 330 | 2,286 | 0,430 | 4,297 |
| 5 | 28,5 | 28,5 | 17 | 812,25 | 13808 | 0,0138 | 0,997 | 72,203 | 350 | 3,556 | 0,431 | 4,309 |
| 6 | 25 | 34 | 38 | 850 | 32300 | 0,0323 | 1,065 | 32,972 | 330 | 2,032 | 0,388 | 3,882 |

Fuente: Autores

Tabla 8. Resultados de muestras ensayadas a compresión longitudinal

| MUESTRAS ENSAYADAS A COMPRESION LONGITUDINAL | | | | | | | | | | | | |
|--|------------|------------|-----------|-------------------------|----------------------------|---------------------------|-----------|-------------------------------|----------------------------|---|---|---|
| Muestra | Ancho (cm) | Largo (cm) | Alto (cm) | Área (cm ²) | Volumen (cm ³) | Volumen (m ³) | Masa (kg) | Densidad (kg/m ³) | Carga máxima aplicada (Kg) | Deformación máxima con carga máxima aplicada (mm) | Resistencia a la compresión (Kg/cm ²) | Resistencia a la compresión (Ton/m ²) |
| 1 | 26 | 26 | 24 | 676 | 16224 | 0,0162 | 0,951 | 58,617 | 840 | 3,556 | 1,243 | 12,426 |
| 2 | 26 | 26 | 24 | 676 | 16224 | 0,0162 | 0,951 | 58,617 | 860 | 3,048 | 1,272 | 12,722 |
| 3 | 26 | 26 | 22 | 676 | 14872 | 0,0149 | 0,951 | 63,946 | 570 | 2,54 | 0,843 | 8,432 |
| 4 | 25 | 25 | 22 | 625 | 13750 | 0,0138 | 0,951 | 69,164 | 500 | 3,556 | 0,8 | 8 |
| 5 | 23 | 24 | 19 | 552 | 10488 | 0,0105 | 0,951 | 90,675 | 780 | 6,096 | 1,413 | 14,130 |
| 6 | 26 | 33 | 30 | 858 | 25740 | 0,0257 | 0,951 | 36,946 | 460 | 6,604 | 0,536 | 5,361 |
| 7 | 22 | 39 | 34 | 858 | 29172 | 0,0292 | 0,951 | 32,600 | 710 | 5,588 | 0,828 | 8,275 |
| 8 | 24,5 | 32 | 30 | 784 | 23520 | 0,0235 | 0,951 | 40,434 | 550 | 4,064 | 0,702 | 7,015 |

Fuente: Autores



Tabla 9. Resultados de muestras ensayadas a flexión

| MUESTRAS ENSAYADAS A FLEXIÓN | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|------------------|------------------------------------|-----------------------------------|--|--|
| Muestra | Ancho (cm) | Largo (cm) | Alto (cm) | Área (cm²) | Volumen (cm³) | Volumen (m³) | Masa (kg) | Densidad (kg/m³) | Carga máxima aplicada (Kg) | Resistencia a flexión (Kg/cm²) | Resistencia a flexión (Ton/m²) |
| 1 | 18 | 51 | 17 | 918 | 15606 | 0,0156 | 1,068 | 68,435 | 230 | 2,211 | 22,107 |
| 2 | 17 | 49 | 30 | 833 | 24990 | 0,0250 | 1,45 | 58,023 | 250 | 0,817 | 8,170 |
| 3 | 20 | 58 | 33 | 1160 | 38280 | 0,0383 | 1,311 | 34,248 | 240 | 0,551 | 5,510 |

Fuente: Autores

Tabla 10. Resultados promedios de muestras ensayadas a compresión longitudinal

| MUESTRAS ENSAYADAS A COMPRESIÓN LONGITUDINAL | | | |
|---|---|---|---|
| Densidad (kg/m³) | Resistencia a compresión longitudinal promedio (Kg/cm²) | Resistencia a compresión longitudinal promedio (Ton/m²) | Deformación máxima promedio (mm) |
| 56,375 | 0,9545 | 9,5452 | 4,3815 |

Fuente: Autores

Tabla 11. Promedio de resultados de muestras ensayadas a compresión transversal

| MUESTRAS ENSAYADAS A COMPRESIÓN TRANSVERSAL | | | |
|--|--|--|---|
| Densidad (kg/m³) | Resistencia a compresión transversal promedio (Kg/cm²) | Resistencia a compresión transversal promedio (Ton/m²) | Deformación máxima promedio (mm) |
| 47,737 | 0,4249 | 4,2490 | 2,8787 |

Fuente: Autores

Tabla 12. Resultados promedios de muestras ensayadas a flexión

| MUESTRAS ENSAYADAS A FLEXIÓN | | |
|-------------------------------------|---|---|
| Densidad | Resistencia a flexión promedio (Kg/cm²) | Resistencia a flexión promedio (Ton/m²) |
| 53,568 | 1,1929 | 11,9288 |

Fuente: Autores



5.4. COMPARACIÓN DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS ENTRE LOS CASETONES DE PET Y LOS DE ICOPOR

Se compararon las resistencias a compresión y flexión de los casetones de PET y cartón con los casetones de poliestireno expandido, para esto se tomó como referencia las especificaciones técnicas de los casetones fabricados por la empresa VYPSA, mostradas anteriormente en la tabla 2.

La resistencia a compresión promedio obtenida por los casetones de PET y cartón fue de 0.95 kg/cm^2 , la cual está muy cerca a la mostrada en la tabla 2 (1.2 kg/cm^2), esto indica que los casetones propuestos en esta investigación, presentan un muy buen comportamiento a compresión.

Sin embargo la resistencia a flexión obtenida por los casetones de PET y cartón fue muy inferior con respecto a los de poliestireno expandido (2.5 kg/cm^2), pues esta fue de 1.19 kg/cm^2 . Ahora bien, aunque la resistencia a flexión de los casetones aligerantes de losa es un dato importante, no es relevante, pues en la totalidad de las veces estos van a estar sometidos solo a esfuerzos de compresión, siendo entonces la resistencia a compresión, la característica técnica más importante.

Por otro lado, la densidad que presentan los casetones de PET y cartón es muy elevada, con relación a la presentada por los casetones de icopor, motivo por el cual estos pueden resistir cargas elevadas sin sufrir deformaciones considerables, tal como se muestra en los resultados obtenidos; esto indudablemente es un punto a favor para los casetones propuestos en esta investigación.

Por tanto, como los casetones de botellas PET y cartón presentan una resistencia a compresión muy cercana a los de icopor y una densidad muy superior, se evidencia que estos serían una muy buena alternativa para el aligeramiento de losas de entrepiso.



