

# Comparison of internal structures for building blocks made from recycled plastic

Yury Guerrero, Giovanni Miranda, Andrés Aguillón  
Facultad de ingeniería  
Fundación universitaria los libertadores

## Abstract

This research seeks to make a comparison, using 3D models and simulations of mechanical load on blocks with bio-inspired structures, which will later be used for the construction of low-cost housing. Each block will be made of recycled plastic and will seek to make the manufacturing process more efficient, simple, replicable and scalable, maximizing the use of materials, preserving the strength and mechanical properties without considering the thermal variables that affect the structure. In addition, the objective is to find improvements in terms of element deformation, safety factor, volume and mass reduction, compared to a solid block.

## Keywords

Biological structure, polymer, charge, manufacturing, recycling, simulation

# Comparación de estructuras para bloques de construcción elaborados en plástico reciclado

## Resumen

Con esta investigación se busca realizar una comparación, usando modelos 3D y simulaciones de carga mecánica en bloques con estructuras bio-inspiradas, que posteriormente serán usados para la construcción de viviendas de bajo costo. Cada bloque estará elaborado en plástico reciclado y se buscará hacer el proceso de fabricación más eficiente, sencillo, replicable y escalable, maximizando el uso de los materiales, conservando la resistencia y las propiedades mecánicas sin contemplar las variables térmicas que afecten la estructura. Además, se tiene como objetivo encontrar mejoras en cuanto a la deformación del elemento, su factor de seguridad, disminución del volumen y la masa, comparado con un bloque sólido.

## Palabras Claves

Estructura, polímeros, carga, fabricación, reciclaje, simulación

## Introducción

La configuración geométrica puede mejorar las variables mecánicas, el soporte de carga, la fuerza, el peso, la transferencia de calor, y otros factores en una estructura. Tal como se puede observar en la naturaleza, las estructuras internas de los elementos evolucionan para adaptarse a su entorno. Un ejemplo de ello son las plantas de bambú, las estructuras óseas, las hojas de diferentes árboles o los panales de abejas en uniones hexagonales [1]. Estas estructuras naturales, permiten modelos geométricos complejos, sin comprometer estructuralmente el elemento e incluso mejorando sus propiedades mecánicas. Usan menos material, por lo que son más livianas y resistentes, gracias al desarrollo evolutivo de estos diseños.

Ahora bien, ¿es posible conservar las propiedades mecánicas de un elemento sólido, que haya pasado por un proceso de extracción de masa, utilizando geometrías en su estructura interna?

Para responder a esta pregunta, abordaremos los estudios que se han realizado sobre las estructuras internas en un material natural o artificial. Para determinar, cómo estas geometrías permiten cumplir funciones estructurales, y a su vez, disminuyen la masa del elemento estudiado. Logrando así, mantener las propiedades frente a la carga del material, disminuyendo el peso implícito de la estructura lo que es muy útil en el campo de la construcción, como quiera que, puede mejorar el aprovechamiento del material sin perder las condiciones de seguridad y de resistencia exigidas.

En medio de esta investigación, nos surgió la inquietud, de que material nos permite realizar modificaciones estructurales sin perder sus propiedades, encontrando el plástico como la mejor opción, este es un material que se ha convertido en una problemática global y que requiere acciones inmediatas que permitan disminuir de una manera drástica su volumen, pero y a su vez cumpla un segundo ciclo de vida [2].

Es posible la fabricación de bloques en plástico para construir viviendas de bajo costo, lo que nos permite aprovechar la materia prima, con un impacto medio ambiental, mejorando así, las condiciones de vida de personas con recursos limitados a la hora de acceder a una vivienda digna, sin desmejorar las condiciones de calidad y seguridad de la estructura [2].

Se encontró una oportunidad para el diseño de bloques estructurales a partir de la recuperación del plástico. Tomando como referencia proyectos de construcción que en la actualidad fabrican estructuras con plástico reciclado, a través del método de extrusión [3].

En búsqueda de mejorar este proceso, contemplamos la reducción de la masa de cada bloque con cavidades al interior del material. De esta manera se aprovecha de una forma más eficiente el plástico. Los proyectos de construcción actuales de bloques con material reciclado aumentan las posibilidades de aislamiento térmico, para la implementación en áreas geográficas, cuyas temperaturas pueden variar de manera significativa, esta característica se conserva con la modificación geométrica propuesta en este artículo.

Este documento, propone mejoras en los proyectos de fabricación actuales, como lo es "ficidadet" [3]. Implementando la modificación de las estructuras internas que permitan ahorrar materia prima y a su vez aportar mejoras en las propiedades mecánicas del producto final. Esto sentaría un precedente en el desarrollo de nuevos tipos de bio-estructuras que cumplan con un aporte mecánico.

Para lograr este objetivo, se propone desarrollar un modelo de estructura bio-inspirada, que disminuya de forma significativa el volumen interno de material por bloque. De esta forma el costo de fabricación puede reducirse, mejorando la rentabilidad, siendo más atractivo su diseño y su producción.

