

# Evaluación cuantitativa y cualitativa de la viabilidad del uso de materiales alternativos en fortificaciones militares

Johanna Carolina Ruiz<sup>1</sup>

Diego Andrés Lozano-Osorio<sup>2</sup>

Kevin Quintero-Álvarez<sup>3</sup>

Brayan Torres-Tovar<sup>4</sup>

Jeffrey Barreto-Casasbuenas<sup>5</sup>

## Resumen

Las fortificaciones militares son una forma de proveer protección a miembros del Ejército Nacional de Colombia. Éstas tienen establecidos procesos constructivos con sacos terreros, fabricados en rafia de polipropileno y llenados con material granular. Sin embargo, los fuertes se van degradando por acción de rayos ultravioleta, viento y humedad, lo cual causa ruptura en sus fibras y deformación de la fortificación por pérdida de agregados. Por lo tanto, se propone un primer acercamiento a la viabilidad del uso de materiales alternativos como el caucho, para construir fortificaciones militares, a partir de un análisis cualitativo y cuantitativo. El fin es contribuir al impacto ambiental con la reutilización de llantas desechadas. Para ello, se calcula energía cinética en dos tipos de proyectiles, se compara propiedades de materiales usados en fuertes militares versus materiales alternativos y propiedades de materiales como acero, concreto, agregados, caucho y madera, en Colombia y Chile. Se concluye que las llantas permiten aumentar la vida útil de la fortificación; pueden contener eficazmente el material granular y, la adición de materiales granulares aporta a la disipación de energía de proyectiles que impactan en ellos. Se recomienda construir

---

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova”, Bogotá, Colombia

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería, Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova”, Bogotá, Colombia.

<sup>3</sup>Facultad de Ingeniería, Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova”, Bogotá, Colombia.

<sup>4</sup>Facultad de Ingeniería, Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova”, Bogotá, Colombia.

<sup>5</sup>Facultad de Ingeniería, Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova”, Bogotá, Colombia.

modelos escalados de fuertes para realizar pruebas balísticas que reafirmen la viabilidad teórica analizada.

*Palabras clave:* fortificaciones militares; impacto ambiental; materiales alternativos; propiedades físicas; propiedades mecánicas.

## Quantitative and qualitative evaluation of the feasibility of using alternative materials in military fortifications

### Abstract

Military fortifications are a way of providing protection to members of the Colombian National Army. These have established construction processes with sandbags, made of polypropylene raffia and filled with granular material. However, the forts are degraded by the action of ultraviolet rays, wind, and humidity, which causes a rupture in their fibers and deformation of the fortification due to the loss of aggregates. Therefore, a first approach to the feasibility of using alternative materials such as rubber to build military fortifications is proposed, based on qualitative and quantitative analysis. The purpose is to contribute to the environmental impact of the reuse of discarded tires. For this, kinetic energy is calculated in two types of projectiles, properties of materials used in military forts are compared versus alternative materials and properties of materials such as steel, concrete, aggregates, rubber, and wood, in Colombia and Chile. It is concluded that the tires allow increasing the useful life of the fortification; they can effectively contain granular material and, the addition of granular materials contributes to the dissipation of energy from projectiles that hit them. It is recommended to build scaled models of forts to perform ballistic tests that reaffirm the theoretical feasibility analyzed.

*Keywords:* military fortifications; environmental impact; alternative materials; physical properties; mechanical properties.

