

# Elaboración y análisis de resistencia mecánica de bloque de cemento-poliuretano-polvo de caucho.



*Development and analysis of mechanical resistance of cement block-polyurethane-rubber powder.*

Eugenia Mercedes Naranjo Vargas.<sup>1</sup>, Javier Renato Moyano Arévalo.<sup>2</sup>, Cristian Geovanny Damián Yambay.<sup>3</sup> & Jessica Pamela Malán Ortiz.<sup>4</sup>

Recibido: 16-11-2019 / Revisado: 28-11-2019 / Aceptado: 26-12-2019/ Publicado: 04-01-2020

## Abstract.

DOI: <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v4i1.1099>

The research was carried out under the need and alternative to innovate the construction industry, friendly to the environment, through an investigative process it was determined that the required rubber will be recycled consciously and processed correctly so that it can be reused in construction processes. With all this background, 52.56% strength blocks have been manufactured, the main component being front cement, rubber powder, polyurethane (component A and B) of light gray texture, with a fine surface texture. For forming a mold was made under standard; In addition, after molding, the molding process was carried out quickly, since the drying process is quick due to the polyurethane property, with an estimated time of 30 minutes. The research and experimental work, contains a wide range of literature review that has allowed the development of the blocks. The analytical process carried out in the materials resistance laboratory of the Faculty of Mechanics of the Polytechnic Higher School of Chimborazo focused on the demonstration of the physical properties provided by the polyurethane-based block and rubber powder. Based on an investigative and analytical process, type B masonry blocks have been manufactured according to the technical parameters of the Ecuadorian Institute for Standardization, whose focus is to break the paradigms in the field of construction. The analysis of the advantages of the transformation of rubber dust in the construction of building blocks was made, thus being able to verify its

<sup>1</sup> Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Carrera Ingeniería Industrial, Grupo de Investigación "ENAMPROD", Riobamba, Ecuador., eugenia.naranjo@esPOCH.edu.ec

<sup>2</sup> Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Carrera Ingeniería Mantenimiento Industrial, Grupo de Investigación "Ciencia Del Mantenimiento", Riobamba, Ecuador., javier.moyano@esPOCH.edu.ec

<sup>3</sup> Investigador independiente, crisdamian0082@gmail.com

<sup>4</sup> Investigador independiente, jessica16malan@gmail.com

feasibility in construction, with 3 types of mixing with 25% cement, 25% polyurethane and 50% rubber dust.

**Keywords:** Innovate, Alternatives, Pollution, Ecosystem, Resistance, Economy, Construction, Polyurethane, Rubber.

### **Resumen.**

La investigación se realizó bajo la necesidad y alternativa de innovar la industria de la construcción, amigables con el medio ambiente, mediante un proceso investigativo se determinó que el caucho debía ser reciclado de manera consciente y procesado correctamente para que pueda ser reutilizado en procesos de construcción, con todos estos antecedentes se ha fabricado bloques de resistencia de 52,56%, siendo su principal componente cemento porlant, polvo de caucho, poliuretano (componente A y B) de contextura gris claro, con una textura de superficie fina. Para el conformado se realizó un molde bajo norma; además luego de la elaboración se realizó de manera rápida el proceso de moldeo, ya que por propiedad del poliuretano es rápido su proceso de secado, con un tiempo estimado de 30 minutos. El trabajo investigativo y experimental, contiene una amplia gama de revisión bibliográfica que ha permitido la elaboración de los bloques. El proceso analítico realizado en el laboratorio de resistencia de materiales de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo se enfocó en la demostración de las propiedades físicas que nos proporciona el bloque a base de poliuretano y polvo de caucho. Basándonos en un proceso investigativo y analítico se ha fabricado bloques de mampostería tipo B según los parámetros técnicos referentes del Instituto Ecuatoriano de Normalización, cuyo enfoque es romper los paradigmas en el campo de la construcción. Se hizo el análisis de las ventajas de la incorporación de polvo de caucho en la elaboración de bloques para construcción, de ese modo poder verificar su factibilidad en la construcción, con 3 tipos de mezclado con un 25% de cemento, 25% de poliuretano y 50 % de polvo de caucho.

**Palabras claves:** Innovar, Alternativas, Contaminación, Ecosistema, Resistencia, Economía, Construcción, Poliuretano, Caucho.

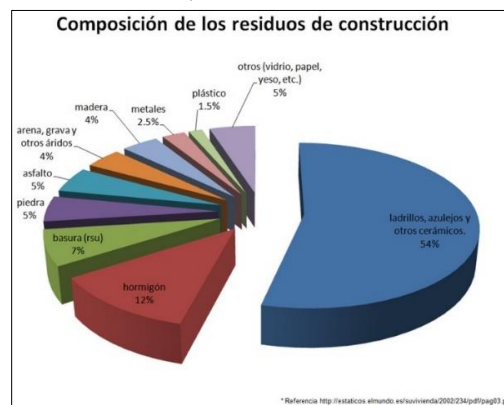
### **Introducción.**

Actualmente el tema que agobia de manera abrupta a la población mundial es la contaminación ambiental, provocada por diferentes factores, entre ellos se resalta los desechos de caucho provenientes de los neumáticos que han cumplido su vida útil, son desechados y la gran mayoría terminan en espacios que afectan directamente al medio ambiente, por lo tanto se llegó a la conclusión que este material compuesto debe ser reciclado correctamente y procesado de manera analítica para aprovechar sus propiedades. Existen aplicaciones para dar un segundo punto de vida a este tipo de basura no orgánica además con la generación de trabajo, centros de acopio que permiten de alguna manera a los recolectores de chatarra o basura puedan lucrar de este tipo de