5.5. COSTOS DE ELABORACION DE CASETON DE PET Y CARTON

Para determinar el costo de 1 m³ de casetón se realizó un Análisis de Precios Unitarios (APU) tal como se mencionó en el ítem 4.5. Para el cual se tomó en cuenta las herramientas utilizadas en la elaboración, así como cada uno de los materiales requeridos y la mano de obra. Tal como lo refleja la siguiente tabla:

Tabla 13. APU casetones de botellas PET y cartón

| ITEM | ELABORACION DE CASETON ALIGERANTE DE LOSA CON BOTELLAS PET Y CARTÓN | | | UNIDAD | m ³ |
|-------------------------------|---|-----------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| EQUIPOS Y HERRAMIENTAS | | | | | |
| | Unidad | Cantidad | Tarifa | Rendimiento | Valor parcial |
| Herramientas menores | Glb | 1 | \$1.200 | 4 | \$300 |
| | | | | Subtotal | \$300 |
| MATERIALES | | | | | |
| | Unidad | Cantidad | Valor unitario | Valor parcial | |
| Botellas PET | m ³ | 1 | \$0 | \$0 | |
| Cartón | m ² | 6 | \$0 | \$0 | |
| Polietileno | m ² | 6 | \$2.333 | \$14.000 | |
| Cinta industrial | ml | 3 | \$918 | \$2.754 | |
| Film plastic | m ² | 6 | \$400 | \$2.400 | |
| | | | | Subtotal | \$19.154 |
| MANO DE OBRA | | | | | |
| | Unidad | Cantidad | Valor Jornal | Rendimiento | Valor parcial |
| Cuadrilla 0x2 | Día | 1 | \$50.000 | 4 | \$12.500 |
| | | | | Subtotal | \$12.500 |
| COSTO DIRECTO | | | | | \$31.954 |

Fuente: Autores



5.6. COMPARACIÓN ECONÓMICA ENTRE LOS CASETONES DE PET Y LOS DE ICOPOR

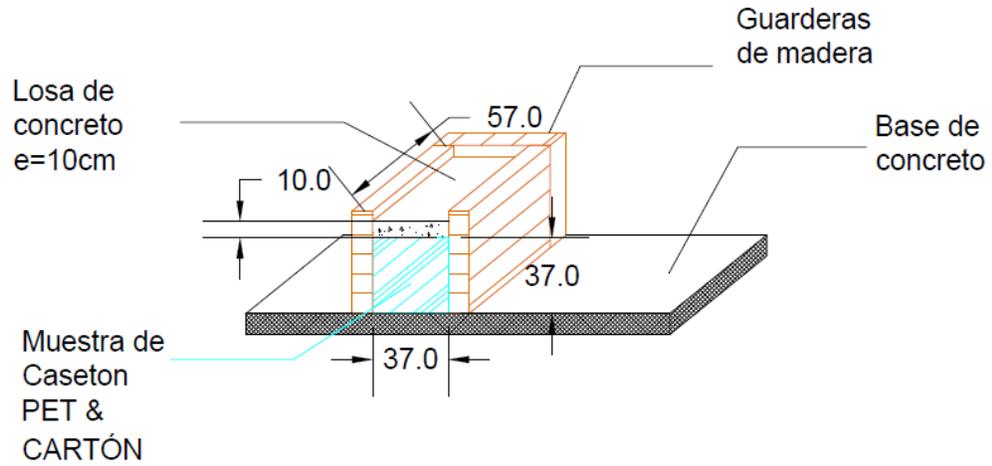
Se comparó el precio de 1 m³ de casetón de botellas PET y cartón con el precio de 1 m³ de casetón de poliestireno expandido, para esto se recurrió a cotizaciones de empresas reconocidas en el sector, como es el caso de la empresa Kangupor. Según el análisis de precios unitarios, 1 m³ de casetón de botellas PET y cartón tiene un valor de \$31.954, mientras que 1 m³ de casetón de icopor tiene un valor de \$120.000. Con base en estos precios, se puede decir que los casetones propuestos en esta investigación son casi un 75% más económicos que los de icopor, una diferencia de precio considerable. Por tanto, se puede decir que los casetones de PET y cartón, presentan una gran ventaja en términos económicos, con respecto a los de icopor.

5.7. PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA LOSA PILOTO

Este proceso se inició con el diseño de la muestra, que poseía una altura de 37 cm, un ancho de 37 cm, con una profundidad de 57 cm (ver Figura 26), estas dos últimas fueron las dimensiones de la losa. Como paso siguiente se procedió a ubicar la muestra sobre el suelo de concreto (Figura 27), después se ubicaron las guarderas de tal manera que quedara confinado el casetón, que solo se permitiera concreto en la parte superior de la misma, justo como lo muestra la Figura 28.



Figura 43. Corte típico del sistema constructivo de la losa piloto.



Fuente: Autores

Figura 44. Instalación de la muestra a ensayar.



Fuente: Autores



Figura 45. Confinamiento con guarderas de madera.



Fuente: Autores

Figura 46. Losa en proceso de fraguado.



Fuente: Autores



5.8. CASETON DE LOSA PILOTO

Después de fundida la losa, se procedió luego de un (1) día a desencofrar, y se le aplicó carga a la losa, con el objetivo de simular las cargas vivas que pueden sufrir los casetones luego de fraguada la losa de concreto. Para simular estas cargas se utilizaron dos bolsas de cemento de 50kg cada una. (Ver figura 47).

Figura 47. Cargas representativas aplicadas después de un día de fraguado



Fuente: Autores

Luego se calculó la carga aplicada al casetón, su densidad y su deformación. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14. Resultados casetón ensayado con losa piloto

| Casetón losa piloto | | | | | | | | | | | |
|---------------------|-----------|----------|------------------------|---------------------------|-----------|-------------------------------|---|----------------------------------|---------------------------|----------------------------|---|
| Ancho (m) | Largo (m) | Alto (m) | Área (m ²) | Volumen (m ³) | Masa (kg) | Densidad (kg/m ³) | Carga aplicada por la losa por unidad de área (ton/m ²) | Carga aplicada por la losa (ton) | Carga viva aplicada (ton) | Carga total aplicada (ton) | Deformación con carga total aplicada (mm) |
| 0,35 | 0,55 | 0,37 | 0,1925 | 0,0712 | 2,602 | 36,5321 | 0,24 | 0,0462 | 0,1 | 0,1462 | 1 |

Fuente: Autores



6. CONCLUSIONES

Con base en los ensayos realizados se concluye que los casetones de botellas PET & CARTÓN funcionan como un sistema eficiente de aligeramiento de losas de entrepiso de concreto, pues los resultados obtenidos fueron los siguientes: Una resistencia a compresión longitudinal y transversal promedio de $0,9545 \text{ kg/cm}^2$ y $0,4249 \text{ kg/cm}^2$ respectivamente; una alta densidad, cuyo promedio fue de 53 Kg/m^3 ; y unas deformaciones muy bajas, entre 2 mm y 6 mm, según estos resultados se observó que los casetones de PET & CARTÓN presentan una resistencia a la compresión parecida a los casetones de icopor convencionales, adicionalmente, la densidad es mucho más elevada, lo que indica que estos serían una gran alternativa como aligerante de losas.