# Avaliação quantitativa e qualitativa da viabilidade do uso de materiais alternativos em fortificações militares

## Resumo

As fortificações militares são uma forma de proteger os membros do Exército Nacional da Colômbia. Eles estabeleceram processos de construção com sacos de areia, feitos de rafia de polipropileno e preenchidos com material granular. Porém, os fortes são degradados pela ação dos raios ultravioleta, do vento e da umidade, o que provoca a ruptura de suas fibras e deformação da fortificação devido à perda de agregados. Portanto, uma primeira abordagem para a viabilidade do uso de materiais alternativos como a borracha para construir fortificações militares é proposta, com base em análises qualitativas e quantitativas. O objetivo é contribuir com o impacto ambiental do reaproveitamento de pneus descartados. Para isso, a energia cinética é calculada em dois tipos de projéteis, propriedades de materiais usados em fortes militares são comparadas com materiais alternativos e propriedades de materiais como aço, concreto, agregados, borracha e madeira, na Colômbia e no Chile. Conclui-se que os pneus permitem aumentar a vida útil da fortificação; eles podem efetivamente conter material granular e, a adição de materiais granulares contribui para a dissipação de energia dos projéteis que os atingem. Recomenda-se a construção de modelos em escala de fortes para realização de testes balísticos que reafirmem a viabilidade teórica analisada.

*Palavras-chave:* fortificações militares; impacto ambiental; materiais alternativos; propriedades físicas; propriedades mecânicas.

---

# INTRODUCCIÓN

---

Actualmente el cuidado del medio ambiente es una política fundamental, donde se trabaja con el objetivo de asociar todas nuestras actividades y problemáticas diarias con soluciones que afecten lo menos posible al medio ambiente y que aporten en aspectos relacionados con su cuidado, preservación y/o recuperación. Las Naciones Unidas tomó la decisión de crear el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), tras una conclusión dada por cerca de 2.000 científicos en el año 2007, quienes emitían cada 5 años un concepto sobre el estado del medio ambiente y el cambio climático, de esta manera concluyeron que este era un problema real y que la actividad humana era una de las causas fundamentales (Organización de las Naciones Unidas[ONU], s.f.). En este orden de ideas, se decidió reglamentar mediante normas y políticas el cuidado del medio ambiente, sobre las cuales los países miembros estuvieron de acuerdo. Es así como la PNUMA, como programa promotor y autoridad internacional, tiene como objetivo: “evaluar las condiciones y las tendencias ambientales a nivel mundial, regional y nacional; elaborar instrumentos ambientales internacionales y nacionales; y fortalecer las instituciones para la gestión racional del medio ambiente” (Naciones Unidas, s.f., párr. 2) De este modo, todas las políticas se orientan a partir de una serie de normas y compromisos a nivel mundial; puede que las condiciones en algunos países no hayan mejorado y por lo contrario tengan serios problemas ambientales a la fecha actual, pero el objeto de crear conciencia en las personas sí ha avanzado significativamente. Contar con programas educativos que contemplen un pénsum o materias donde se inculque y enseñe sobre el cuidado del medio ambiente a los alumnos es un avance importante. En Colombia, la conservación y preservación del medio ambiente también es una política importante, muestra de ello son las leyes y normas que regulan y reglamentan los niveles de emisiones, los vertimientos y las industrias que directa o indirectamente afectan el medio ambiente, como la Resolución 2254 de 2017 (Contaminación del aire), la Resolución 631 de 2015 (uso de los recursos hídricos) o la Resolución 541 de 1994 (uso del suelo, disposición de residuos y escombros), una de las razones radica:

Colombia alberga cerca del 10 % de la biodiversidad mundial, (...). A nivel de especies, es considerada la primera nación en anfibios y aves, la segunda en diversidad de plantas, la tercera en reptiles, la cuarta en grupos taxonómicos y la quinta en mamíferos. El 68,7 % de la superficie continental colombiana está cubierta por alrededor de 314 ecosistemas naturales, incluyendo bosques, arbustales, herbazales y cuerpos de agua naturales. (ColombiaCO, s.f., párr. 2)

Es así como el gobierno nacional a través del Ministerio del medio ambiente y sus organizaciones estatales, buscan enfocar todas las actividades en pro de la conservación del medio ambiente y su biodiversidad.

El Ejército Nacional de Colombia es una institución comprometida con el DIH, los DD. HH. y el medio ambiente, todo de la mano del objetivo constitucional de proteger la soberanía, la independencia, la integridad del territorio nacional y del orden constitucional (Constitución Política de Colombia, 1991, art 217). De esta manera,

todas las operaciones militares y las tareas ofensivas, defensivas, de estabilidad y de apoyo en defensa de la autoridad civil (ADAC) tienen un marco jurídico y constitucional. Así el Ejército Nacional se alinea a las políticas ambientales nacionales en el desarrollo de sus tareas.