Con este artículo buscamos evaluar las propiedades de diferentes geometrías, para encontrar la más óptima y aplicable en la fabricación de elementos estructurales para la construcción de proyectos arquitectónicos.

## Antecedentes

A continuación, destacamos investigaciones y proyectos que inspiraron la creación de este artículo:

(i) La creación del arquitecto bogotano, Oscar Méndez [4], que uso un proceso de extrusión en plástico reciclado para crear un bloque sólido que pudiera hacer las veces de ladrillo, en una vivienda unifamiliar de un solo nivel. Cumpliendo con los lineamientos mínimos de seguridad y confort sin que esto implicará aumentar el costo del producto final.

(ii) Estudios realizados en el campo del diseño estructural por, Miller Ernesto Piñeros Moreno [5], que usan como referencia la naturaleza en búsqueda de replicar la relación de peso y resistencia presentes en diversos elementos naturales como el bambú, con el objetivo de adaptarlos a nivel industrial para mejorar el rendimiento de sus productos. En este contexto, se introdujo el desarrollo estructural, para aumentar la eficiencia en el proceso de fabricación de bloques de construcción en polímeros reciclados.

(iii) Investigación sobre el proceso de reciclaje de plástico en bloques versus el bloque convencional, realizado por los estudiantes de Ingeniería Civil de la universidad católica de Colombia. Proyecto de factibilidad económica para la fabricación de bloques con agregados de plástico reciclado (PET), aplicados en la construcción de vivienda [2].

Este proyecto logro resultados significativos a través de pruebas experimentales como lo son la resistencia mecánica a tensión y compresión. Obtuvieron como resultado un 10% más de eficiencia en la resistencia y facilidad de montaje de los bloques fabricados a base de reciclaje de plástico, al igual que los costos de fabricación son similares en estos dos tipos de bloques, generando una idea atractiva para la industria actual.

Aunque las estructuras generalmente se desarrollan en la ingeniería civil, es interesante estudiar las modificaciones geométricas que se pueden llegar hacer de estas a nivel mecánico. Las modificaciones internas pueden ser en

aplicaciones de tipo bloque o ensamble las cuales pueden generar un aporte de resistencia mecánica y rigidez, dando mejoras significativas a las estructuras que se encuentran actualmente en el mercado.

Una de las geometrías que muestra mayor relevancia, es la estructura tipo panel, dimensionalmente está conformada por cavidades rígidas, en forma hexagonales opuestas, que comparten caras entre sí. Lo cual brinda las cualidades mecánicas esperadas para mejorar las condiciones de los materiales convencionales -bloques o ensamblajes macizos-

Actualmente en el mercado contamos con algunas estructuras bio-inspiradas, como las tipo sándwich, las cual han tenido un gran aporte en la industria automovilística y aeronáutica ya que presentan una combinación óptima de rigidez, resistencia y absorción de energía [6].

Es importante, aclarar que las estructuras bio-inspiradas de plástico, que actualmente se comercializan, no han obtenido modificaciones geométricas al interior del material. Si se logrará esta implementación se aumentaría las posibilidades de obtener estructuras de menor costo y con mayor beneficio.

En la actualidad existen desarrollos estructurales basados en poli-olefinas, que son termoplásticos de alta rigidez, que garantizan una larga duración al producto final, tal como lo desarrollo la empresa "fidget" [3]. La cual fabrica bloques livianos, con facilidad de acople y ecológicos. Están fabricados a partir de reciclaje de plástico, sin modificaciones geométricas en su interior, no obstante, al proyecto de "fidget" se le podría aplicar una modificación en su estructura de tipo panel, mejorando con esto las condiciones de su proyecto.

## Desarrollo

Con este artículo, se busca generar un aporte investigativo el cual determine cuál es la mejor configuración geométrica que potencialice las ventajas de un material a nivel estructural.

En la primera fase, se analizaron los polímeros que serían usados en la fabricación de bloques

sólidos, sin embargo, es importante aclarar que esta etapa no se profundizará en este artículo ya que el objetivo, se centra en el análisis de la estructura interna del bloque más allá de la selección del material. Aunque es relevante para el modelado conocer las propiedades físicas del material a usar, el PET, se utilizará en este caso como materia prima, debido a que es uno de los materiales plásticos que se encuentra con mayor abundancia en los desechos y es posible manipular posterior a un proceso de reciclaje. [7]

El PET (Tereftalato de polietileno) es usado en la elaboración de materiales geo-sintéticos, para lo cual, es fundido, filtrado y extruido hasta obtener fibras de poliéster de aspecto liso con buena resistencia a la tensión y baja capacidad de absorción de agua. El PET reciclado en forma de fibras, se usa como material de mejoramiento para concretos y asfaltos [8].

Gracias a la flexibilidad de este material se ha incrementado su uso a nivel industrial, llegando a la exorbitante suma de 380 millones de toneladas producidas anualmente, según datos recogidos por Greenpeace [9].