desperdicio. (Castro, 2007). La contaminación ambiental muestra su ataque ante tanta contaminación con desastres naturales, contaminación de suelos y ríos. Consecuentemente el mundo académico tiene la obligación de encontrar alternativas. En países desarrollados estas líneas de investigación han generado resultados favorables, promoviendo el desarrollo del mundo de la construcción, pero lamentablemente en nuestro país no se ha brindado la importancia necesaria a los temas ecológicos que impulsan la generación de nuevas vías de construcción amigables con el medio ambiente y que lógicamente posean un respaldo analítico y científico. Las principales tendencias en la utilización del caucho reciclado, incluyendo aplicaciones actualmente comercializadas, como de líneas de investigación en el sector de la construcción, capa asfáltica, materiales aislantes como la chova. Además, siempre la humanidad sigue buscando nuevas alternativas de uso que permitan reducir la contaminación en el entorno (Inspiration, 2014).

El caucho presenta una elasticidad y resistencia química los cuales sirven para llantas, calzado, tuberías, correas de transmisión, revestimiento de canchas sintéticas, colchonetas para juegos infantiles, su consumo mundial en el 2014 fue de 28,9 millones de toneladas. Se estima que en 2015 la demanda mundial de caucho aumentó un 0,7 % respecto a 2014 y que entre 2016 y 2024 el consumo aumentará un 3,1 % anualmente en promedio, lo que confirma la tendencia creciente del mercado observada en las últimas décadas (Peláez Arroyave, Velásquez Restrepo, & Giraldo Vásquez, 2017). Considerando que entre 65 y 70% del caucho producido en el mundo es utilizado para la fabricación de llantas, el total de caucho en una llanta corresponde más o menos el 41 y 55% de su peso (Giraldo, 2017). Sin embargo, este principio sólo es viable si se realiza una separación y recogida selectiva.

Para reciclar el caucho de los neumáticos para el proceso de reutilización, éstos tienen que estar separados. Técnicamente es imposible reciclar residuos mezclados, pues tienen propiedades físicas y químicas diferentes, e incluso puede verse afectada la maquinaria empleada en el proceso de valorización. Se concluye, por tanto, que la gestión de los residuos en la obra debe empezar por su separación selectiva. (Construmática, 2015).



**Figura 1.** Composición de los residuos de construcción

**Fuente:** <http://reciclaieverde.wordpress.com>

La sociedad exige cada día la mejora continua de las estructuras, para ello en la actualidad, en nuestro país se opta por construcciones sismorresistente que, si bien es cierto, brindan condiciones seguras, pero económicamente no están al alcance de todos los ciudadanos. Por estos motivos el proyecto se enfoca en obtener bloques que posean alta resistencia y puedan ser empleados en las construcciones, cumpliendo todos los parámetros de seguridad pertinentes (Berndtsson, 2010). Realizando una crítica constructiva del proyecto, lo podemos enfocar en tres aspectos claves de incidencia:

1. Socioeconómico: El presente proyecto permitirá generar un mayor índice de reciclaje de neumáticos y beneficiará a la economía de la sociedad ya que se generará un producto económicamente rentable y ecológicamente amigable.
2. Tecnológico: Es un aspecto clave en este proyecto, ya que nos enfocaremos en el estudio y análisis de todos los factores que inciden en la estructura del bloque, tales como el comportamiento de los polímeros en pruebas mecánicas y físicas con la finalidad de obtener las mejores condiciones de calidad. El proceso de análisis generaría aportes técnicos con respecto a la estructura y composición de la mezcla a ser utilizada y el alcance de la innovación tendría impacto global.
3. Ambiental: La generación de bloques amigables con el medio ambiente contribuye a la disminución de la contaminación ambiental, generando de esta manera, un ambiente confortable para la sociedad.
- 4.

Tomando como fundamento lo previamente mencionado se ha llegado a plantear los objetivos descritos a continuación.

- Realizar pruebas mecánicas y físicas del bloque en el laboratorio de resistencia de materiales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Realizar un análisis económico – comparativo entre el nuevo bloque fabricado y el bloque convencional comúnmente comercializado.
- -Analizar el impacto ambiental que genera la implementación de este proyecto.

**Los neumáticos en la fabricación de bloques:** se enuncia de manera general las características físicas y químicas de los neumáticos, su composición y el destino final de uso que tiene, al mismo tiempo se da un breve conocimiento de las características, tipos y usos de los bloques con componentes especiales para generar una mayor resistencia en su estructura, los constituyentes principales de los neumáticos son los polímeros, negro de carbono y ablandadores el negro de humo se da debido a partículas muy pequeñas de carbono lo que permite que la tenacidad y la resistencia a la tracción, a la torsión y al desgaste.

La cantidad de acero y fibras sintéticas reforzantes en los neumáticos varía según el fabricante, además se adiciona plastificante para el control de la viscosidad. Los neumáticos cuentan con gran diversidad de compuestos incluyendo agentes naturales y compuestos. (Witoszek, 2004).