En la nueva doctrina Operacional del Ejército DAMASCO, se hace referencia a la protección, la cual se define como la “preservación de la efectividad y supervivencia del personal, el equipo, las instalaciones, la información y la infraestructura (militar y no militar) relacionados con la misión y desplegados dentro o fuera de los límites del área operacional” (Ejército Nacional de Colombia, 2017, p. 32). Una forma de proveer protección a la fuerza es mediante las tareas que contemplan las Operaciones de Supervivencia, las cuales precisamente brindan o aumentan las capacidades propias de un individuo, elemento, o instalación para resistir o prevalecer ante las acciones hostiles del enemigo o el medio ambiente; algunas de estas tareas incluyen la construcción de posiciones de combate y posiciones protectivas. El Ejército Nacional de Colombia tiene establecidos procesos constructivos para estas posiciones, los cuales contemplan su elaboración con sacos terreros. Estos sacos se fabrican en rafia de polipropileno, polietileno o poliamida; materiales que son fibras sintéticas tejidas entre sí y que dan forma al saco o costal; estos sacos son llevados al lugar donde se desean instalar y se llenan con material granular disponible *in situ* o de un lugar cercano; su capacidad volumétrica depende del tamaño del saco disponible, aproximadamente 0.0200 m<sup>3</sup> de material de relleno por saco. Se cosen y se disponen en hileras, una encima de otra; los sacos deben estar entramados entre sí, para que todos funcionen como un solo elemento monolítico; el número de hileras depende de la altura que se desee alcanzar; así mismo, su espesor está dado por el número de filas una detrás de otra que sean colocadas; entre mayor sea el número de filas mayor será su resistencia a fuerzas o cargas aplicadas horizontalmente desde el exterior, bien sea causada por elementos antrópicos o naturales.

**Figura 1**

*Posición de Combate, BITER 13 Australia, Cundinamarca*



Todos los sistemas de muros de protección contruidos por medio del empleo de sacos terreros funcionan adecuadamente durante el periodo de vida útil que varía entre dos a cinco años. Estos elementos son empleados, en su gran mayoría, para la construcción de fortificaciones a la intemperie, donde progresivamente se van degradando por acción de los rayos ultravioleta, el viento y la humedad, esto deteriora el saco causando la ruptura de sus fibras y la deformación de la fortificación por la pérdida de los agregados. Otro evento que se presenta con frecuencia es el daño de las fibras del saco por acción del hombre, quienes por curiosidad y negligencia se acercan al muro con la intención de hundir sus dedos u otro elemento como el propio fusil, creando un orificio o rompiendo las fibras del saco, lo que ocasiona la pérdida del material de relleno (ver Figura 2). Estos dos eventos disminuyen la capacidad de protección del sistema de muros con sacos terreros, ya que reducen la vida útil del sistema, su funcionalidad, por ende, se hace necesario la destinación de recursos y personal para su reparación y restablecimiento, si a esto le sumamos que el daño o deterioro sea en un saco intermedio, implicará la remoción de toda la hilera de sacos superior a este, para poder ser colocado nuevamente o rellenar el espacio con otro material que brinde como mínimo el mismo nivel de resistencia.

## Figura 2

*Saco-torrero deteriorado, Posición de Combate, BITER 13  
Australia, Cundinamarca*



Con base en esta problemática, se propone, inicialmente, analizar cualitativa y cuantitativamente la viabilidad del uso de materiales alternativos en fortificaciones militares, a partir del cálculo de la energía cinética en municiones que impactan fortificaciones militares, entre ellas: calibre 5.56 mm y 7.62 mm; además, se comparan las propiedades de los materiales usados actualmente en fuertes militares con respecto a los materiales alternativos. Por último, en la metodología se comparan las propiedades anteriormente mencionadas entre Colombia y Chile.