Como se puede observar en la tabla 1, El PET presenta las siguientes propiedades mecánicas y térmicas a destacar:

**Tabla 1. Propiedades mecánicas y térmicas del material PET. [8]**

Propiedades	Valores
1. Densidad	$1.38 \frac{g}{cm^3}$
2. Conductividad Térmica	$0.14 W (m.K)$
3. Módulo Elástico	$2.76 - 4.14 Gpa$
4. Coeficiente de Poisson	$0.381 - 0.396$
5. Resistencia Mecánica a la Compresión	$62.6 - 68.5 Mpa$
6. Resistencia Mecánica a la Flexión	$48.3 - 72.4 Mpa$
7. Tenacidad a Fractura	$4.5 - 5.5 Mpa*m$

Tomando en consideración que este material es el más abundante de los polímeros que pueden ser reciclados, se usaran sus propiedades mecánicas como referencia a la hora de indicar en el software las características del material.

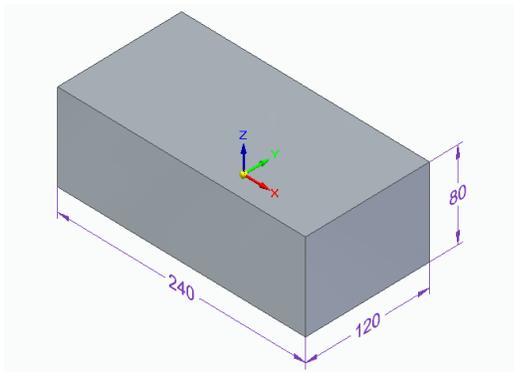
Teniendo en cuenta que, el material es reutilizado no se usó el valor máximo de resistencia del PET en estado virgen (68,5Mpa) como se evidencia en la tabla1, se tomó como referencia un valor inferior de (65,5Mpa), en relación a la disminución de las propiedades mecánicas que el material pierde en su primer proceso de termo formado.

En segunda fase, se desarrollará el proceso de modelación que se desea analizar, y adicionalmente, seleccionar la geometría óptima sobre la cual se edificará el diseño del bloque de construcción. Para este paso se requiere ejecutar un proceso iterativo bajo el cual se determine un equilibrio entre la resistencia a la carga del elemento y la cantidad de material que puede ser sustraído sin que esto afecte sus propiedades.

La variación de temperatura en el periodo de un año no representa cambios significativas en cuanto a la dilación y contracción térmica en el elemento modelado. Por lo tanto, no se tomará la temperatura como un punto de afectación en el factor de seguridad y deformación para cada una de las estructuras geométricas simuladas.

Por lo cual la fuente de variación geométrica proviene de las estructuras biológicas como el bambú o guadua haciendo equivalencia a un vaciado de material circular, panal de abejas haciendo equivalente a un vaciado de material hexagonal y por último la estructura de la raíz de las plantas a la cual es equivalente a un vaciado por cuadrado [10].

Para iniciar el proceso de modelado del elemento en el software Solid Edge 2020, como se puede observar en la figura 1, se tomó como referencia un bloque común para muros cuyas dimensiones son 240 mm de longitud, 120 mm de ancho y 80 mm de altura.



**Fig. 1 Dimensiones del bloque fuente propia**

Una vez que se modeló el elemento se procede a insertar las propiedades del material y a determinar la fuerza que será ejercida en el elemento, teniendo en cuenta la masa de cada bloque calculada a partir del valor de su densidad y volumen asociado:

- **Volumen**

**Tabla 2. Datos volumen**

Volumen	Longitud	Ancho	Altura	Total
	0,24 m	0,12 m	0,8 m	0,002304 m <sup>3</sup>

$$V = \text{Longitud} * \text{ancho} * \text{altura}$$

$$V = 0.24m * 0.12m * 0.8m = 0.00234 m^3$$

- **Masa**

**Tabla 3. Datos masa**

Masa	Volumen	Densidad	Total
a	0,002304 m <sup>3</sup>	1380 KG/m <sup>3</sup>	2,9952 kg

$$M = \text{Volumen} * \text{densidad}$$

$$M = 0.00234 m^3 * 1380 \frac{Kg}{m^3} = 2.9952 kg$$

Analizando los datos de la tabla 2 y 3, fue posible determinar el peso que el bloque inferior deberá soportar para alcanzar una altura determinada, que en este caso es un muro de 3 m, por lo que son necesarios 38 bloques que en conjunto alcanzan una masa de 113,81 kg, por lo que la presión ejercida en un bloque es de aproximadamente 38,76 Kpa.

Para realizar el análisis de carga que soporta el bloque, se utilizó como guía la norma ASTM C67 la cual hace referencia a los métodos de prueba para el muestreo para ladrillos. Las pruebas incluyen resistencia a la compresión, absorción, tamaño, deformación, cambio de longitud y áreas vacías [11].

Para obtener el valor de la carga la empresa Innovare realizó la toma de datos y análisis comparativos de la resistencia a la compresión, absorción del ladrillo tradicional, por lo cual se determina que la carga de 6000 Kpa, este valor es tomado para iniciar la simulación del software [9].

