



## Análisis del comportamiento del plástico como alternativa para el diseño de un elemento estructural tipo viga para la construcción de fortificaciones militares en Colombia

Cesar Augusto Mancera Beltran<sup>1</sup> y Federman Agudelo Prieto<sup>2</sup>

### RESUMEN

Las fortificaciones que construye el Ejército demandan la necesidad de tener nuevas alternativas de adquisición de materiales para la construcción de las mismas y estén acordes a los objetivos de desarrollo sostenible, en este trabajo se analizaron propuestas, ensayos y proyectos donde se ha utilizado el plástico reciclado en la elaboración de diferentes estructuras a nivel internacional, regional y nacional, identificando ítems aplicables a nuestro objeto de estudio, describiendo procesos, métodos y resultados. Igualmente, se elaboraron probetas tipo viga determinando la resistencia a la compresión y a la flexión, se compararon los resultados y se propuso un diseño tipo para su implementación en posiciones de tirador doble, finalmente se realizó una comparación de costos recomendando su viabilidad económica frente a la madera y al concreto.

**PALABRAS CLAVE:** Fortificación, flexión, compresión, plástico, sostenible, esfuerzo, deformación, viabilidad.

### ABSTRACT

The fortifications built by the Army demand the need to have new alternatives for the acquisition of materials for their construction and are in accordance with the objectives of sustainable development, in this work proposals, tests and projects where recycled plastic has been used were analyzed in the elaboration of different structures at international, regional and national level, identifying items applicable to our object of study, describing processes, methods and results. Likewise, beam-type specimens were prepared, determining the resistance to compression and bending, the results were compared and a type design was proposed for its implementation in double handle positions, finally a cost comparison was made, recommending its economic viability compared to wood. and to concrete.

**KEYWORDS:** Fortification, bending, compression, plastic, sustainable, stress, deformation, feasibility.

1 Ingeniería civil, Escuela de Ingenieros Militares. Bogotá, Colombia. cesarmancera84@hotmail.com

2 Ingeniería Civil, Escuela de Ingenieros Militares. Bogotá, Colombia. federmanagudelo@hotmail.com

## Introducción

Los cambios en las dinámicas internacionales, regionales y nacionales con respecto a los nuevos materiales de construcción y el aprovechamiento del plástico reciclado han llevado a los Estados y a las Fuerzas Militares a innovar y presentar propuestas viables, para nuestro caso el manual de fortificaciones del Ejército de Colombia no está actualizado en este contexto y se requiere de la investigación sobre nuevos materiales de construcción en función del aprovechamiento del plástico reciclado, dentro de los objetivos general y específicos se plantea la determinación de la resistencia a la compresión y a la flexión de un elemento estructural tipo viga elaborado a base de plástico reciclado así como la comparación de costos frente a elementos usados sistemáticamente como son la madera y el concreto, esta investigación se desarrolló dentro de un enfoque cuantitativo de tipo descriptivo deductivo donde se elaboraron las probetas y se realizaron las pruebas de las mismas en las ciudades de Bogotá e Ibagué, la población objeto de esta investigación fue de carácter bibliográfico en su primera parte, con análisis sobre documentos internacionales, regionales y nacionales; en la segunda parte la población fueron los resultados obtenidos de los ensayos de las probetas elaboradas tanto de concreto como de plástico reciclado.

## Desarrollo teórico

Para la utilización de los plásticos reciclados es importante tener en cuenta que en la industria de los plásticos encontramos diferentes tipos, para determinar la elección de acuerdo a las necesidades de su segundo uso, según el manual de plásticos [1] se clasifican en: (PE) polietileno, (PP) polipropileno, (PS) poliestireno, (PVC) cloruro de polivinilo, (ABS) acrílico nitrilo butadieno estireno, (SAN) estireno Acrilonitrilo, (PMMA) Polimetilmetacrilato, (PC) policarbonato, (PA) nylon, (PET) polietileno tereftalato, (PBT) poliéster, (POM) acetal, (PPO,PPE) Oxido polifenileno Modificado, (PSO, PEI, PES) Polisulfone, Polieterimide y poliethersulfone, (TPU) Poliuretano Termoplástico, Termofijos y elastómeros.