Componentes	Tipo vehiculo		Función
	Automóviles % en peso	Camiones % en peso	
Cauchos	48	45	Estructural – deformación
Negro humo	22	22	Mejora oxidación
Óxido de zinc	1,2	2,1	Catalizador
Materia textil	5	0	Esqueleto estructural
Acero	15	25	Esqueleto estructural
Azufre	1	1	Vulcanización
Otros	12		Juventud

**Figura 2.** Composición de los neumáticos para autos y camiones.

**Fuente:** <https://campus.fi.uba.ar>

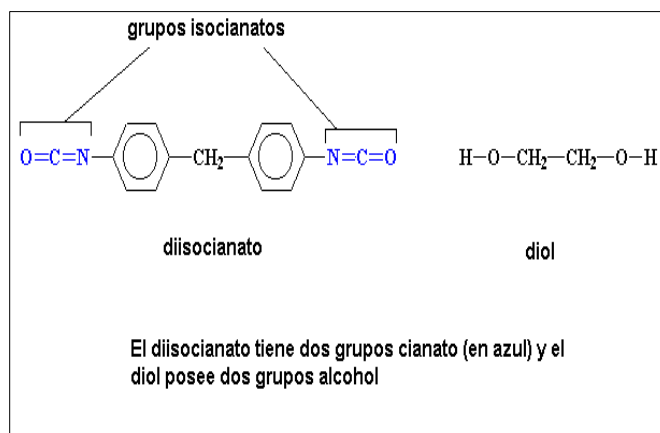
En general los cauchos tienen una alta elongación, flexibilidad necesaria para amortiguar golpes e impactos, impermeabilidad a gases y agua en un porcentaje alto, aun no existe aislamiento absoluto, baja densidad específica, sus composiciones relativamente no son afectadas por el oxígeno, ácidos, bases y varios disolventes orgánicos y otras sustancias químicas, excelente comportamiento contra desgaste abrasivo (Englebert, 2013).

Los tipos de cauchos más empleados en la fabricación de los neumáticos son:

- Cauchos naturales (NR)
- Estireno-butadieno (SBR)
- Polibutadienos (BR)
- Polisopreno (IR)

Los materiales aglomerantes son de característica pastosa y consistencia deformable, tienen la facultad de moldearse, de adherirse a otros materiales, endurecerse y alcanzar resistencias mecánicas considerables en distintos campos de la industria. (Samanta, 2015).

Con el Poliuretano se busca obtener un bloque cuyas propiedades sean las de brindar una alta resistencia estructural y al mismo tiempo que su peso sea menor que el de un bloque convencional (Mattox & Sequeda, 2019). Los poliuretanos forman parte de polímeros termoestables, forman una red tridimensional que no funde. Además, los poliuretanos polimerizan irreversiblemente con calor o presión formando una masa rígida y dura su aplicación mayoritaria está en la interacción de espumas que en su mayoría sirven como aislantes térmicos (ACH, 2016).



**Figura 3.** Uniones uretano en un polímero

**Fuente:** <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com>

Los polímeros se unen mediante conexiones de hidrógeno lo que los hace cristalinos, una de las ventajas son el aislamiento térmico (baja conductividad térmica), garantiza menores espesores de aislante gracias a su bajo coeficiente térmico, en el que se garantiza al máximo espacio y tiempo de instalación, además de garantizar la impermeabilidad; sus propiedades mecánicas, aportan rigidez, poco peso, facilitando transporte, instalación y espacio; de fácil conformado y corte, son resistentes a la tracción, compresión, entre otros. En cuanto a sus propiedades físicas; posee un proceso de fabricación continua de ciertos compuestos como se detalla a continuación (Motorex, s.f.), cómo se detalla en la tabla 1.

**Tabla 1.** Propiedades físicas del poliuretano

PROPIEDADES FISICAS	POLI-ISOCIANURATO (PIR)	POLIURETANO (PUR)
Estabilidad Térmica	-200°C a +120°C	-150°C a +80°C
Estabilidad Dimensional	PIR tiene mejor estabilidad y un rango más amplio de temperatura	
Resistencia Mecánica	PIR tiene mejor resistencia mecánica que el PUR en un 25% por lo menos	
Comportamiento de Incendios	PIR pasa estrictas pruebas cumpliendo la norma ASTM E84	
Desarrollo de Humo en condiciones de Fuego	PIR genera mucho menos humo que el PUR	

**Fuente:** <http://kingspancolombia.com>

### Bloques de hormigón

El bloque de hormigón es un elemento fabricado a base de cemento, agua, agregados finos, aditivos, obedeciendo a una granulometría, dosificación y técnica de construcción; ha sido diseñado para mampostería confinada o reforzada. (Franco, 2012). La norma NTE INEN 638,

define las dimensiones seleccionadas son la última es el largo del bloque, ejemplo 12 x 20 x 40 cm. La mayoría de los bloques artesanales de la ciudad de Riobamba salen al mercado a la edad aproximada entre 15 y 20 días; la dosificación establecida para la fabricación de estos no siempre se cumple debido a que, por facilidad de operación, los trabajadores miden las cantidades en carretillas y no emplean instrumentos estándar de medición. (INEN, 2017).

### **Clasificación de acuerdo con el uso de los bloques**

Los bloques huecos de hormigón se clasifican, de acuerdo con su uso, en cinco tipos, como se indica:

**Tabla 2.** Clasificación de bloques de acuerdo con el uso

CLASE	USO
A	Paredes exteriores de carga, sin revestimiento
B	Paredes exteriores de carga, con revestimiento Paredes interiores de carga, con o sin revestimiento
C	Paredes divisorias exteriores, sin revestimiento
D	Paredes divisorias exteriores, con revestimiento Paredes divisorias interiores, con o sin revestimiento
E	Losas alivianadas de hormigón armado

**Fuente:** Norma INEN 3066 (2014).

### **Metodología**

Es necesario realizar el desarrollo óptimo sobre este tema y efectuar una minuciosa investigación bibliográfica, para determinar de manera concisa los diferentes documentos y libros que refieren a la reutilización del caucho y aplicación de poliuretano como materiales para la fabricación de bloques de construcción, para lo cual se ha tomado información relevante de los mismos, que aporta al desarrollo de esta investigación.