Con esta información alimentando el software de simulación es posible realizar un primer acercamiento a los datos de carga y deformación que sufriría un bloque sólido de PET.

Inicialmente se modela un bloque sólido con las dimensiones estándar figura 1, las cuales se encuentran en el mercado para este tipo de elementos de construcción, previamente se le asignan las características físicas del PET, se realiza un mallado en el modelo cuyo tetraedro cuentan con 4mm en cada uno de sus lados.

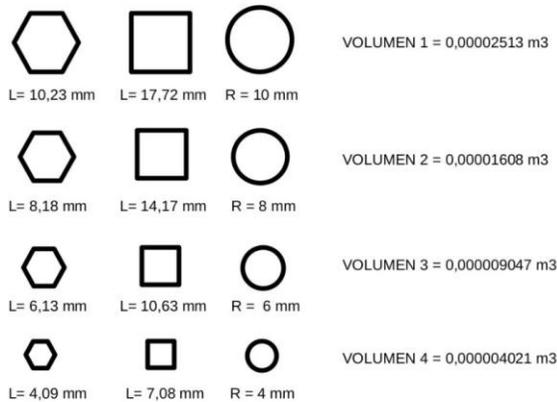
Fijando el modelo en su parte inferior y aplicando la presión determinada anteriormente de 6Mpa se ejecuta la simulación estática para establecer las propiedades de referencia del estudio en un bloque sólido sin ningún tipo de remoción de masa. Las propiedades Es posible visualizar las propiedades físicas del elemento en la Tabla 4.

**Tabla 4. Datos bloque sólido fuente propia**

Sólido	
Masa (kg)	3,191
peso (mN)	31272,192
volumen (mm <sup>3</sup> )	2304000
Carga aplicada (Mpa)	6
Elementos	114.164
Nodos	166.717
tsm	9
Translación total	mm

Contando con los valores de referencia es posible interactuar con la remoción de masa en el sólido, a partir de geometrías preestablecidas como se pueden observar en las figuras 2.

Las geometrías que se usaron para los vaciados del bloque sólido variaron dimensionalmente lo cual generó un cambio en su volumen como se representa en la figura 2. En la tabla 5 podemos observar la interacción entre los modelos realizados y el cambio del volumen por cada geometría.



**Fig. 2 Dimensiones de los vaciados hexagonales, tubular, cuadrado -fuente propia**

**Tabla 5. Convención de modelos realizados fuente propia**

	Modelos realizados			
	M1	M2	M3	M4
Hexagonal	L4	L6	L8	L10
Cuadrado	L7	L10	L14	L17
Tubular	R4	R6	R8	R10

El volumen en cada modelo se conservó para cada una de las geometrías

**Tabla 6. Volumen de cada modelo -fuente propia**

	Modelos realizados			
	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4
Hexagonal	V1	V2	V3	V4
Cuadrado	V1	V2	V3	V4
Tubular	V1	V2	V3	V4

**Convención**

V1	0,000161 m <sup>3</sup>
V2	0,000362 m <sup>3</sup>
V3	0,000643 m <sup>3</sup>
V4	0,001005 m <sup>3</sup>

Para proceder con el estudio y teniendo en cuenta que la masa a retirar de los bloques debía ser equivalente; se optó por igualar el volumen vaciado para cada una de las geometrías, por lo tanto, se establecieron volúmenes constantes.

De allí se despejaron las longitudes que debían conformar las áreas para cada una de las figuras a ser posteriormente vaciadas

Teniendo como referencia lo anteriormente mencionado, se toma como punto de partida el volumen del bloque sólido y aplicando los vaciados geométricos mencionados es posible variar su volumen y su masa, así llevar a cabo una comparación respecto al comportamiento de cada una de las estructuras y entre ellas frente a la carga que se va aplicar.

**Tabla 7. Volumen total extraído-fuente propia**

Modelo	Masa (kg)	Volumen extraído por vaciado (m <sup>3</sup> )	Cantidad de vaciados por bloque	Volumen extraído total (m <sup>3</sup> )
Modelo 1	1,79	$2.513 \times 10^{-5}$	40	$1.0052 \times 10^{-3}$
Modelo 2	2,3	$1.608 \times 10^{-5}$	40	$6.432 \times 10^{-4}$
Modelo 3	2,69	$9.05 \times 10^{-6}$	40	$3.62 \times 10^{-4}$
Modelo 4	2,968	$4.02 \times 10^{-6}$	40	$1.608 \times 10^{-4}$

El resultado de la interacción entre la variación de las geometrías y la carga aplicada es:

**Tabla 8.0. Tubular R4-R6-. Fuente propia**

Tubular R4 mm		Tubular R6 mm	
Masa (kg)	2.968	Masa (kg)	2,690
peso (mN)	29088,981	peso (mN)	23659,968
volumen (mm <sup>3</sup> )	2143150,46	volumen (mm <sup>3</sup> )	1942088,53
Carga aplicada (Mpa)	6	Carga aplicada (Mpa)	6
Elementos	245.884	Elementos	191.102
Nodos	356.507	Nodos	283.879
tsm	9	tsm	9
Translación total	mm	Translación total	mm