De acuerdo al estudio realizado por la revista GQSP en el 2018 [2], el uso parcial de resinas plásticas en Colombia fue de 1.280.000 toneladas. Seccionando los polímeros más usados son, propileno, polietileno y PVC, el balance de importaciones y exportaciones de cada uno de estos se muestra a continuación:



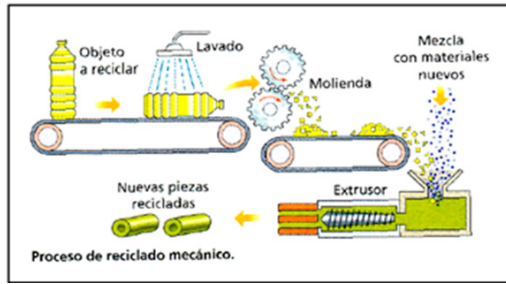
**Figura 1.** Balance de importaciones y exportaciones polímeros.  
Fuente: autores del proyecto con base información GQSP [2].

El problema ambiental con la producción de resinas plásticas no se origina en su elaboración, puesto que el impacto ocasionado es relativamente bajo, radica en el mal manejo que se le da en cuanto a su disposición final, no obstante, el efecto negativo ambiental resultante de los desechos plásticos tienen que ver con manejo final de los diferentes tipos de estos residuos aunado a un junto con la ascendente crecimiento exponencial en su fabricación [3]. Lo anterior indica que no es posible realizar una alta producción de estos materiales plásticos sin que esto afecte el medio ambiente obligando a plantear planes de mitigación y recolección de desechos plásticos.

Para realizar el reciclaje del plástico se debe de tener en cuenta los tipos y características de los mismos, de acuerdo a su finalidad de empleo, después se procede a realizar la selección de los plásticos, una vez se obtenga el reciclaje de los plásticos, son separados de acuerdo al color y tipo, ya sea PET, PEAD, PVC, PEBD, PP, PS entre otros [4]

El proceso de reciclaje mecánico se basa en cortar los elementos de plástico reduciéndolo a trozos diminutos empleando máquinas trituradoras, una vez se obtenga el triturado se logra una granulometría homogeneizada el material es sometido a distintas facetas para obtener diversas formas de elementos plásticos. De acuerdo al artículo manejo de los materiales plásticos reciclados y mejoramiento de sus propiedades [5], las etapas elementales para el reciclaje mecánico son: Limpieza (Los materiales plásticos reciclados son examinados de manera que no tengan tintas de impresión u objetos diferentes al plástico), clasificación (Los plásticos son separados de acuerdo a su tipo y color, una vez separados por grupos se marcan y se almacenan para su procesamiento final), lavado (El material plástico reciclado se ubican en tanques grandes donde se les aplica detergente para su lavado y eliminación de residuos que se puedan retirar por medio de esta técnica), trituración (Generalmente se utilizan máquinas con cuchillas giratorias donde el plástico es reducido a pequeños trozos y así obtener una densidad superior del material), aglutinado (Para este proceso se toman las virtudes del material plástico, se coloca en una máquina con cuchillas giratorias donde el material se revuelve entre sí generando un roce aumentando su temperatura, una vez se logre su calor máximo se agrega agua, esta se evapora haciendo que se formen diminutos bultos irregulares fácilmente de manejar, sin embargo, se realiza el proceso de peletizado), peletizado (El material plástico es granulado por medio de una extrusora donde se aplica presión y calor, seguidamente se funde en una cámara de acuerdo al diseño de la misma, el material fundido es llevado hasta una boquilla dándole la forma cilíndrica, el nuevo material se enfría en un tanque).