Los neumáticos se fabrican a partir de caucho natural, caucho sintético y otras sustancias incluidos cables, textiles y numerosos productos químicos. Lo cierto es que el gran problema que tienen los neumáticos de los coches es que su proceso de reciclado resulta muy costoso. Aunque se puede decir que los neumáticos de los coches realizados a partir de caucho natural son productos sostenibles y perfectamente respetuosos con el medio ambiente, lo cierto es que la mayoría de los neumáticos utilizan un alto porcentaje de cauchos sintéticos, todos obtenidos a base de hidrocarburos, lo que hace que sean altamente contaminantes en el caso de combustión (García, 2013).

### **Requisitos de bloques de hormigón según Norma Técnica Ecuatoriana**

Para la construcción de bloques se escogerá la norma NTE INEN 643.



## Proceso de Elaboración de un bloque normal.

### Materiales para su fabricación

- Agua (esta deberá de carecer de materia orgánica o química). Potable que únicamente incluya cloro. No es recomendable que se use el agua de pozo ya que contiene minerales altamente pesados que a su vez afectarían la resistencia del bloque
- Cemento
- Grava
- Arena



**Figura 4.** Materia prima para elaborar bloques

**Fuente:** <https://bloqueras.org/bloques-concreto/>

Para la elaboración del bloque se debe considerar en función del tipo de bloque en este el de tipo b, el cual está bajo rangos de 10 a 12,7, en donde no se halle inmerso mucha carga para su aplicación.

### Dosificación.

“La dosificación es la de 1:5:2 (Cemento, Arena, piedra) + agua en proporción de un 9%. (El 9% se obtiene del peso seco de los materiales, este valor proviene de trabajos en laboratorio de materiales bajo las normas ASTM, es el peso obtenido de todos los áridos y del cemento en una concretera pequeña antes de mezclarlas con el agua)” (INEN, 2017).

### Medidas de bloques convencionales.

En nuestro país se fabrican bloques bajo la norma INEN 3066 (2014) según se aprecia en la tabla numero 3:

**Tabla 3.** Dimensiones de bloques

Calibre	Medidas en centímetros
4”	12cm x 20 cm x 40 cm
6”	15cm x 20 cm x 40 cm
8”	20cm x 20 cm x 40 cm

**Fuente:** Norma INEN 3066 (2014).

### Proceso de fabricación del bloque a base de polvo caucho.



## **Materiales**

Para la elaboración de los bloques a base de polvo de caucho y poliuretano se utilizaron los siguientes materiales:

### **Cemento**

Dado que posee importantes propiedades el tipo de cemento que se usará es Cemento Chimborazo Portland Puzolánico Tipo IP, SUPERIOR, de ALTA DURABILIDAD, el cual es un cemento que cumple estrictamente la norma INEN 490, la Norma NTE INEN 151 define al cemento portland como "Cemento hidráulico producido por pulverización de Clinker, consistente esencialmente de silicatos cálcicos hidráulicos cristalinos y que usualmente contiene uno o más de los siguientes elementos: agua, sulfato de calcio, hasta 5% de piedra caliza y adiciones de proceso." El cemento que se utilice en la elaboración de los bloques debe cumplir con los requisitos de la Norma NTE INEN 152. (Chimborazo, 2015).

### **Caucho**

La fibra de caucho de neumáticos reciclados, su elaboración en la industrial por el gran índice vehicular es del 60 % de la producción anual del mismo, su característica es de (SBR) Estireno-Butadieno con un 25% en peso de estireno, además se conoce que poseen ciertos suavizantes como óxido de zinc y magnesio; rellenos reforzantes formado con partículas muy pequeños de carbono; agentes vulcanizantes como el azufre lo que hace que se puede entre cruzar los polímeros en la mezcla; acelerantes como compuestos orgánicos-sulfurados, benzotiazol y otros compuestos; retardantes como en N-nitroso difenil amina (Multinivell, 2007).

**Poliuretano.** - Es un agente químico, ampliamente utilizado en diversos procesos industriales, se obtiene mediante condensación de poliésteres. Debido a sus propiedades el poliuretano es esencial debido a que ayuda a obtener un bloque mucho más liviano que un convencional.

### **Herramientas e Instrumentos**

#### **Molde de madera para el bloque**



**Figura 5.** Molde de madera

**Fuente:** Los autores

El diseño y construcción del molde para la elaboración de los bloques es de vital importancia en el desarrollo del proyecto, dichos moldes tienen una estructura sólida y desarmable debido a que el poliuretano tiende a pegarse en las paredes del molde causando dificultades el momento de desmoldar el bloque. La tapa del molde juega un papel primordial en el proceso de fabricación, ya que al realizar la mezcla entre el cemento, agua, fibra de caucho y el poliuretano, todo el material tiende a expandirse como consecuencia de las combinaciones químicas entre dichos elementos, por ello se necesita una gran presión en toda la estructura del molde para así evitar pérdida de material mediante derrames innecesarios, de esta manera se garantiza una producción de calidad, optimizando la materia y generando mejores acciones financieras, para la correcta elaboración del molde, se utilizó tabla triplex de 15 líneas de espesor. La unión de las piezas del molde se realizó con clavos de acero de 2 pulgadas y goma Bioplast.