**Tabla 8.1. Tubular R8-R10-. Fuente propia**

Tubular R8 mm		Tubular R10 mm	
Masa (kg)	2,3	Masa (kg)	1,799
peso (mN)	22539,349	peso (mN)	17627,124
volumen (mm <sup>3</sup> )	1660601,825	volumen (mm <sup>3</sup> )	1298690,35
Carga aplicada (Mpa)	6	Carga aplicada (Mpa)	6
Elementos	153.913	Elementos	137.463
Nodos	235.668	Nodos	219.749
tsm	9	tsm	9
Translación total	mm	Translación total	mm

**Tabla 9.0. Cuadrado L7-L10-. Fuente propia**

Cuadrado L7		Cuadrado L10	
Masa (kg)	2,969	Masa (kg)	2,690
peso (mN)	29095,022	peso (mN)	26364,33
volumen (mm <sup>3</sup> )	2143595,52	volumen (mm <sup>3</sup> )	1942409,92
Carga aplicada (Mpa)	6	Carga aplicada (Mpa)	6
Elementos	213.303	Elementos	190.786
Nodos	311.131	Nodos	287.163
tsm	9	tsm	9
Translación total	mm	Translación total	mm

**Tabla 9.1. Cuadrado L14-L17-. Fuente propia**

Cuadrado L14		Cuadrado L17	
Masa (kg)	2,301	Masa (kg)	1,799
peso (mN)	22551,207	peso (mN)	17634,111
volumen (mm <sup>3</sup> )	1661475,5	volumen (mm <sup>3</sup> )	1299205,12
Carga aplicada (Mpa)	6	Carga aplicada (Mpa)	6
Elementos	177.576	Elementos	116.660
Nodos	275.262	Nodos	191.109
tsm	9	tsm	9
Translación total	mm	Translación total	mm

**Tabla 10.0. Hexagonal L4-L6-. Fuente propia**

L4		L6	
Masa (kg)	2,998	Masa (kg)	2,758
peso (mN)	29384,53	peso (mN)	27031,872
volumen (mm <sup>3</sup> )	2164925,2	volumen (mm <sup>3</sup> )	1991591,5
Carga aplicada (Mpa)	6	Carga aplicada (Mpa)	6
Elementos	166.823	Elementos	242.820
Nodos	244.984	Nodos	358.777
tsm	9	tsm	9
Translación total	mm	Translación total	mm

**Tabla 10.1. Hexagonal L8-L10-. Fuente propia**

L8		L10	
Masa (kg)	2,421	Masa (kg)	1,986
peso (mN)	23721,542	peso (mN)	19462,762
volumen (mm <sup>3</sup> )	1747700,8	volumen (mm <sup>3</sup> )	1433932,1
Carga aplicada (Mpa)	6	Carga aplicada (Mpa)	6
Elementos	165.374	Elementos	160.798
Nodos	251.192	Nodos	255.412
tsm	9	tsm	9
Translación total	mm	Translación total	mm

A continuación, se encuentran las tablas 11,11.1 y 11.2 en las cuales contienen el resumen de los valores obtenidos en cuanto a masa, deformación y factor de seguridad en función de la carga aplicada.

**Tabla 11. Resumen de resultados masa- fuente propia-. Fuente propia**

		Masa (Kg)			
		Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4
Hexagonal	max	3,0	2,8	2,4	2,0
Cuadrado	max	3,0	2,7	2,3	1,8
Tubular	max	3,0	2,7	2,3	1,8
Bloque solido	max	3,2	3,2	3,2	3,2

**Tabla 11.1. Resumen de resultados deformación- fuente propia-. Fuente propia**

		Deformación (mm)			
		Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4
Hexagonal	max	0,215	0,215	0,214	0,213
Cuadrado	max	0,215	0,215	0,214	0,213
Tubular	max	0,215	0,215	0,214	0,213
Bloque solido	max	0,216	0,216	0,216	0,216

**Tabla 11.2. Resumen de resultados factor de seguridad- Fuente propia**

		Factor de Seguridad			
		Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4
Hexagonal	max	2,6	2,9	2,5	2,8
Cuadrado	max	2,7	2,5	2,6	2,7
Tubular	max	2,9	3,1	2,9	2,6
Bloque solido	max	2,3	2,3	2,3	2,3

Al comparar los valores de la Tabla.11,11.1 y 11.2 con el bloque de referencia Tabla.2, fue posible deducir cuáles de las interacciones aportan resultados más favorables enfocados a la meta de reducir la masa sin disminuir de forma significativa las propiedades mecánicas.