Habiendo desarrollado los procesos asociados al plástico reciclado pertinentes a nuestro objeto de estudio pasamos a enlazar su relación con las fortificaciones militares precisando que estas son posicionamientos de defensa dispuestas de manera organizada, con funciones planeadas de protección, este tipo de posiciones cumplen con el objetivo de proteger al combatiente y abrir fuego al enemigo en caso de un ataque; para llevar a cabo la construcción de las fortificaciones se debe de cumplir con la norma establecida dentro del ejército que permiten el buen funcionamiento tanto de la estructura como del posicionamiento. Las fortificaciones deben cumplir con los siguientes objetivos: a) Brindar protección a las propias tropas del fuego directo e indirecto. b) Permitir abrir un



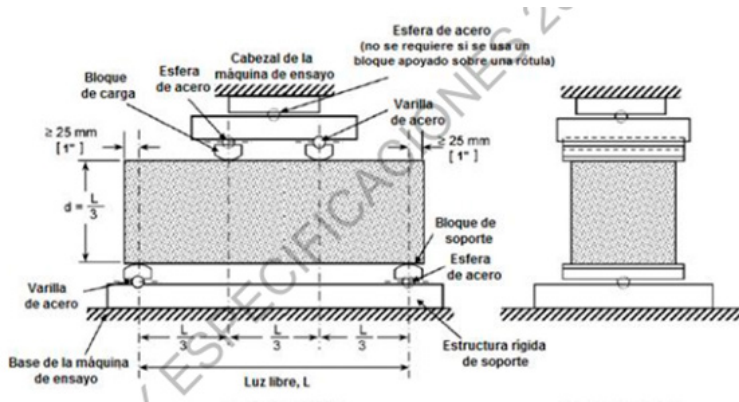
**Figura 2.** Reciclaje mecánico.  
Fuente: Wordpress proyecto recicla 3D [6].

máximo volumen de fuego. c) Neutralizar el ataque enemigo. d) Fortalecer una posición de defensa. e) Permitir la observación y los campos de tiro. f) Disminuir la probabilidad de bajas propias [7].

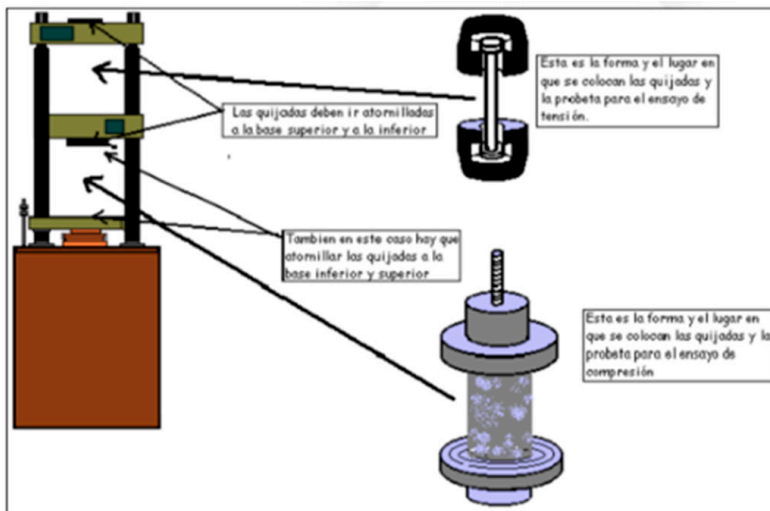
Aunado a lo anterior es importante señalar como los elementos estructurales en este caso las vigas son elementos capaces de soportar cargas transversales al eje longitudinal, originan esfuerzos de flexión y cortante. Estas cargas pueden estar distribuidas uniformemente o de forma puntual, en las vigas estructurales se presentan dos esfuerzos, a flexión cortante (V) y momento flexión (M), la fuerza cortante es la resultante de las tensiones paralelas a la sección transversal de una estructura, esta tiende a cizallar una sección con respecto a otra, en cuanto al momento flexión como su nombre lo indica flexiona el elemento es decir lo dobla [8].



**Figura 3.** Posición para tirador doble.  
Fuente: Manual de Fortificaciones y Obstáculos EJC 3-115-1 del 2010 [7].



**Figura 4.** Diagrama del ensayo a flexión del concreto.  
Fuente: Normas y especificaciones INVIAS [9].



**Figura 5.** Colocación de las piezas para ensayo de tensión y compresión.  
Fuente: Universidad distrital Francisco José de Caldas [10].