### **Balanza:**

Mediante la correcta utilización de la balanza, podemos controlar los porcentajes de polvo de caucho que son necesarios para realizar la mezcla base de los bloques. De esta manera podemos llevar una estadística de la materia prima necesaria para la fabricación del producto.



**Figura 6.** Balanza digital

**Fuente:** <https://www.balanzascobos.com>

**Espátulas:** Estas herramientas permite manipular la mezcla del bloque, así también podemos recoger el material que se derrama del molde debido a la expansión que se produce en su interior.



**Figura 7.** Espátulas

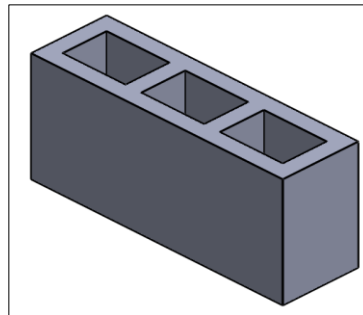
**Fuente:** <https://www.promart.pe/espátula>

### Realizar la Mezcla

1. En un recipiente grande agregar cemento y polvo de caucho previamente dosificados.
2. Verter el componente A de poliuretano en otro recipiente, para este procedimiento se debe utilizar el EPP adecuado, para protección de ojos y extremidades superiores.
3. Del mismo modo verter el componente B en el mismo recipiente y remover la mezcla para obtener la reacción que hace que se expanda el poliuretano.
4. Verter el poliuretano a la mezcla de polvo de caucho y cemento en pequeñas cantidades hasta obtener la textura óptima.

### Resultados

En primera instancia bajo norma se elaboró el software en SolidWorks, bajo parámetros de norma con las dimensiones de 15cm x 20 cm x 40 cm.



**Figura 8.** Bloque tipo B

**Fuente:** Los autores

Luego se dimensionó el molde, el mismo que va a ayudar a dar su conformado, el molde se seleccionó de madera, de 1cm de espesor, para lo cual también se consideró la tapa a la cual también estaría acoplado los mini moldes los cuales van a generar la forma y dimensión del mismo.



**Figura 9.** Molde con tapa

**Fuente:** Los autores

La mezcla de todos los elementos se debe realizó de forma rápida debido a que el poliuretano tiende a secarse en corto tiempo, dificultando el proceso de moldeo.

Con la mezcla en el molde, comienza la fase de compactación, esperar de 20 a 25 minutos.



**Figura 10.** Compactación

**Fuente:** Los autores

1. Abrir la estructura del molde para obtener el producto final.



**Figura 11.** Bloque desmoldado

**Fuente:** Los autores

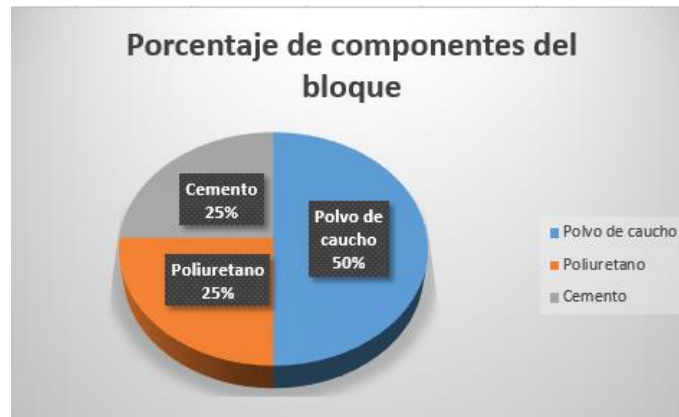
**Nota:** No se debe llenar completamente el molde con la mezcla, esto debido a que el poliuretano se expande y ocupa más espacio.

#### **Almacenamiento**

2. Mantener el bloque en un lugar seco para mejorar sus propiedades físicas.

#### **Diseño de mezcla**

Para la obtención de la mezcla óptima se llevaron a cabo diversos procedimientos, en los cuales se varió la cantidad de componentes, obteniendo como cantidad óptima los siguientes porcentajes:



**Figura 12.** Porcentaje de componentes del blocaucho.

**Fuente:** Los autores

De esta manera se realizaron diversos diseños de mezcla, manteniendo constante el cemento y variando las proporciones de los nuevos agregados (polvo de caucho y poliuretano), ya que su porcentaje afectó directamente la eficiencia de ésta, dando como resultado un diseño de mezcla óptimo.

En el estudio realizado se enfatizó la realización de probetas “bloques” con medidas bajo la norma ecuatoriana INEN 3066. En las mezclas se enfatizó en ocupar el polvo de caucho, espuma de poliuretano, arena, cemento. La idea fue considerar el residuo de llantas en bloques para viviendas, bajar el costo y no promover la contaminación.

*Durante el ensayo realizado se obtuvieron los valores de carga máxima:*

**Tabla 4.** Valores de carga máxima

<b>Carga máxima</b>							
Porcentajes	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%
kg	28500	7998	9651	10575	16560	12774	14637

**Fuente:** Los autores

En la Tabla 4. Se detalla los valores de porcentaje de polvo de caucho, que se le dio a cada una de las probetas, para este análisis se requirió de 70 probetas, además al realizar los ensayos en el laboratorio de Resistencia de Materiales se realizó los esfuerzos máximos de los bloques, para poder determinar los valores admisibles.