Podemos observar en tablas 12,12.1 y 12.2 el porcentaje de los valores obtenidos en cuanto a masa, deformación y factor de seguridad en función de la carga aplicada

**Tabla 12. Porcentaje de mejora de la masa- Fuente propia**

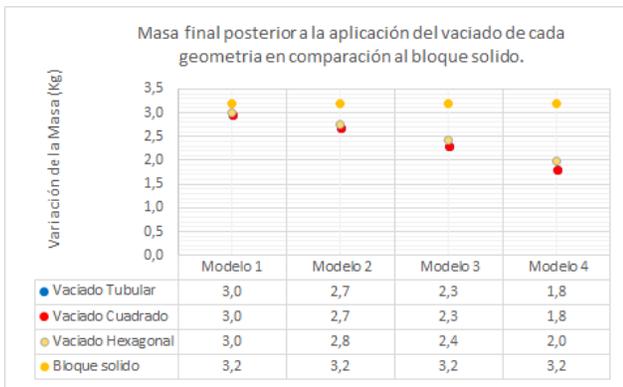
		Masa (Kg)			
		Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4
Hexagonal	Masa (kg)	6,05%	13,57%	24,13%	37,76%
Cuadrado	Masa (kg)	6,96%	15,70%	27,89%	43,62%
Tubular	Masa (kg)	6,99%	15,70%	27,92%	43,62%

**Tabla 12.1. Porcentaje de mejora de la deformación-Fuente propia**

		Deformación (mm)			
		Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4
Hexagonal	max	0,47%	0,47%	0,93%	1,41%
Cuadrado	max	0,47%	0,47%	0,93%	1,41%
Tubular	max	0,47%	0,47%	0,93%	1,41%

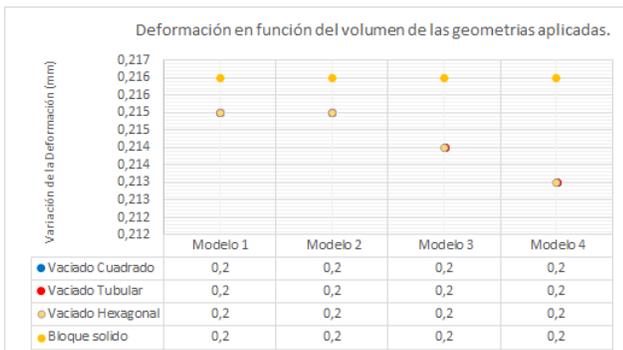
**Tabla 12.2. Porcentaje de mejora del factor de seguridad -Fuente propia**

		Factor de Seguridad			
		Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4
Hexagonal	max	13,22%	28,63%	9,25%	23,35%
Cuadrado	max	18,50%	10,13%	15,42%	17,18%
Tubular	max	28,63%	34,36%	29,07%	14,10%



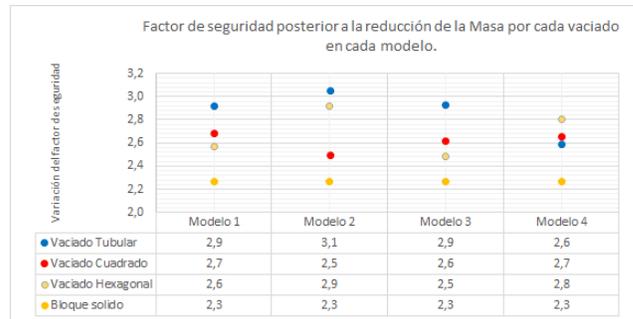
**Fig 3. Gráfico de la Masa en función del volumen de la geometría aplicada- fuente propia**

Como podemos observar en la figura 3 en donde se realiza la comparación de la masa de cada bloque después de realizar el vaciado de cada una de las geometrías es posible entender que la disminución de la masa es proporcional a la variación del volumen en cada una de las geometrías como se puede observar en la tabla 7, es posible identificar este comportamiento ya que el modelo 1 el valor mínimo de masa es de 2,980 Kg en comparación el modelo 4 en el que vemos un valor mínimo de masa de 1,7790 Kg, el resultado obtenido son los esperados gracias a la reducción significativa de la masa



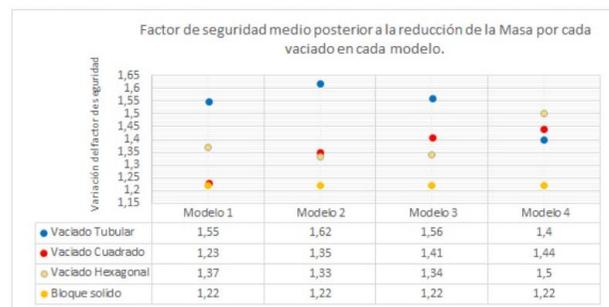
**Fig 4. Gráfico de la Deformación en función del volumen de la geometría aplicada- fuente propia**

Como podemos observar en la figura 4, la deformación con respecto al bloque sólido se mantuvo constante en cada uno de los modelos simulados este resultado fue el esperado gracias a que a pesar de la remoción del material en cada uno de los modelos geométricos no aumentó su deformación y por el contrario es posible apreciar una tendencia a disminuir la deformación en cada simulación.