En términos constructivos de los casetones, se concluyó que el sistema utilizado no fue lo suficientemente eficiente para una producción en masa, puesto que son fabricados manualmente, por lo tanto, se recomienda estudiar más a fondo esta parte, y determinar una línea de producción lo suficientemente eficiente para satisfacer una demanda alta del producto. Adicional a esto se presentaron problemas con el estado de las botellas y el cartón, esto dificultó la elaboración y la exactitud de las dimensiones, producto de esta deficiencia se recomienda hacer un análisis del estado de los materiales utilizados, clasificarlos según su estado y determinar que tanto afectan estas en la calidad de la muestra.

Cabe resaltar que la altura de las botellas está determinada por los tamaños predeterminados por las empresas productoras y distribuidoras, lo que hace que la altura del casetón se encuentre limitada por las mismas.

Además, desde un punto de vista de manejabilidad en obra, puede ser muy eficiente por su peso, pero se imposibilita hacer un corte en el casetón, debido a los materiales que lo componen, además es muy susceptible a ser perforada, por los muchos elementos presentes en la construcción de una losa de entrepiso. Desde esta óptica podemos concluir que el sistema planteado tiene una gran desventaja en comparación a su contra parte el casetón de icopor convencional.



**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ALIGERAMIENTO DE LOSAS
DE ENTREPISO DE CONCRETO CON BOTELLAS PET Y CARTÓN**



Por último, se estudió la viabilidad económica, mediante el análisis de precios unitarios se determinó que el costo de elaboración de los casetones de botellas PET & CARTÓN es un 75% más económico que el precio de venta de los casetones de icopor por metro cubico, cabe aclarar que el precio por metro cubico de un casetón de PET & CARTÓN puede variar dependiendo del proceso constructivo, pero aun así por la naturaleza de los materiales utilizados para la fabricación (reciclables), este no llegara a ser tan alto como uno de icopor, lo que lo posiciona como una excelente opción que ayudaría considerablemente en la reducción de los costos en la construcción de estructuras.



7. RECOMENDACIONES Y LIMITACIONES

A continuación, se muestran las limitaciones presentadas en el desarrollo del proyecto y las recomendaciones que permitirán mejorar la ejecución del mismo en investigaciones futuras.

7.1. LIMITACIONES

- Las dimensiones de las muestras estuvieron restringidas por la altura y el diámetro de las botellas ofrecidas por la industria de las bebidas en envases no retornables.
- Se presentaron dificultades al momento de realizar las muestras debido al mal estado de las botellas, ya que algunas presentaban abolladuras y esto dificultaba la elaboración del casetón, afectando también su forma y su resistencia.
- Hubo también inconvenientes con el cartón, pues al ser reciclado generalmente se encontró en mal estado, presentando problemas a la hora de cortarlo, y sobre todo dificultades en el ensamblado del casetón, pero el mayor problema se encontró en la pérdida de la capacidad resistente, por la falta de rigidez del sistema de riostras.
- El tipo de cartón, este no fue clasificado según el tipo de cartón, sino que se fue indiferente a esto, por lo tanto, no se definió que tanto puede afectar esto en la resistencia.

7.2. RECOMENDACIONES

- Plantear un sistema constructivo más eficiente, el cual genere una disminución en el tiempo de fabricación de un casetón y que permita la industrialización de este producto.
- Utilizar botellas en buen estado, para que el casetón presente un mejor comportamiento.
- Utilizar cartón en buen estado, con el fin de brindarle mayor rigidez al casetón, también es importante definir qué tipo de cartón sería el óptimo para este uso.



**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ALIGERAMIENTO DE LOSAS
DE ENTREPISO DE CONCRETO CON BOTELLAS PET Y CARTÓN**



- Encontrar la cantidad optima de material no reciclado (Cinta pegante, Film Plastic y polietileno), en la cual no haya pérdida de eficiencia del mismo.
- Estudiar posibles materiales reciclables con los que las botellas de PET podrían ser llenadas, con el fin de obtener un aumento en la eficiencia de los casetones.
- Proponer un sistema predefinido, basado en el diámetro y altura de las botellas encontradas en el mercado.

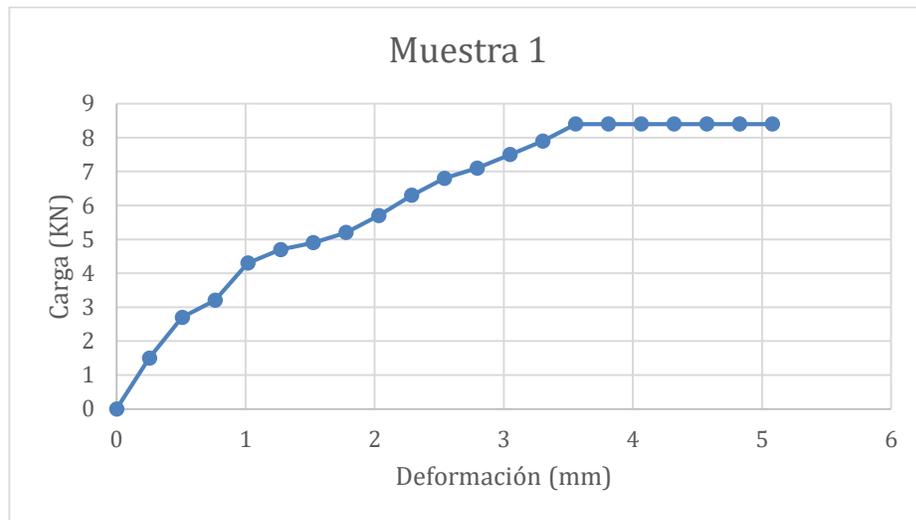


8. ANEXOS

En este apartado se encuentran las gráficas de esfuerzo vs deformación de las muestras ensayadas