Los materiales alternativos que se nombran se refieren puntualmente a los componentes de las llantas (caucho, nylon y acero), teniendo en cuenta la necesidad vigente de dar un segundo uso a todas las llantas después que han cumplido con su ciclo de vida útil. En Colombia, según un artículo publicado en el año 2016 por *El Espectador*, se desechan entre 20 y 30 millones de llantas por año, cantidad que ha seguido en aumento de una manera directamente proporcional al crecimiento de la demanda de autos. Esto requiere que todas estas llantas sean tratadas y se efectúe un proceso de disposición final, para que no se conviertan en un daño para el medio ambiente; sin embargo, es una cantidad considerable de toneladas de llantas anualmente, teniendo en cuenta que este material de caucho no es biodegradable, muchas de estas llantas no pasan por este proceso o no reciben una adecuada disposición final, lo que se convierte en una problemática ambiental. Muchas de estas son almacenadas en lugares abiertos, donde su forma permite el almacenamiento de agua en su interior, esto conlleva a un ambiente propicio para insectos y roedores, vectores de enfermedades como el dengue y la leptospirosis; otras son utilizadas en procesos de combustión o simplemente quemadas al aire libre.

Según la revista Vital en su artículo publicado en 2018 por la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires, la quema de llantas produce más de 34 componentes químicos altamente dañinos para la salud y capaces de generar mutaciones en el ADN humano. No obstante, es necesario aclarar que, la reutilización de llantas se ha ejecutado en Ingeniería Civil en obras como muros de gravedad para contención de taludes, pozos sépticos, jarillones, parques infantiles, entre otros.

## Desarrollo

### **Energía cinética en munición calibre 5.56 mm y 7.62 mm que impacta fortificaciones militares**

A lo largo de los más de 60 años de conflicto armado en Colombia, el Ejército Nacional ha combatido desde entonces grupos guerrilleros como las FARC, el ELN, el EPL y otros grupos armados organizados, que, dentro de su poder armamentista para realizar acciones hostiles a las tropas del ejército nacional, cuentan con armas largas como rifles o fusiles, ametralladoras livianas y pesadas, que requieren municiones calibre 7.62 mm. Se analizan los calibres 7.62 mm y 5.56 mm, este último corresponde a la munición estándar de las fuerzas armadas de la OTAN.

En la Tabla 1 se muestra un resumen de las especificaciones de la munición calibre 5.56 mm que impacta fortificaciones militares y en la Tabla 2, un resumen de las especificaciones de la munición calibre 7.62 mm.

**Tabla 1***Fichas técnicas de munición CALIBRE 5.56 mm*

<b>Munición calibre 5.56 mm</b>	
Munición	5.56 mm x 45 mm
Peso proyectil	4+- 0,10 g
Peso cartucho	13 g +- 0,10 g
Longitud del cartucho	57,4 mm
Longitud del casquillo	44,7
Velocidad promedio	915+- 12 m/s
Presión máxima	3.867 kg f/cm <sup>2</sup>
Fuerza de extracción del proyectil	Min. 20,4 kg f
Tiempo de accionado	3 milisegundos
Precisión (en 100 m)	Max. 2,2 cm
Poder de perforación	El proyectil debe penetrar por completo a través de una placa de acero de 3,5 mm, en una distancia de 570 metros
Material del proyectil	Metal dorado, núcleo de acero y plomo (aleación de plomo y antimonio)
Pólvora	Tipo esférica 1,70 gramos

**Tabla 2***Fichas técnicas de munición CALIBRE 7.62 mm*

<b>Munición calibre 7.62 mm</b>	
Munición	7.62 mm x 51 mm
Peso proyectil	9,35+- 0,1 g
Peso cartucho	25,2 g +- 0,1 g
Longitud del cartucho	71,12 mm
Velocidad promedio	838+- 15 m/s
Presión máxima	3.515 kg f/cm <sup>2</sup>
Fuerza de extracción del proyectil	Min. 27 kg f
Tiempo de accionado	Max. 4 milisegundos
Precisión (en 100 m)	Max. 3,5 cm
Poder de perforación	Penetra blindaje
Material del proyectil	Metal dorado, núcleo de plomo (aleación de plomo y antimonio)
Pólvora	Tipo esférica 2,50 gramos

Se calcula la energía cinética que produce la munición calibre 7.62 mm y 5.56 mm, teniendo en cuenta que el impacto de velocidad que manejan es de 500 a 2.000 m/s, lo que genera mayor grado de secuelas en el blanco. En el primer caso resultó de 3282.99 J y en el segundo de 1674.45 J.