**Fig 5. Gráfico del Factor de seguridad en función del volumen de la geometría aplicada valores máximos- fuente propia**

Como se puede evidenciar en la figura 5 el factor de seguridad en todos los modelos aumentó de manera significativa este resultado es el esperado, ya que la aplicación de los vaciados geométricos en el bloque sólido mejoró las propiedades mecánicas a pesar de la disminución de masa. El vaciado tubular muestra un valor en el factor de seguridad mayor en los modelos 1, 2 y 3 a diferencia demás vaciados geométricos



**Fig 6. Gráfico del Factor de seguridad en función del volumen de la geometría aplicada valores medio- fuente propia**

Como podemos apreciar en la figura 6, el factor de seguridad medio corresponde a los valores obtenidos en un punto intermedio de las geometrías analizadas. No se toma como referencia el factor de seguridad mínimo arrojados por la simulación ya que el punto de fijación del bloque genera concentradores de esfuerzos en las estructuras modeladas, que dan como resultado valores inferiores a 1.

## Análisis

Los porcentajes mostrados en la tabla.12.12.1,12.2 se observa la variación de la

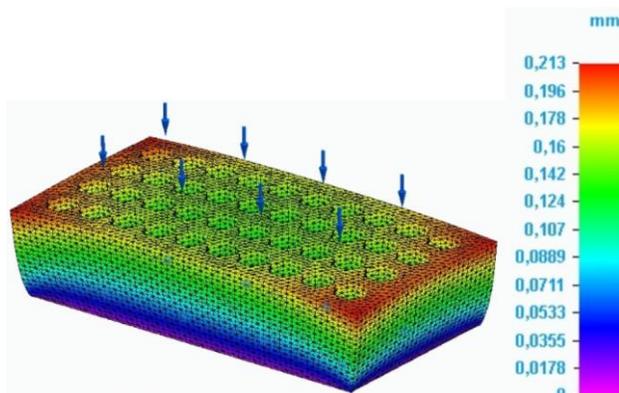
masa y por ende el comportamiento de la deformación y el factor de seguridad en cada uno de los ensayos realizados evidenciando a su vez los porcentajes de mejora en cuanto a:

-Masa

La cantidad del material que se extrajo a cada uno de los bloques es:

**Tabla 13. Masa removida-fuente propia**

Volumen (m <sup>3</sup> )	Densidad	Masa Removida (kg)
1,005E-03	1,38E+03	1,387E+00
6,432E-04	1,38E+03	8,876E-01
3,619E-04	1,38E+03	4,994E-01
1,608E-04	1,38E+03	2,220E-01



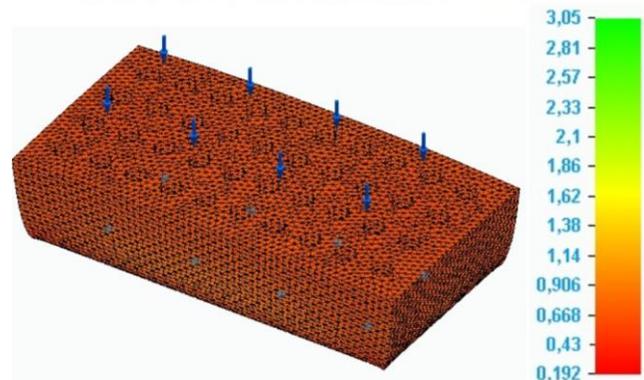
**Fig.7 Bloque con mayor remoción de material- Fuente propiedad**

-Deformación

Para los valores de deformación se evidencia un aumento entre 0,47% y 1,41% en relación con la cantidad de masa que se retiró a cada uno de los bloques, lo que indica que la remoción de masa por medio de las distintas geometrías no afecta la deformación del bloque y por el contrario es posible hallar una mejora.

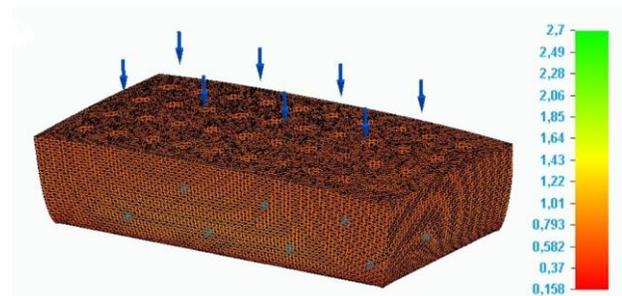
-Factor de seguridad

Los resultados obtenidos en la simulación para el factor de seguridad varían de manera significativa en cada una de las de los modelos simulados por lo que se puede comparar cada una de ellas y determinar cuál es la que garantiza un factor de seguridad acorde a la aplicación.



**Fig. 8. Factor de seguridad bloque Tubular- Fuente propiedad**

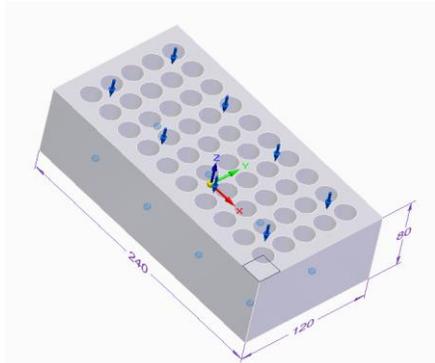
El factor de seguridad del bloque tubular como se puede observar en la figura 8 se encuentra en promedio de 1,14 y 1,38 garantizando que cumple el factor de seguridad requerido para las estructuras el cual debe ser superior a 1.