Los ensayos de tensión y ensayo de compresión se usan a la hora de hablar de acciones en las cuales un cilindro preparado es sometido a una carga uniaxial gradualmente creciente (estática) hasta que ocurre la falla, en un ensayo de tensión simple, la operación se realiza sujetando los extremos opuestos de la pieza y separándolos, en un ensayo de compresión, se somete un cilindro o pieza de material a una carga en los extremos que produce una acción aplastante, en un ensayo de tensión, la pieza se alarga en una dirección paralela a la carga aplicada; en un ensayo de compresión, la pieza se acorta, dentro de los límites de lo práctico, la resultante de la carga se hace coincidiendo con el eje longitudinal de la probeta, por lo general las piezas son cilíndricas o prismáticas en su forma y de sección transversal constante a lo largo del tramo dentro del cual se toman las mediciones, las piezas en compresión quedan limitadas a una longitud tal que el pandeo debido a la acción columnar no constituya un factor [10].

## Trabajo de campo

La revisión bibliográfica nos permitió identificar que materiales y que elementos fueron los más utilizados, así como los resultados más importantes, destacando probetas elaboradas con hormigón y PET en diferentes concentraciones donde para la flexión el patrón de referencia fue de 4,83 MPa, esta tuvo variaciones importantes, al 5% resistió 4, pero al 20% solo fue de 3,60, con respecto a la compresión la referencia fue de 26,1 MPa, el comportamiento al 5% fue de 23,4 MPa y al 20% del 21,7 MPa; así mismo realizando un análisis sobre la implementación de ladrillos Brickarp y los utilizados por las empresas Conceptos plásticos, ficidad y casas de plástico, determino las siguientes características: resistencia a la tracción, 1892,3 kg/cm<sup>2</sup>, resistencia a la compresión, 2039,5 kg/cm<sup>2</sup>, temperaturas máximas de trabajo entre 50 y 75 grados centígrados, temperatura mínima de trabajo -20 C, módulo elástico 1300 MPa, densidad 0,98 gr/cm<sup>3</sup>; en este mismo sentido la empresa Mapleco S.A.S. mediante la realización de ensayos físicos y mecánicos sobre tabletas de madera plástica de 20 cm x 10 cm x 2,5 cm, verifíco densidad, absorción, flexo-tracción y envejecimiento, para el módulo de rotura se utilizó la norma INV 414-07 la cual se emplea para vigas de concreto, como resultado se obtuvo, tableta 1 (9,41 Mpa), tableta 2 (16,62 Mpa), tableta 3 (7,64 Mpa), tableta 4 (13,3 Mpa), tableta 5 (12,10 Mpa).

Dentro de las actividades previas a la elaboración de nuestras probetas, se procedió a realizar la selección del material plástico para el diseño del elemento estructural tipo viga, se seleccionó el PEAD (polietileno de alta densidad) cuya clasificación está dentro de los termoplásticos que son fácilmente reciclables, teniendo en cuenta que este conjunto de plásticos son los que más se emplean en el mercado debido a su bajo costo, además de poseer características y propiedades como facilidad de moldeo sin perder su resistencia química, el polietileno no se elonga ni se corroe por ácidos o por el efecto invernadero, tiene mayor filtración del agua y no genera hongos ni bacterias. En la siguiente ilustración se muestra el polietileno reciclado triturado donde por cada probeta se utilizaron 09 Kilogramos.



**Figura 6.** Polietileno (PEAD) reciclado 09 kilogramos por probeta.  
Fuente: autores del proyecto.



**Figura 7.** Zona y proceso de alimentación.  
Fuente: autores del proyecto.

El plástico empleado fue termoplástico, el cual paso por una trituradora donde fue cortado en partículas muy pequeñas, luego paso por un proceso de transformación, en este caso la técnica usada fue por extrusión [11], consistió en fundir la resina por fricción a altas temperaturas, la mezcla pasa por un dado que le da forma al material y finalmente se hace el proceso de enfriado. La extrusora cuenta con tres secciones, zona de alimentación, zona de transición y zona de dosificado, estas permiten que el material se funda.