Entre mayor sea el calibre mayor será la cantidad de pólvora contenida en el cartucho, esto permitirá que el proyectil salga disparado de la boca de fuego del arma a una velocidad mayor; esto se ve reflejado directamente en la energía cinética de la ojiva, ya que indica un impacto con una mayor fuerza en el objetivo y un mayor efecto sobre este y la distancia de penetración.

El Manual de Fortificaciones de Campaña FM 5-15 del Ejército de Estados Unidos, en la sección número 4I realiza ensayos relacionados con balística de diferentes materiales, para determinar la penetración y efectos de los proyectiles de un fusil semiautomático con un calibre del proyectil de 7.62 mm. Los valores de penetración del proyectil en el material y el espesor requerido del material para absorber la energía del impacto y evitar que el proyectil perfora completamente el material son mostrados en la Tabla 3.

**Tabla 3**

*Espesor del material y penetración de la ojiva*

Material	Penetración máxima	Espesor proporcionado
	cm	cm
Placa de blindaje	0.76	1.27
Concreto	5.08	7.62
Mampostería	12.7	17.78
Grava	20.32	25.4
Roble sólido	50.8	60.96
Arena		
Seca	30.48	35.56
Húmeda	36.83	45.72

Fuente: adaptado Depart of the Army (1968). Manual de Fortificaciones de Campaña.

Los materiales granulares, grava y arena (húmeda y seca), efectivamente proporcionan protección contra la acción de los proyectiles disparados por las armas de fuego, la única consideración que debe tener es en el diseño, el cual debe cumplir con los espesores mínimos requeridos (Tabla 3), para que el prototipo pueda adsorber y disipar adecuadamente la energía cinética que lleva a ojiva y evitar que esta lo perfora.

### **Propiedades de los materiales usados en fuertes militares versus materiales alternativos**

En las fortificaciones militares usualmente se utilizan materiales de construcción que contienen madera, concreto, agregados pétreos, entre otros; mientras que las llantas

están compuestas por materiales principales como el caucho, nylon y una malla de acero. En la Tabla 4 se muestran valores típicos de propiedades físico-mecánicas como: resistencia, atracción, elongación, densidad, resistencia a la tensión, resistencia a la compresión, módulo elástico, flexión y resistencia al impacto de los materiales anteriormente mencionados.

**Tabla 4**

*Resumen propiedades de los materiales*

Propiedades de los materiales								
Material	Resistencia a la tracción	Elongación	Densidad	Resistencia a la tensión	Resistencia a la compresión	Módulo elástico	Flexión	Resistencia al impacto
Caucho	30 Mpa	600 %	950 kg/m <sup>3</sup>	10-20 Mpa	X	7 Mpa	X	X
Kevlar	3.000 Mpa	3 %	1.440 kg/m <sup>3</sup>	X	X	125.000 Mpa	X	X
Acero	620 Mpa	51 %	7.7-8.1 kg/dm <sup>3</sup>	496.41 Mpa	X	200.000 Mpa	X	X
Madera	8-18 Mpa	X	960-960 kg/m <sup>3</sup>	20.0-37.2 Mpa	16-23 Mpa	7.000-12.000 Mpa	14-30 Mpa	X
Nylon	78 Mpa	20 % - 120 %	1.130 kg/m <sup>3</sup>	X			X	0.03-0.25 kJ/m <sup>2</sup>
Concreto	X	X	2.200-2.550 kg/m <sup>3</sup>	1.33-1.99 la raíz cuadrada de la compresión	45 Mpa	13.788-41.384 Mpa	1.99-2.65 la raíz cuadrada de la compresión	X
Icopor	0.011-0.029 Mpa	X	X	X	X	X	X	2 KJ/m <sup>2</sup>