Posteriormente se escribe la fórmula:

### Resistencia a la compresión simple del área *neta*

La ecuación necesaria para el cálculo de resistencia es el valor de carga máxima para el área neta de la probeta a ensayar.

$$(Rn) = \frac{P_{max}}{A_n}$$

**Dónde:**

**P<sub>max</sub>** = carga máxima a la compresión simple (kg)

**A<sub>n</sub>** = área neta del ejemplar ( cm<sup>2</sup> )

$$A = b * h$$

Para calcular el área neta se utiliza la fórmula:

El área de los bloques se calcula con los valores establecidos inicialmente: 12 X 20 X 40 (cm). En este último valor mediante mediciones se lo consideró de 39 cm de base.

$$A = 39 * 12 = 780 \text{ cm}^2 \text{ (La misma área para todo)}$$

### **CÁLCULO DEL BLOQUE SIN POLVO DE CAUCHO:**

$$Rn = \frac{P \text{ máx}}{A_n}$$

$$Rn = \frac{28\,500 \text{ kg}}{780 \text{ cm}^2}$$

$$Rn = 36,53 \text{ Kg/cm}^2$$

La unidad que representa la compresión en el Sistema Internacional es el mega pascal ( ), Por lo tanto, se realizó la conversión respectiva de cada resultado:

$$1 \text{ Mpa} = 10,2 \text{ Kg/cm}^2$$

Transformándolo a Mega Pascales: 3,58 Mpa

### **CÁLCULO DEL BLOQUE CON POLVO DE CAUCHO:**

**AL 10%**

$$Rn = \frac{P \text{ máx}}{A_n}$$

$$Rn = \frac{7\,998 \text{ kg}}{780 \text{ cm}^2}$$

$$Rn = 10,25 \text{ Kg/cm}^2$$

Transformándolo a Mega Pascales: 1,05 Mpa

Tomamos como referencia al valor mínimo de compresión como el 100%:

3,5	100%	→
1,05	x	→

X= 30%

El resultado refleja que al 10% de POLVO DE CAUCHO se obtiene un porcentaje de 30% en cuanto a la compresión.

**Al 20%**

$$R_n = \frac{P \text{ máx}}{A_n}$$

$$R_n = \frac{9\,651 \text{ kg}}{780 \text{ cm}^2}$$

$$R_n = 12,37 \text{ Kg/cm}^2$$

Transformándolo a Mega Pascales: 1,21 *Mpa*

Tomamos como referencia al valor mínimo de compresión como el 100%:

3,5	100%	
1,21	x	→

X= 34,57%

El resultado refleja que al 20% de vidrio se obtiene un porcentaje de 34,57% en cuanto a la compresión.

**Al**

**30%**

$$R_n = \frac{P \text{ máx}}{A_n}$$

$$R_n = \frac{10\,575 \text{ kg}}{780 \text{ cm}^2}$$

$$R_n = 13,55 \text{ Kg/cm}^2$$

Transformándolo a Mega Pascales: 1,33 *Mpa*

Tomamos como referencia al valor mínimo de compresión como el 100%:

3,5	100%	
1,33	x	→

X= 38%

El resultado refleja que al 30% de polvo de caucho se obtiene un porcentaje de 38% en cuanto a la compresión.

**Al 40%**

$$R_n = \frac{P \text{ máx}}{A_n}$$

El resultado refleja que al 40% de polvo de caucho se obtiene un porcentaje de 45,7% en cuanto a la compresión.

$$R_n = \frac{P \text{ máx}}{A_n}$$

$$R_n = \frac{16\,560 \text{ kg}}{780 \text{ cm}^2}$$

$$R_n = 21,23 \text{ Kg/cm}^2$$



Transformándolo a Mega Pascales: 2,08 Mpa

Tomamos como referencia al valor mínimo de compresión como el 100%:

$$\begin{array}{ccc} 3,5 & 100\% & \longrightarrow \\ 2,08 & x & \longrightarrow \\ X = 59,42\% \end{array}$$

El resultado refleja que al 40% de polvo de caucho se obtiene un porcentaje de 59,42% en cuanto a la compresión.

**Al 50%**

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{P \text{ máx}}{A_n} \\ R_n &= \frac{14\,637 \text{ kg}}{780 \text{ cm}^2} \\ R_n &= 18,76 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Transformándolo a Mega Pascales: 1,83 Mpa

Tomamos como referencia al valor mínimo de compresión como el 100%:

$$\begin{array}{ccc} 3,5 & 100\% & \longrightarrow \\ 1,83 & x & \longrightarrow \\ X = 52,56 \end{array}$$

El resultado refleja que al 50% de polvo de caucho se obtiene un porcentaje de 52,56% en cuanto a la compresión.