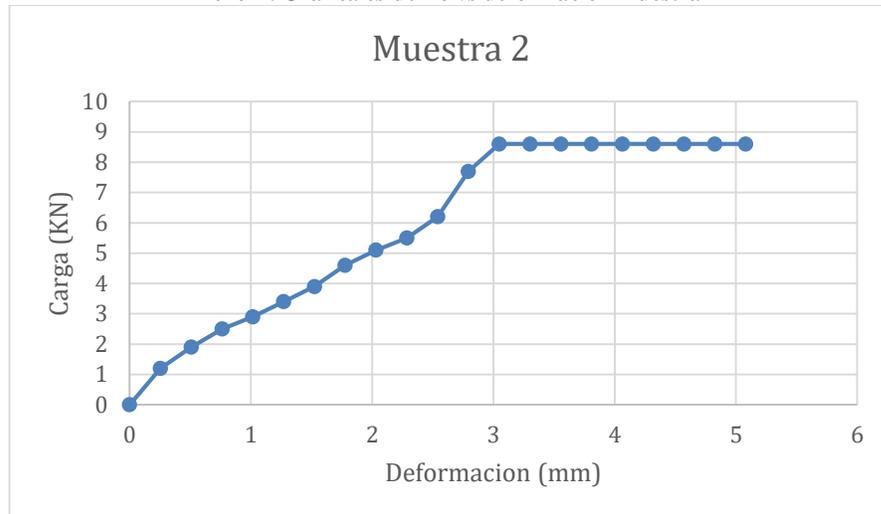
8.1. MUESTRAS ENSAYADAS A COMPRESIÓN LONGITUDINAL

Anexo A. Grafica esfuerzo Vs deformación muestra 1



Fuente: Autores

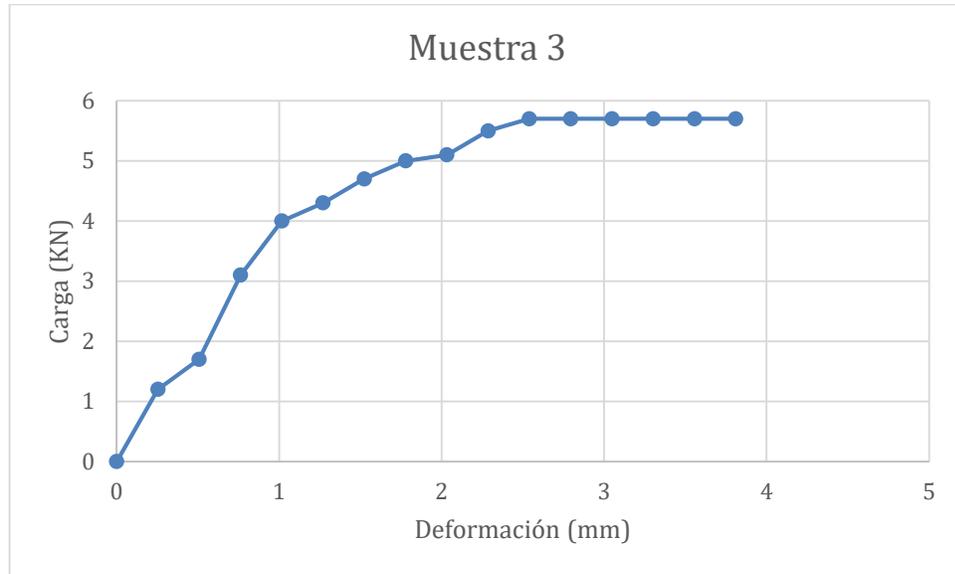
Anexo B. Grafica esfuerzo vs deformación muestra 2



Fuente: Autores

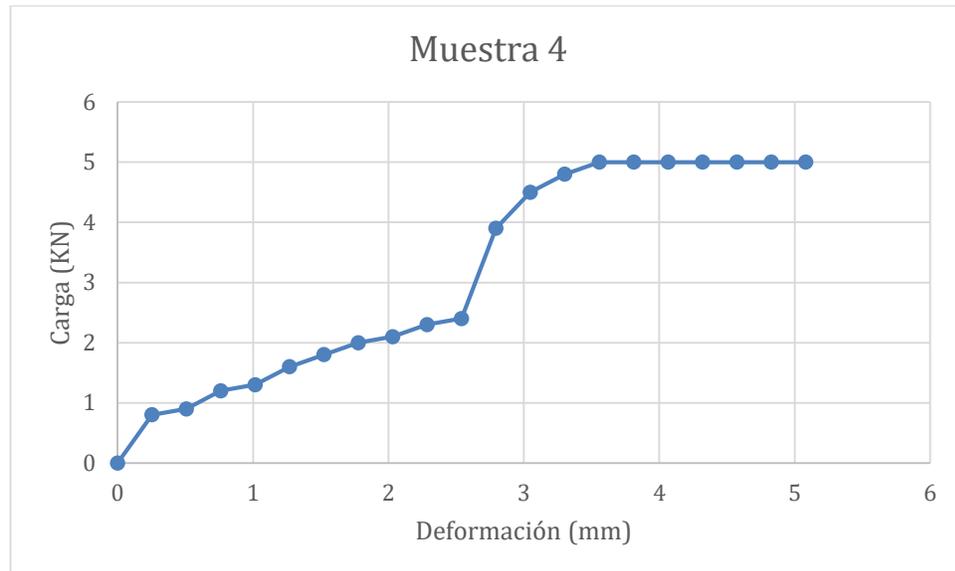


Anexo C. Grafica esfuerzo vs deformación muestra 3



Fuente: Autores

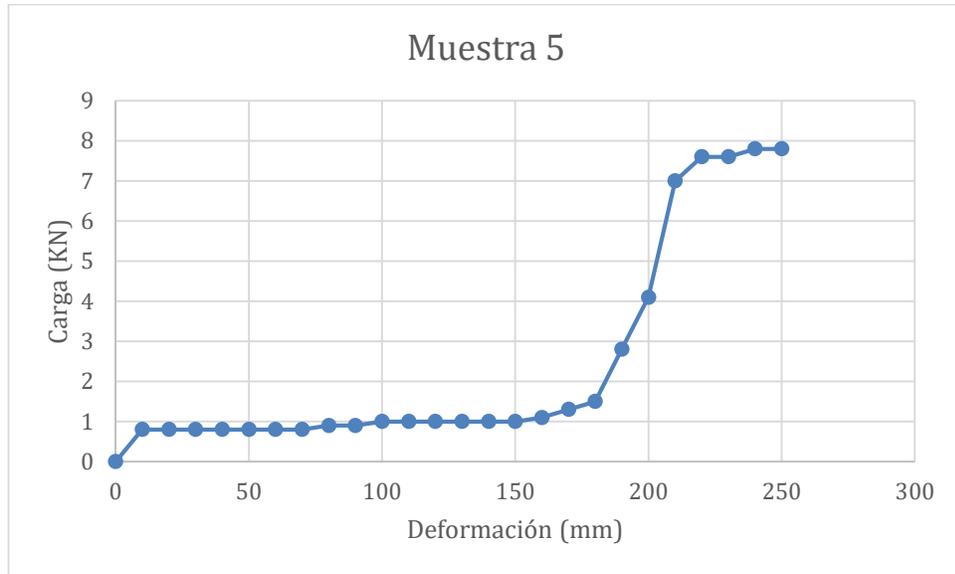
Anexo D. Grafica esfuerzo vs deformación muestra 4