**Figura 8.** Zona de salida y probetas elaboradas.  
Fuente: autores del proyecto.

Para los ensayos a flexión y compresión se elaboraron 08 probetas, de las cuales 05 fueron de sección rectangular, donde la probeta 01 corresponde al material en concreto, igualmente se elaboraron 03 probetas cilíndricas, de las cuales el 01 fue en concreto, se procedió a realizarles los ensayos de laboratorio. Se efectuó el ensayo de resistencia a la compresión en una máquina universal de compresión, de acuerdo con la norma INV-E-403 e INV E-414.

**Tabla 1.** Resultados consolidados compresión.

Probetas Compresión	Resistencia	Módulo de elasticidad	Carga de rotura
Concreto	270,6 Kg/cm <sup>2</sup>	306680 Kg/cm <sup>2</sup>	490 KN
Plástico 1	66,3 Kg/cm <sup>2</sup>	17, 42 Kg/cm <sup>2</sup>	116 KN
Plástico 2	66,5 Kg/cm <sup>2</sup>	20,47 Kg/cm <sup>2</sup>	116 KN

Fuente: autores del proyecto.

**Tabla 2.** Resultados consolidados flexión.

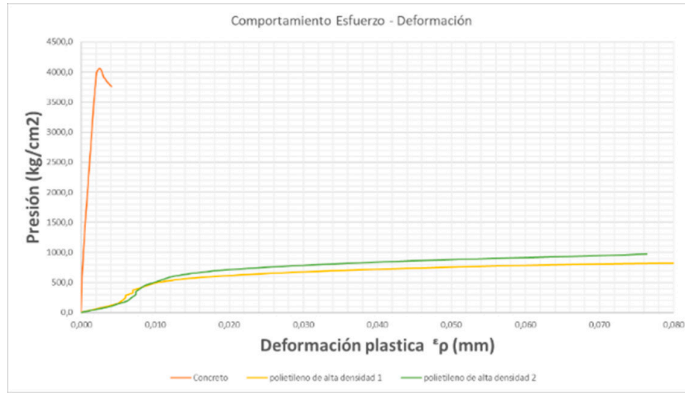
Probetas flexión	Resistencia	Módulo de rotura	Carga máxima
Concreto	285,2 Kg/cm <sup>2</sup>	55,29 Kg/cm <sup>2</sup>	32,5 KN
Plástico 1	281,2 Kg/cm <sup>2</sup>	392,1 Kg/cm <sup>2</sup>	196,2 KN
Plástico 2	282,2 Kg/cm <sup>2</sup>	391,7 Kg/cm <sup>2</sup>	196 KN
Plástico 3	283,2 Kg/cm <sup>2</sup>	391,5 Kg/cm <sup>2</sup>	195,9 KN
Plástico 4	284,2 Kg/cm <sup>2</sup>	390,8 Kg/cm <sup>2</sup>	195,6 KN

Fuente: autores del proyecto.

## Discusión de resultados

El comportamiento de los cilindros y su respuesta al incremento de las cargas, en cuanto a su deformación, el cilindro de concreto presenta una deformación elástica de 0.003 mm antes de iniciar el proceso plástico, por lo cual no se le suministró más carga, pues, presentaba falla estructural; la primera probeta cilíndrica en plástico presenta una deformación elástica de 0.076 mm, aunque con una carga mucho menor que la suministrada al cilindro de concreto, sin embargo, se mantiene dentro del rango elástico, aún con incrementos de carga; la segunda probeta cilíndrica en plástico presenta una deformación elástica de 0.08 mm, aunque con una carga mucho menor que la suministrada al cilindro de concreto, pero un poco mayor que la del primer cilindro en plástico, sin embargo, se mantiene dentro del rango elástico, aún con incrementos de carga. Los cilindros fabricados en plástico presentaron una recuperación total de su integridad al terminar las pruebas de carga, más no así el cilindro de concreto, el cual fallo.