**Fig. 9. Factor de seguridad bloque Tubular- Fuente propiedad**

Adicionalmente se realizó un ajuste en el tamaño de malla original figura 8, buscando comparar el comportamiento de las variables obtenidas en el modelo 2 del vaciado tubular de 6 mm de radio con una malla de 4mm versus el mallado de 1,5mm figura 9, determinado así que la simulación no presenta variaciones significativas en los resultados.

Como se puede ver en la figura 10 este sería diseño del bloque final con la estructura tubular de radio 6mm.



**Fig. 10. Diseño final bloque Radio 6-Fuente propiedad**

### Recomendaciones:

-En este artículo no se va a desarrollar un método de fabricación, ni ensamblaje del bloque, se deja abierto para que otros investigadores apliquen la mejor opción de fabricación.

-Si se requiere una variación de la longitud no se afectaría las propiedades mecánicas planteadas en esta investigación.

-El análisis de las variables térmicas y de transferencia de calor no se abordaron en el estudio desarrollado en este artículo, por lo que queda a criterio del investigador, efectuar el correspondiente análisis térmicos para la estructura.

### Conclusiones:

1. Se observa que el factor de seguridad obtenido del vaciado tubular de radio 6mm es de 3,05 esto debido a que no se retira tanto material del bloque. Sin embargo, para las otras geometrías tomadas (tubular, hexágono, cuadro) de los otros valores de tomados, se observa que los resultados del factor de seguridad se mantienen inferiores al radio 6mm del tubular por ende son más propensos a presentar falla por alguna carga excesiva

2.El factor de forma no afecta a la deformación siempre que el volumen del material retirado se mantenga igual.

3.El factor de forma si es relevante, frente a la variación del factor de seguridad, en las

diferentes estructuras geométricas de los bloques ya que como podemos observar en el vaciado geométrico cuadrado figura 2 se obtuvo un máximo de 2.7, hexagonal figura 2 de 2.9 y la tubular figura 2 de 3.1, por lo cual el vaciado tubular es la geometría con mejor comportamiento mecánico bajo la carga como se puede observar en la figura 5.

4. Teniendo en cuenta que la deformación se mantuvo constante a pesar del cambio en la masa y la aplicación de las diferentes geometrías es posible aplicar estructuras bioinspiradas como lo es el vaciado tubular el cual demostró un factor de seguridad de 34,36% en comparación del bloque solido original, aun con una disminución de 13,54% de la masa del bloque

### Referencias:

- [1]. Díaz Carniglia, Elisa ,Evaluación de la factibilidad técnica y económica de una planta de producción de paneles aislantes térmicos a partir de plástico desechado,tesis,universidad de Chile,2014  
Chile,<http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/117120>
- [2] Mariela Elgegrena, Giulliana J. Tiravantia, Bruno A. Ortiza, Manuel E. Otero, Florian Wagnerb,A.Cerróna,JavierNakamatsua,Pontifici a Universidad Católica del Perú, Av. Universitaria 1801, Lima 32, 2018, Perú.[http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-634X2012000200005&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-634X2012000200005&script=sci_arttext)
- [3]Camilo Andres Rochels Granados, plásticos para construcción en Colombia, tesis,(Bogota,2018)(Granados,2018),<https://ficidelt.org/nosotros>
- [4] Oscar Andres Mendez,conceptos plásticos,Colombia-Bogota,2016,  
<http://conceptosplasticos.com/>
- [5] Miller Ernesto Piñeros Moreno, proyecto de factibilidad económica para la fabricación de bloques con agregados de plástico reciclado (pet), aplicados en la construcción de vivienda, tesis,<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstrea>

m/10983/22382/1/TESIS%20BLOQUE%20PET.pdf

[6] Maria Luisa Romero Galera galera, estudio del comportamiento de estructuras tipo sandwich, Cali-2008-  
<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4860/fichero/VOLUMEN+1%252FCAP%C3%8DTULO+2.pdf>

[7] M. Juárez, M. Santiago, J. Vera. "Estudio de Factibilidad para la Manufactura de Empuñaduras de Pet Reciclado". e-Gnosis. Vol.9.2011.<https://www.redalyc.org/pdf/430/43030033019.pdf>

[8] Andrea Gomez, Ficha técnica PET 2018,<https://es.slideshare.net/andrugo/ficha-plastico>

[9] Greenpeace, Internacional, 2015,<https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/consumismo/plasticos>

[10] Gabriela Sofía Soto/ Laura Patricia Sánchez, Estudio comparativo de la resistencia a la compresión, absorción y dimensionamiento del ladrillo rafón producido en quimistán, chamelecón y florida, honduras.2017,  
<https://unitec.edu>

[11] ASTM C67 / C67M-20, Métodos de prueba estándar para muestreo y prueba de ladrillos y losetas de arcilla estructural, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2020,<https://www.astm.org/Standards/C67.htm>