Fuente: Autores

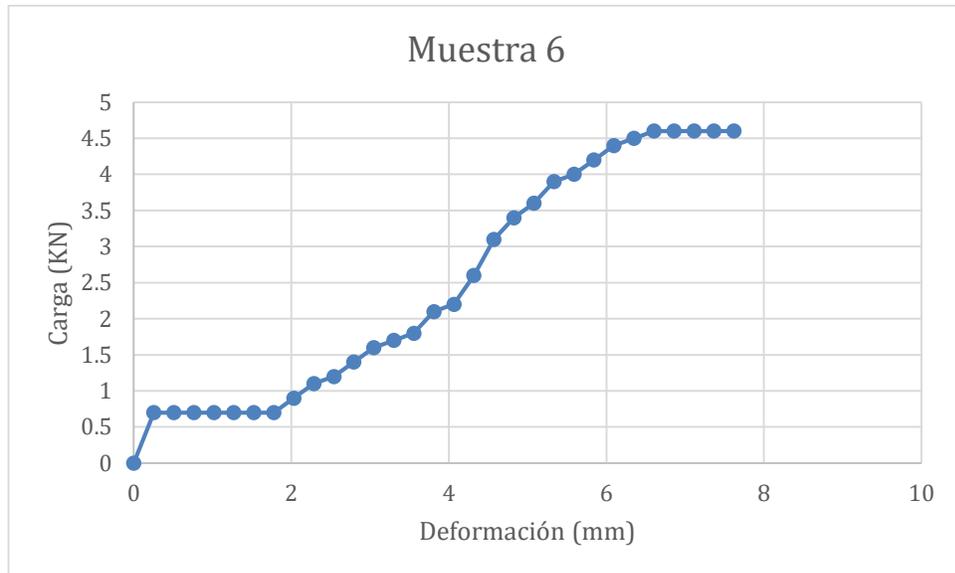


Anexo E. Grafica esfuerzo vs deformación muestra 5



Fuente: Autores

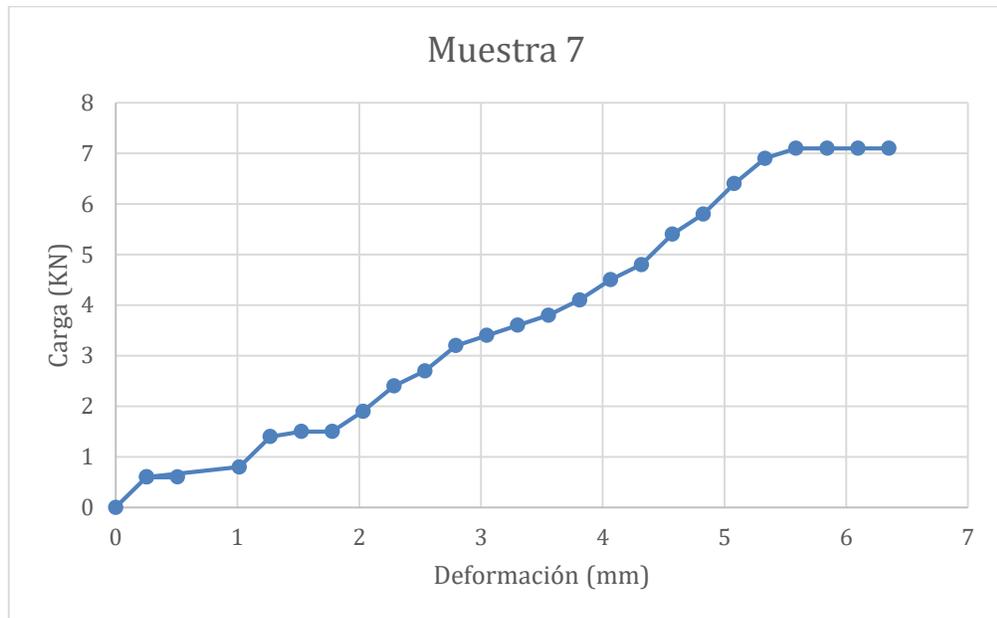
Anexo F. Grafica esfuerzo vs deformación muestra 6