**Al 60%**

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{12\,774 \text{ kg}}{780 \text{ cm}^2} \\ R_n &= 16,37 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Transformándolo a Mega Pascales: 1,60 Mpa

Tomamos como referencia al valor mínimo de compresión como el 100%:

$$\begin{array}{ccc} 3,5 & 100\% & \longrightarrow \\ 1,60 & x & \longrightarrow \\ X = 45,7\% \end{array}$$

**Tabla 1.** Resistencia a la compresión

Resistencia a la compresión ( $\text{Kg/cm}^2$ )							
% Polvo de Caucho	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%

(Rn)=	36,53	10,25	12,37	13,55	21,23	18,76	16,3
$P_{max}/A_n$							7

**Fuente:** Los autores

**Tabla 2.** Resistencia a la compresión

<b>Resistencia a la compresión (Mpa)</b>							
% Polvo de caucho	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%
	3,58	1,05	1,21	1,33	2,08	1,83	1,60

**Fuente:** Los autores

Como se observó en los cálculos, la resistencia obtenida para el primer set de bloques dio como resultado; comparado con la norma NTE INEN 3390 2014, la cual exige una resistencia para los bloques de clase B, lo que genera un valor permisible, a baja escala; por otra parte, su peso y parámetro de resistencia permite que el mismo bloque no genere mayor carga en una vivienda de una planta al menos. A medida que el porcentaje de caucho triturado incrementado en porcentajes de 10 a 60%; la compresión disminuía. El valor mejor arrojado de compresión fue con el 40% ya que se obtuvo el 52,56% de lo exigido por dicha norma; para ser la primera prueba de bloques fabricado con material reciclado como es el caucho triturado, se alcanzó un porcentaje aceptable y viable para seguir investigando proporciones que conlleven a igualar o mejorar dicha resistencia, al incrementar otros aditivos, que mejoren su resistencia.

### Conclusiones.

- Se fabricó bloques de resistencia adecuados bajo norma INEN 3066, de tipo B, con parámetros admisibles, de bajo peso a base de poliuretano y polvo de caucho reciclado, cemento porlant ; los cuales permiten obtener similares características a los bloques que se ofertan en el mercado.
- Con la investigación se tiene ventajas al incorporar polvo de caucho en la elaboración de bloques para construcción, de ese modo poder verificar su factibilidad en la construcción, se disminuye su peso, utilizando materiales alternativos como es la espuma de poliuretano y el caucho triturado.
- Se analiza el impacto ambiental favorable hacia el futuro, con esto se puede reducir la contaminación, la acumulación de desecho en este caso “neumáticos” en basureros; además se puede incorporar otros aditamentos para la implementación de este proyecto en futuras construcciones. La resistencia alcanzada en los bloques representa el 52,56% de la resistencia exigida según la norma INEN 3066.

- Se debe tener mucha precaución y usar el equipo necesario al manipular el poliuretano debido a que es un compuesto delicado. Al obtener el producto final es necesario dejarlo reposar en un clima templado para mejorar sus propiedades; ya que si está a temperaturas elevadas existe el riesgo de que se expanda mas y a su vez su conformado no sea homogéneo. Por otra parte, es adecuado que se deje la composición un tiempo de 3 a 4 días para poder utilizarlo.

### Referencias Bibliográficas.

- ACH. (30 de Septiembre de 2016). El blog ACH. Recuperado el 9 de Abril de 2019, de ACH blog:  
<http://www.panelesach.com/blog>
- Aldana, S., Vereda, F., Hidalgo-Alvarez, R., & de Vicente, J. (2016). Facile synthesis of magnetic agarose microfibers by directed selfassembly. *Polymer*, 93, 61-64.
- Berndtsson, J. C. (2010). Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review. *Ecological Engineering*.
- Bhat, S., Tripathi, A., & Kumar, A. (2010). Supermacroprous chitosan-agarose-gelatin cryogels. in vitro characterization and in vivo assesment for cartilage tissue engineering. *Journal of the Royal Society Interface*, 1-15.
- Bloqueras.org. (2019). Recuperado el 20 de Junio de 2019, de bloqueras.org Web site:  
<https://bloqueras.org>
- Bossis, G., Marins, J., Kuzhir, P., Volkova, O., & Zubarev, A. (2015). Functionalized microfibers for field-responsive materials and biological applications. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 1-9.
- Campos, R. O. (22 de 5 de 2017). Blog EcuRed. Recuperado el 29 de 6 de 2019, de Blog EcuRed Web site: <https://www.ecured.cu>
- Castro, G. (2007). CAMPUS. Recuperado el 8 de Abril de 2019, de CAMPUS WEB SITE:  
[https://campus.fi.uba.ar/file.php/295/Material\\_Complementario/Reutilizacion\\_Reciclado\\_y\\_Disposicion\\_final\\_de\\_Numatico.pdf](https://campus.fi.uba.ar/file.php/295/Material_Complementario/Reutilizacion_Reciclado_y_Disposicion_final_de_Numatico.pdf)
- Chimborazo, C. (2015). Cemento Chimborazo. Recuperado el 6 de 2019, de Cemento Chimborazo Web site: <http://www.cementochimborazo.com>
- Construmática. (2015). Construmática. Recuperado el 28 de 2 de 2019, de Construmática Web site: [www.construmatica.com](http://www.construmatica.com)
- Cortés, J., Puig, J., Morales, J., & Mendizábal, E. (2011). Hidrogeles nanoestructurados termosensibles sintetizados mediante polimerización en microemulsión inversa. *Revista Mexicana de Ingeniería Química.*, 10(3), 513-520.
- Días, A., Hussain, A., Marcos, A., & Roque, A. (2011). A biotechnological perspective on the application of iron oxide magnetic colloids modified with polysaccharides. *Biotechnology Advances* 29, 29, 142–155.