Las probetas plásticas soportan mayores esfuerzos sin presentar punto de rotura, siendo un resultado importante teniendo en cuenta la función que van a cumplir dentro de nuestro objeto de estudio en los techos de las fortificaciones tipo doble tirador.



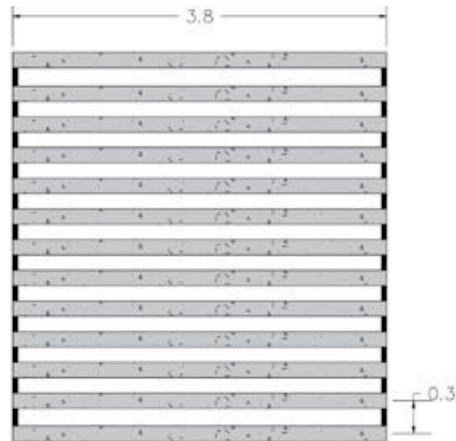
**Figura 9.** Gráfica esfuerzo deformación probetas en concreto y plástico.  
Fuente: autores del proyecto.



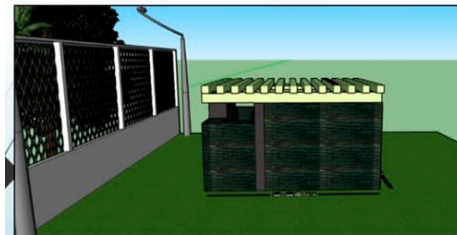
**Figura 10.** Gráfica esfuerzo-deformación probetas concreto y plástico.  
Fuente: autores del proyecto.

Las muestras de PEAD en los cilindros dos y tres obtuvieron respectivamente 950,6 y 972,2 libras por pulgada cuadrada de resistencia a la compresión sin haber presentado ninguna falla por rotura, pues el asentamiento se estabilizó en el cilindro 2 en 6,68 mm de deformación vertical y 5,74 mm de deformación horizontal y en el cilindro 3 en 5,95 mm de deformación vertical y 1,94 mm de deformación horizontal.

De acuerdo al diseño de la viga se obtuvo una deflexión máxima para carga viva más carga muerta de 2.5 cm, para carga muerta la deflexión máxima es de 1.35 cm, de acuerdo con estos resultados la deflexión entre la carga viva y muerta supera lo recomendado por el título G para deflexiones máximas provisionales donde este valor debe de ser 2.37 cm; sin embargo, al ser una estructura que no tiene un uso de carga viva permanente a lo largo de su ciclo de vida cumple con los parámetros de diseño, por ello la importancia de que la carga muerta no supere los 110 kg/m<sup>2</sup>.



**Figura 11.** Distribución vigas en el techo de la fortificación.  
Fuente: autores del proyecto.



**Figura 12.** Render posición tirador doble.  
Fuente: autores del proyecto.

## Conclusiones

La probeta elaborada en concreto, fue 70% mas densa que las probetas de plástico, toda vez que la densidad fue de 2,27 gr/cm<sup>3</sup> con relación a los 0,77 gr/cm<sup>3</sup> en promedio de las probetas de plástico, los módulos de elasticidad obtenidos por las probetas de plástico correspondieron al 0,006% con respecto a la probeta de concreto, pero el módulo de rotura de las probetas de plástico con respecto al concreto fue superior en un 700%.

La resistencia a la compresión de la probeta en concreto fue de 270,6 Kg/cm<sup>2</sup>, siendo superior en un 76,3 % con respecto a las 02 probetas cilíndricas en plástico que fue en promedio de 66,4 Kg/cm<sup>2</sup> ante una carga máxima promedio de 116 KN, si bien las probetas no alcanzaron resistencias superiores a la del concreto, su deformación fue mayor pero no alcanzaron punto de rotura.

En cuanto a la resistencia a la flexión, las probetas elaboradas a base de plástico reciclado arrojaron una carga máxima promedio de 195,9 KN, presentaron deformación, pero no tuvieron punto de rotura, lo cual, aunado al resultado de deflexión obtenido para carga muerta que fue de 1,35 cm, nos permite afirmar que, el material podría usarse en la construcción de elementos estructurales tipo viga para fortificaciones si las cargas muertas a las que se someten no superan los 110Kg/m<sup>2</sup>.