Fuente: Autores

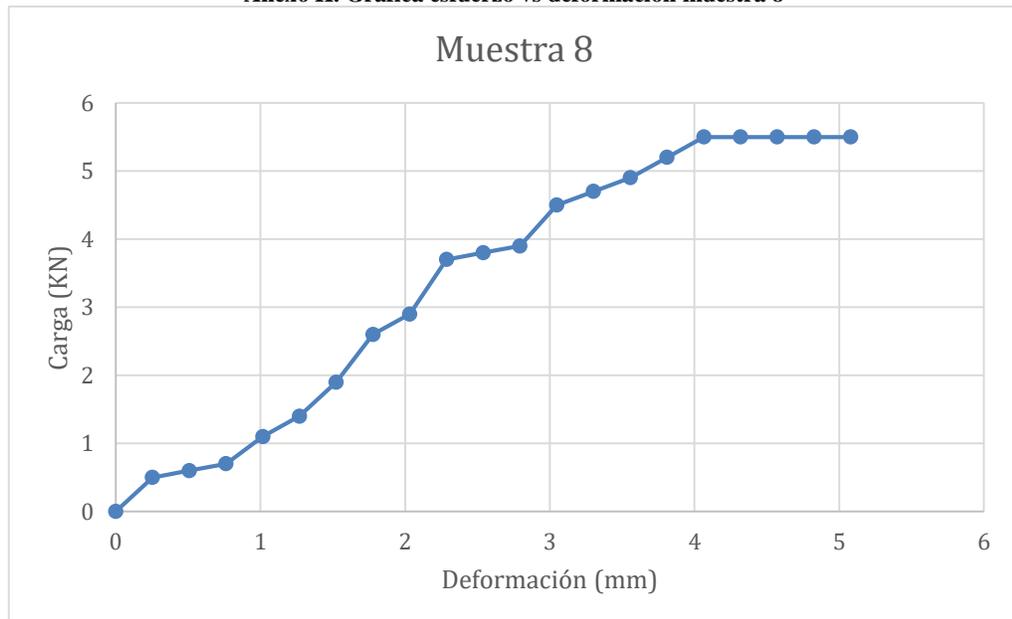


Anexo G. Grafica esfuerzo vs deformación muestra 7



Fuente: Autores

Anexo H. Grafica esfuerzo vs deformación muestra 8

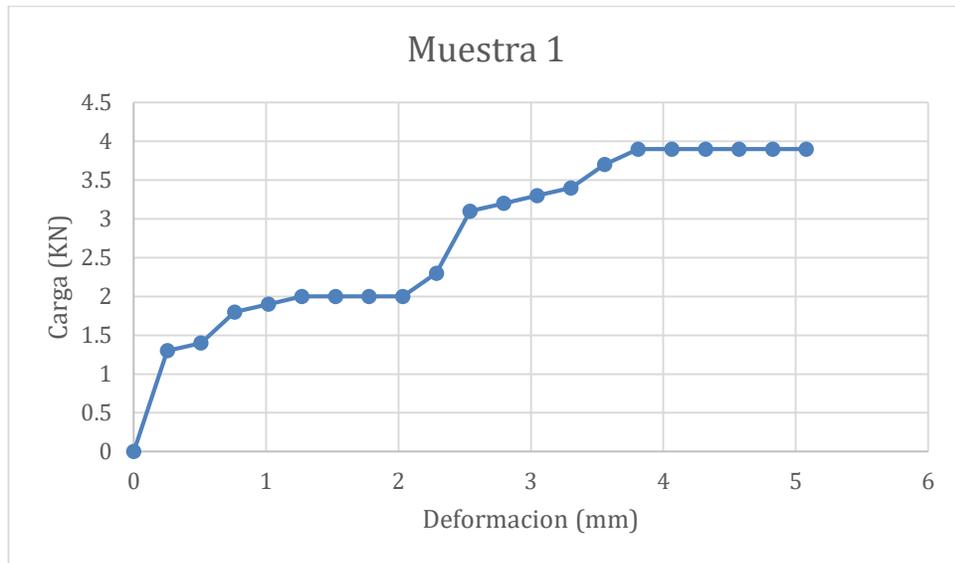


Fuente: Autores



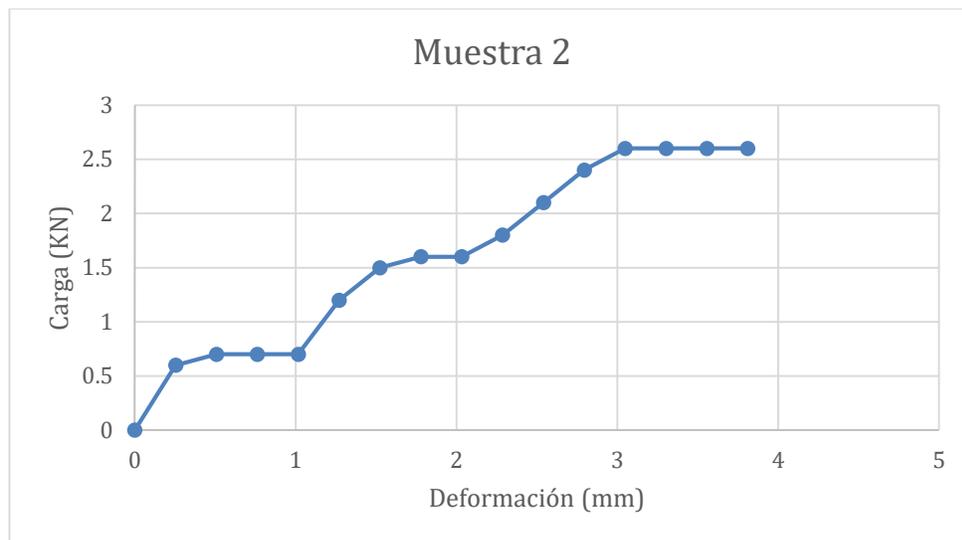
8.2. MUESTRAS ENSAYADAS A COMPRESIÓN TRANSVERSAL

Anexo I. Grafica esfuerzo vs deformación muestra 1



Fuente: Autores

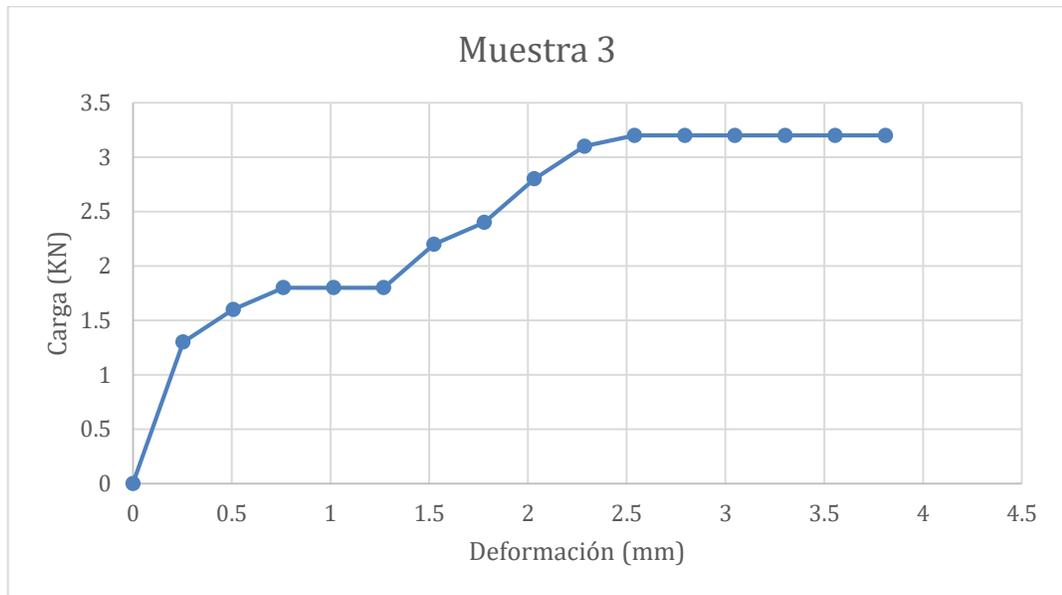
Anexo J. Grafica esfuerzo vs deformación muestra 2