- Englebort, O. (2013). *Neumatico lluvia Uni Royal*. Recuperado el 30 de 06 de 2019, de neumaticos-uniroyal: <https://www.neumaticos-uniroyal.es>
- Estrada Guerrero, R., Lemus Torres, D., Mendoza Anaya, D., & Rodriguez Lugo, V. (2010). Hidrogeles poliméricos potencialmente aplicables en Agricultura. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 12(2), 76-87.
- Fabricio, M. F. (2013). *epositorio.utn*. Recuperado el <http://repositorio.utn.edu.ec> 30 de 6 de 2019, de epositorio.utn web site.
- Franco, I. X. (2012). *Puce*. Recuperado el 23 de Junio de 2019, de <http://repositorio.puce.edu.ec>
- García, P. (8 de Mayo de 2013). *vilssa*. Recuperado el 09 de 04 de 2019, de vilssa magazine : <http://vilssa.com>
- García-Cerda, L., Rodríguez-Fernández, O., Betancourt-Galindo, R., Saldívar-Guerrero, R., & Torres-Torres, M. (2003). Síntesis y propiedades de ferrofluidos de magnetita. *Superficies y Vacío.*, 16(1), 28-31.
- Giraldo, G. J. (14 de Febrero de 2017). *Ciencia e ingeniería Neogranadina.*. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.18359/rcin.2143>
- Ilg, P. (2013). Stimuli-responsive hydrogels cross-linked by magnetic nanoparticles. *Soft Matter*, 9, 3465-3468.
- INEN, N. (2017). *StudyLib*. Recuperado el 20 de 06 de 2019, de StudyLib Web site: <https://studylib.es/doc/5183705/nte-inen-638---servicio-ecuatoriano-de-normalizaci%C3%B3n>
- Inspiration. (2014). *InspiraAction*. Recuperado el 6 de 2019, de InspiraAction web site: <https://www.inspiration.org>
- Lewitus, D., Branch, J., Smith, K., Callegari, G., Kohn, J., & Neimark, A. (2011). Biohybrid carbon nanotube/agarose fibers for neural tissue engineering. *Advanced Functional Materials*, 21, 2624-2632.
- Lin, Y.-S., Huang, K.-S., Yang, C.-H., Wang, C.-Y., Yang, Y.-S., Hsu, H.-C., . . . Tsai, C.-W. (2012). Microfluidic synthesis of microfibers for magnetic-responsive controlled drug release and cell culture. *PLoS ONE*, 7(3), 1-8.
- Mattox, D., & Sequeda, F. (2019). *Guías educativas: para el procesamiento, caracterización y aplicaciones de recubrimientos-capas delgadas* (Vol. 2). Bogotá, Colombia: Programa Editorial Universidad del Valle. Obtenido de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/epochsp/detail.action?docID=5886263&query=llantas+contaminacion>
- Motorex. (s.f.). *motorex.com*. Recuperado el 30 de 6 de 2019, de motorex.com Web site: <http://www.motorex.com.pe>
- Multinivell, C. H. (14 de 9 de 2007). *cerclesbd.wordpress*. Recuperado el 29 de 6 de 2019, de cerclesbd.wordpress web site: <https://cerclesbd.wordpress.com>
- Peláez Arroyave, G. J., Velásquez Restrepo, S. M., & Giraldo Vásquez, D. H. (2017). Aplicaciones de caucho reciclado: una revisión. *Ciencia e Ingeniería Neogran*, 24.

- Ruiz Estrada, G. (2004). *Desarrollo de un Sistema de liberación de fármacos basado en nanopartículas magnéticas recubiertas con Polietilenglicol para el tratamiento de diferentes enfermedades*. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid. Departamento de Física Aplicada.
- Samanta, A. (Mayo de 2015). *Neumáticos*. Recuperado el 10 de Abril de 2019, de <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/20674/1/Elaboraci%C3%B3n%20de%20adrillos%20a%20partir%20de%20neum%C3%A1ticos%20de%20reus%C3%B3.pdf>
- Tartaj, P., Morales, M., González-Carreño, T., Veintemillas-Verdaguer, S., & Serna, C. (2005). Advances in magnetic nanoparticles for biotechnology applications. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 290, 28-34.
- Witoszek, B. (2004). *Hormigón con fibras de caucho de recuperación de neumáticos usados y de polipropileno diseño del firme de hormigón de caucho*. Madrid: Congreso Nacional de Firmes.
- Wulff-Pérez, M., Martín-Rodríguez, A., Gálvez-Ruiz, M., & de Vicente, J. (2013). The effect of polymer surfactant on the rheological properties of nanoemulsions. *Colloid and Polymer Science*, 291, 709–716.
- Zambrano Sandoval, A. B. (4 de 8 de 2016). "ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOMECAÑICAS DE BLOQUES DE HORMIGÓN CON FIBRA DE CABUYA". Quito, Pichincha, Ecuador.
- Zamora Mora, V., Soares, P., Echeverria, C., Hernández, R., & Mijangos, C. (2015). Composite chitosan/Agarose ferrogels for potential applications in magnetic hyperthermia. *Gels.*, 1, 69-80.
- Zarate, J. (s.f.). *Academia*. Recuperado el 28 de 6 de 2019, de Academia Web site: <https://www.academia.edu>

**PARA CITAR EL ARTÍCULO INDEXADO.**

Naranjo Vargas, E. M., Moyano Arévalo, J. R., Damián Yambay, C. G., & Malán Ortiz, J. P. (2020). Elaboración y análisis de resistencia mecánica de bloque de cemento-poliuretano-polvo de caucho. *Ciencia Digital*, 4(1), 270-291. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v4i1.1099>



El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Ciencia Digital**.

El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Ciencia Digital**.