Los resultados de resistencia a la compresión de la probeta de concreto con respecto a las probetas de plástico fue superior en un 77% (P. concreto 490 KN, P. Plástico 116 KN), con la característica que las probetas de plástico no presentaron punto de rotura y retornaron a su forma original, con este resultado recomendamos la utilización del material para la elaboración de elementos estructurales tipo viga para la construcción de fortificaciones, porque esta en capacidad de soportar las cargas de los techos de las mismas, respetando una separación máxima de 30 cm.

En comparación con la probeta en concreto el comportamiento de resistencia a la flexión de las probetas de plástico fue superior en un 600%, ya que el concreto a los 32,5 KN sufrió falla en el tercio C, mientras que las probetas en plástico soportaron 195,9 KN y solo se deformaron, de acuerdo a lo anterior un elemento estructural tipo viga elaborado con el material plástico tiene un mejor comportamiento a la flexión ante las cargas que puedan ser ejercidas por las cubiertas de las fortificaciones ya que estas no están expuestas a cargas vivas.

Los costos del metro lineal del elemento estructural tipo viga elaborado con plástico sería aproximadamente de 40.000 pesos, el de la madera 15.000 y el de el elaborado en concreto sería aproximadamente de 29.000 pesos, a pesar que el costo inicial de los elementos estructurales tipo viga elaborados con plástico reciclado es mayor con respecto al concreto y la madera, son más viables económicamente por su durabilidad, optimización de tiempo en el proceso de construcción de las fortificaciones y el ahorro en costos asociados al transporte, teniendo en cuenta la relación peso y volumen a movilizar, debido a la ubicación lejana y de difícil acceso de la mayoría de las bases y batallones a nivel nacional.

## Referencias

- [1] Manual de plásticos para diseñadores, 1a Ed, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México 2011, pp.16-165.
- [2] C.L. Camargo Gómez, J Aguirre Carvajal, "Diagnóstico de requisitos y brechas de calidad y sostenibilidad", Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial - ONUDI, Colombia, 2020.
- [3] L.N. España Castiblanco, C.C. Rojas Gutiérrez, "Indicadores ambientales en la planeación estratégica de las empresas del sector plásticos", Facultad de ciencias económicas. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá. 2017.
- [4] C. Veloso, (2020, Mayo 31). "Mi mundo sustentable" [En línea]. Recuperado de: <https://mimundosustentable.com/como-hacer-ladrillos-de-plastico-reciclado/>
- [5] J.L. Rubiano Fernández, M.A. Pérez Silva, O.A. Barrera Valero, W. Orozco, F. Quesada, M.A. Diaz, L.A. Gavi-ria, "Manejo de los materiales plásticos reciclados y mejoramiento de sus propiedades". Universidad Antonio Nariño, Vol.1 No 1.p.p 9, ene-Jun de 2011.
- [6] Proyecto recicla 3D (Plabs 3D) Wordpress. Recuperado de: <https://recicla3dplabs.files.wordpress.com/2014/10/plastico8.png>.
- [7] Ejército de Colombia (2010). "Manual de Fortificaciones y obstáculos", EJC 3-115-1 Segunda edición. Restringido. Bogotá 2010 pp 197 – 202.
- [8] F. Diaz del Castillo Rodríguez, "Análisis básico de vigas y estructuras utilizando Statik Tugo", Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. 2021.
- [9] Normas y especificaciones técnicas INVIAS. Sección 400. Resistencia a la flexión del concreto usando una viga simplemente apoyada y cargada en los tercios de la luz libre. 2012
- [10] N.G. Muñoz, "Ensayo de tensión y compresión". Universidad distrital Francisco José de Caldas. Bogotá. 2017.
- [11] Escuela Colombiana de Ingeniería " Plásticos protocolo curso de procesos de manufactura" Facultad ingeniería industrial. Bogotá Colombia. Edición 2007-2.