Fuente: Autores

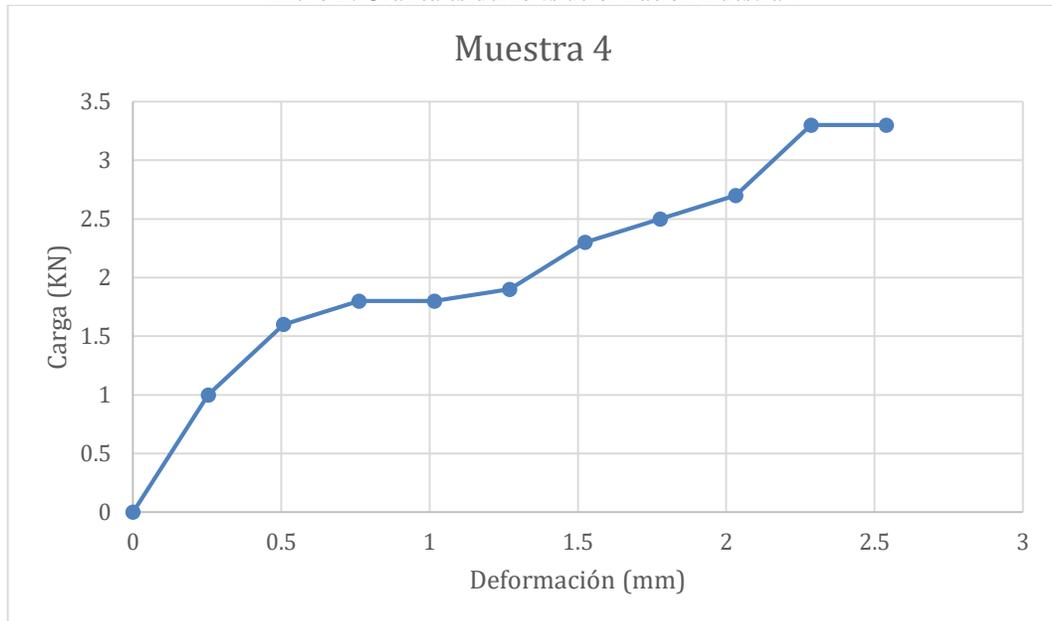


Anexo K. Grafica esfuerzo vs deformación muestra 3



Fuente: Autores

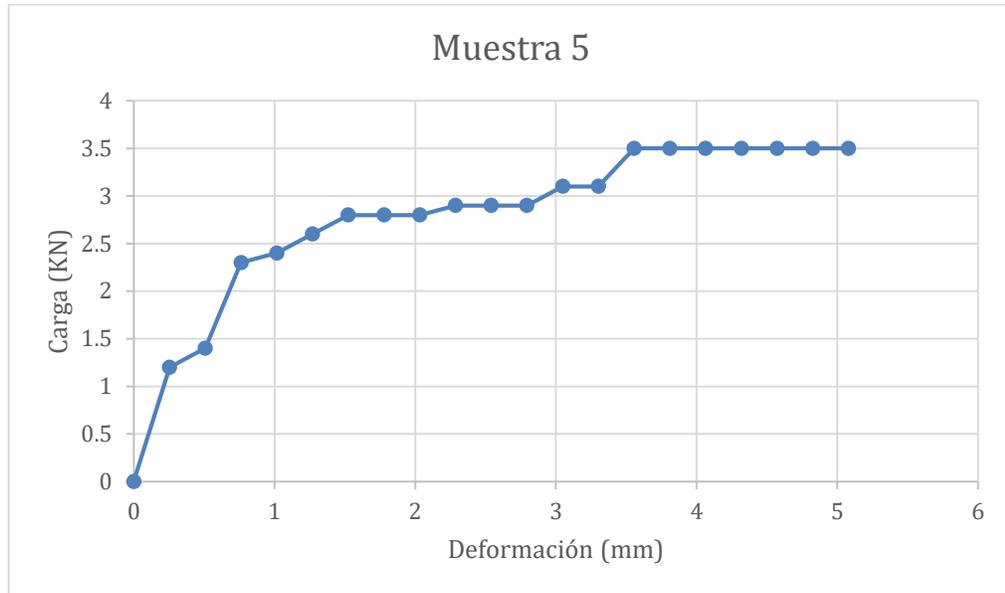
Anexo L. Grafica esfuerzo vs deformación muestra 4



Fuente: Autores

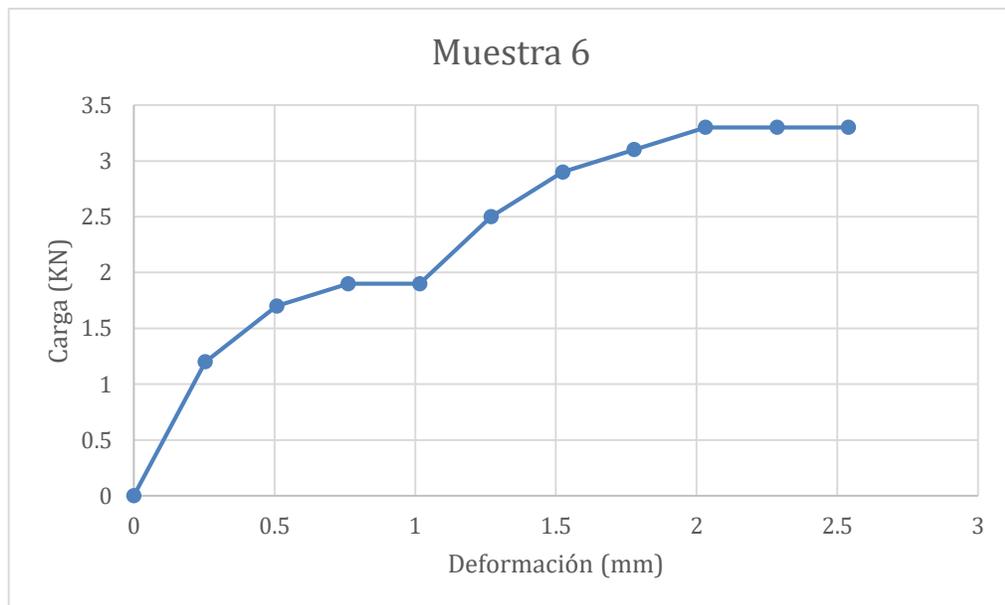


Anexo M. Grafica esfuerzo vs deformación muestra 5



Fuente: Autores

Anexo N. Grafica esfuerzo vs deformación muestra 6



Fuente: Autores



9. BIBLIOGRAFÍA

- (PNUMA), P. d., & (ISWA), I. S. (2015).
- Aguirre Rodríguez, M., & Rodríguez Arango, S. (2016). *Diseño y construcción de un módulo de vivienda con botellas recicladas*. Pereira (Colombia). Obtenido de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/6418/621815R145.pdf;jsessionid=E0F823AAEADD35D3305C0C63F41596D5?sequence=1>
- Arandes, J. M., Bilbao, J., & Lopez Valerio, D. (2004). Reciclado de residuos plasticos. *Revista iberoamericana de polímeros*. Obtenido de <http://www.arpet.org/docs/Reciclado-de-residuos-plasticos-Revista-Iberoamericana-de-Polimeros.pdf>
- Arcos, A. (18 de Mayo de 2015). *Vlex*. Obtenido de <http://vlex.com/vid/aumenta-uso-pet-reciclado-570067374>
- Argüello Rueda, F. A., & Castellanos Salazar, M. L. (2015). *Prototipo de vivienda de bajos recursos con material reciclado (Modelación SAP, caracterización de los materiales, animacion virtual)*. Bogotá (Colombia). Obtenido de <http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2423/1/Prototipo-vivienda-bajos-recursos-con-material-reciclado.pdf>
- Botero, R. (2006). *ENCOFRADOS*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Castro V, L. A., Cerruto A, F. M., Chambi Ch, L., & Perez Q, F. (2011). *Botellas PET en el hormigón ciclópeo de los cimientos corridos para la construcción de viviendas*. La Paz (Bolivia). Obtenido de http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S2078-77312011000100004&script=sci_arttext
- Chon Torvela, J. (2012). *Elaboración y análisis del comportamiento a flexión y a compresión de paneles prefabricados de plástico reciclado reforzado con mallas de acero y mortero*. Guayaquil (Ecuador). Obtenido de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/1190>