De acuerdo con los datos de la Tabla 4, el caucho posee una elongación superior a la de los materiales balísticos usados comúnmente, este factor permite describir que su capacidad para deformarse y contribuir dentro del prototipo propuesto para la absorción y disipación de la energía cinética de la ojiva es eficiente, sin embargo, el caucho no trabaja solo, este funciona monolíticamente junto con el nylon y la malla de acero interna de la llanta, lo que mejora las propiedades de disipación de la energía

de impacto.

Otro factor importante es la densidad, donde la cantidad de masa contenida dentro de un mismo volumen para el caucho está cercana a los valores de los materiales balísticos, lo cual también contribuye de manera positiva para que este material se pueda desempeñar efectivamente dentro de las fortificaciones. También, se puede observar que de acuerdo con la composición de la llanta (caucho, acero y nylon), poseen un alto porcentaje de elongación, es decir, que estos pueden alargarse y/o estirarse bastante frente a su estado normal, por lo tanto, al momento de que la llanta sea impactada por una ojiva esta pueda trabajar de forma uniforme con sus compuestos y pueda absorber la energía con la cual impacta el proyectil.

Por otro lado, la resistencia a la tracción del caucho es mínima en comparación con otros materiales, donde se observa que el acero cuenta con una resistencia a la tracción de 496.41 Mpa, es decir, alta, esto es favorable, puesto que la llanta no solo posee caucho, sino también una malla de acero, de tal forma que podrá soportar cargas de estiramiento sin romperse; la tracción trabaja de la mano con la elongación dando así un material ideal para esta investigación.

### **Propiedades de los materiales usados en fuertes militares versus materiales alternativos en Colombia y Chile**

En la Tabla 5 se muestran los resultados típicos de las propiedades físicas y mecánicas para diferentes materiales en Colombia y Chile.

**Tabla 5**

*Resumen propiedades de los materiales en Colombia y Chile*

<b>Propiedades física y mecánicas</b>	<b>Colombia</b>				
	<b>Concreto</b>	<b>Madera (roble)</b>	<b>Acero</b>	<b>Caucho</b>	<b>Arena (peña)</b>
<b>Peso específico</b>	2200-2400 kg/m <sup>3</sup>	710 kg/m <sup>3</sup>	7850 kg/m <sup>3</sup>	1140 kg/m <sup>3</sup>	1600 kg/m <sup>3</sup>
<b>Resistencia a tensión</b>	1,33-1,99 kg/cm <sup>2</sup>	379,33 kg/cm <sup>2</sup>	5061,87 kg/cm <sup>2</sup>	203,9 kg/cm <sup>2</sup>	17,3 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Resistencia a compresión</b>	224,98 kg/cm <sup>2</sup>	618,98 kg/cm <sup>2</sup>	1045,20 kg/cm <sup>2</sup>	12,2 kg/cm <sup>2</sup>	20 kg/cm <sup>2</sup>

<b>Módulo elástico</b>	421,99 kg/cm <sup>2</sup>	122365,95 kg/cm <sup>2</sup>	175000 Mpa	71,38 kg/cm <sup>2</sup>	50000 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Chile</b>					
<b>Propiedades física y mecánicas</b>	<b>Material</b>				
	<b>Concreto</b>	<b>Madera (roble)</b>	<b>Acero</b>	<b>Caucho</b>	<b>Arena (peña)</b>
<b>Peso específico</b>	2200-2400 kg/m <sup>3</sup>	750 kg/m <sup>3</sup>	8900 kg/m <sup>3</sup>	1140 kg/m <sup>3</sup>	1550 kg/m <sup>3</sup>
<b>Resistencia a tensión</b>	1,33-1,99 kg/cm <sup>2</sup>	3772,9 kg/cm <sup>2</sup>	1757,67 kg/cm <sup>2</sup>	203,9 kg/cm <sup>2</sup>	17,3 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Resistencia a compresión</b>	224,98 kg/cm <sup>2</sup>	305,915 kg/cm <sup>2</sup>	950,9 kg/cm <sup>2</sup>	12,2 kg/cm <sup>2</sup>	20 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Módulo elástico</b>	421,99 kg/cm <sup>2</sup>	71380,13 kg/cm <sup>2</sup>	1,8 N/m <sup>2</sup>	71,38 kg/cm <sup>2</sup>	50000 kg/cm <sup>2</sup>