- CMPC. (06 de Abril de 2017). *PapelNet*. Obtenido de Papelneta.cl
- Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcción Sismo Resistente. (2012). *REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE, NSR-10*. Bogota, Colombia: Asociacion Colombiana de Ingenieria Simica.
- Construdata. (2012). *Construdata.com*. Obtenido de <http://www.construdata.com/BuscarNew.asp?Palabra=ICOPOR&Filtro=2,2%7CCali>
- Delgado Guerrero, R. (2007). *Plan de gestión integral de residuos solidos*. Pasto (Colombia).
- Esteves, A., Gelardi, D., & Oliva, A. (2004). *Muros de botellas descartables de PET para viviendas con conservación de energía y alta inercia térmica interior*. Mendoza (Argentina). Obtenido de <http://www.um.edu.ar/ojs-new/index.php/RUM/article/view/20>
- Florez, V., Rojas, J., Torres, R., Vallejos, R., Flores, P., & Flores, M. (2014). Elementos constructivos para casas ecológicas. *Revista de aplicaciones de la ingeniería*. Obtenido de http://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Aplicaciones_de_la_Ingenieria/Aplicaciones-de-la-Ingenieria-15-21.pdf
- Gaggino, R. (2003). *Elementos constructivos con PET reciclado*. Cordoba (Argentina). Obtenido de http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_tc/article/view/3546/3397
- Greenpeace. (2004). *EL PAPEL: Cómo reducir el consumo y optimizar el uso y reciclaje del papel*. Madrid (España). Obtenido de <http://www.greenpeace.org/espana/Global/espana/report/other/el-papel.pdf>
- Hanna, A. S. (2005). *Sistema de cimbra para concreto*. Mexico D.C.: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.
- Henry, J. G., & Heinke, G. W. (1999). *Ingenieria ambiental*. Ciudad de México (México): Prentice Hall.



- Hoorweg, D., & Bhada-Tata, P. (2012). *WHAT A WASTE: A Global Review of Solid Waste Management*. Washington, DC (E.U). Obtenido de https://siteresources.worldbank.org/INTURBANDEVELOPMENT/Resources/336387-1334852610766/What_a_Waste2012_Final.pdf
- ICONTEC. (1999). *Norma Técnica Colombiana NTC 2871: Ingeniería civil y arquitectura. Concretos. Metodos de ensayo para determinar el esfuerzo a la flexion del concreto*. Bogota.
- ICONTEC. (2010). *Norma tecnica colombiana NTC 673: Concretos. Ensayo de resistencia a la compresion de espécimenes cilíndricos de concreto*. Bogota.
- industriaia. (2800). *kisiisks*. Obtenido de <http://www.jq.com.ar/imagenes/productos/pet/dtecnicos/dtecnicos.htm>
- INSTRON. (30 de Septiembre de 2016). *Instron*. Obtenido de <http://www.instron.com.ar/es-ar/our-company/library/glossary/c/compressive-strength>
- Jaramillo Botero, E., Muñoz, L., Ossa , A., & Romo, M. (2013). *Comportamiento mecánico del Polietileno Tereftalato (PET) y sus aplicaciones geotécnicas*. Ciudad de Mexico (Mexico). Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-62302014000100020&lng=en&tlng=en
- jq. i. (2015). *industrias jq*. Obtenido de <http://www.jq.com.ar/imagenes/productos/pet/dtecnicos/dtecnicos.htm>
- Ministerio de Ambiente, V. y. (2004). *Guías Ambientales del Sector Plásticos: Principales Procesos Básicos de Transformación de la Industria Plástica y Manejo, Aprovechamiento y Disposición de Residuos Plásticos Pos-consumo*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Ministerio de ambiente, v. y. (2004). *SECTOR PLASTICOS: Principales procesos básicos de transformación de la industria plastica y manejo, aprovechamiento y disposición*



- de residuos plasticos post-consumo*. Bogotá (Colombia). Obtenido de http://www.siame.gov.co/siame/documentos/Guias_Ambientales/
- Nebel, B., & Wright, R. (1999). *Ciencias ambientales, ecología y desarrollo sostenible*. Ciudad de México (México): Prentice Hall.
- Ñurinda Martínez, J. I., & Silva, J. J. (2016). *Diseño y desarrollo experimental de un panel a base de botellas PET, para ser utilizado en construcciones de muros en viviendas*. Managua (Nicaragua). Obtenido de <http://repositorio.unan.edu.ni/2739/>
- Odriozola , V. (1997). *Impactos de la producción de papel*. Buenos Aires (Argentina). Obtenido de <http://www.administracion.usmp.edu.pe/institutoconsumo/wp-content/uploads/2013/08/Impactos-de-la-producci%C3%B3n-de-Papel-GREENPEACE.pdf>
- Pavez V, A. (2012). PABELLÓN ECOARK, TAIWÁN: Arca ecológica. *SustentaBit*. Obtenido de <http://biblioteca.cchc.cl/datafiles/27342-2.pdf>
- Ramírez Luna, D. S. (2011). *Propuesta de un material compuesto con base al PET reciclado con aplicaciones en construcción*. Bucaramanga (Colombia). Obtenido de <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/2169/2/139221.pdf>
- Romero Muñoz, Á. R., & Ahumada Quimbay, N. D. (2014). *Desarrollo auto sostenible de la implementación de la construcción de la escuela “porvenir” con la utilización de material reciclable*. Bogotá (Colombia). Obtenido de <http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1882/1/TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>
- Sánchez Sierra, M. A., & Paredes Quiroga , P. A. (2014). *Estudio de viabilidad técnica de la implementación del polietileno tereftalato como material para estabilización de taludes*. Bogotá (Colombia). Obtenido de <http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1703/1/ESTUDIO%20DE%20VIABILIDAD%20T%C3%89CNICA%20DE%20LA%20IMPLEMENTACI%C3%93>



N%20DEL%20POLIETILENO%20TEREFTALATO%20COMO%20MATERIAL
%20PARA%20ESTABILIZACI%20N%20DE%20TALUD~1.pdf

SENA. (2002). GUIA DE ESTUDIO - LOSAS DE ENTREPISO . ANTIOQUIA,
COLOMBIA.

Tchobanoglous, G., Theissen, h., & Eliassen, R. (1982). *Desechos sólidos*. (A. Cubillos,
Trad.) Mérida, Venezuela.

Tellería, J. L. (2005). *El impacto del hombre sobre el planeta*. Madrid (España):
Complutense.

Uribe, A. W., & Molina, S. A. (2010). *Diseño y desarrollo de una plataforma flotante
adecuada para la construcción de una vivienda rural unifamiliar para población de
bajos recursos para sobrellevar las inundaciones aluviales futuras en las zonas
críticas de la depresión momposina*. Medellín (Colombia). Obtenido de
https://repository.eafit.edu.co/handle/10784/4371#.WR5IDpI1_IU

Valle Mayorga, C. A. (2013). *Utilización de botellas plásticas tipo PET como unidad
estructural para mampostería liviana*. Riobamba (Ecuador). Obtenido de
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2638>