Comparando los valores que presentan Chile y Colombia, se encuentra viabilidad en el uso de materiales alternativos en fortificaciones militares de acuerdo con el peso específico, resistencia a tensión, resistencia a compresión y módulo elástico entre el caucho y la arena de peña y la arena de río.

### Conclusiones

Las llantas (caucho, nylon y malla de acero) tienen unas mejores características en comparación con los sacos terreros, ya que permiten aumentar la vida útil de la fortificación, pueden contener eficazmente el material granular y mejora las propiedades del sistema para la disipación de la energía de los proyectiles.

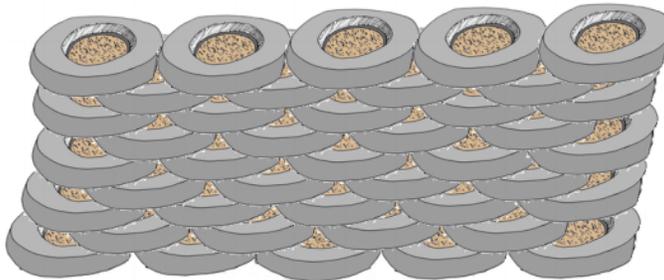
La reutilización de llantas en construcción de fortificaciones militares genera un impacto positivo al medio ambiente, dado que permite reutilizar neumáticos.

La caracterización cualitativa y cuantitativa permite identificar la viabilidad del uso de materiales alternativos en fortificaciones militares, al comparar las propiedades físicas y mecánicas de concretos, madera, acero, caucho y arena. Inclusive comparando valores típicos entre países como Colombia y Chile.

Se recomienda proceder con una fase experimental que comprenda la construcción de prototipos escalados que simulen un fuerte militar, realizados con llantas y agregados pétreos (ver Figura 3), posteriormente, someterlos a pruebas balísticas que corroboren la viabilidad teórica encontrada para su uso.

### Figura 3

#### *Configuración prototipo*



### Referencias

Colombia co. (s.f.). uno de los mayores valores diferenciales del país es su importancia medioambiental. Colombia es uno de los líderes mundiales en [...]. <https://www.colombia.co/medio-ambiente/medio-ambiente/>

Constitución Política de Colombia [Const.]. (1991). Artículo 217. <https://pdba.georgetown.edu/Constitutions/Colombia/colombia91.pdf>

Department of the Army. (1968). FM 5-15 Fiel Fortifications. <https://www.bits.de/NRANEU/others/amd-us-archive/FM5-15%2868%29.pdf>

Ejército Nacional de Colombia. (2017). Manual Fundamental de Referencias del Ejército MFE 5-0 Proceso de operaciones. [https://www.cedoe.mil.co/centro\\_doctrina\\_ejercito\\_nacional\\_colombia/doctrina/manuales\\_fundamentales\\_referencia\\_458641/mfre\\_5\\_0\\_proceso\\_operaciones](https://www.cedoe.mil.co/centro_doctrina_ejercito_nacional_colombia/doctrina/manuales_fundamentales_referencia_458641/mfre_5_0_proceso_operaciones)

Naciones Unidas. (s.f.). Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. <https://www.un.org/ruleoflaw/es/un-and-the-rule-of-law/united-nations-environment-programme/>

Organización de las Naciones Unidas (ONU). (s.f.). Medio Ambiente. <https://www.un.org/es/un60/60ways/environment.shtml>