

Properties of cementitious mortar using recycled rubber as aggregate

Propiedades del mortero cementicio usando caucho reciclado como agregado

Milton G. Andrade, MSc. Environmental Engineering^{1,2}, Genaro Gaibor¹, Mg. en Educación, Jordy Martillo¹, Arquitecto, Johan Martínez¹, Arquitecto.

¹Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, mandradel@ulvr.edu.ec, ggaibore@ulvr.edu.ec, jmartillo@ulvr.edu.ec, jmartinezgom@ulvr.edu.ec,

² Quality Engineering Solutions - Qengsol, mandrade@qengsol.com

Abstract— *The inclusion of recycled rubber as aggregate in the mortar composition was investigated. Two dosages were evaluated for the Mortar with Recycled Rubber, 1: 2: 1 and 1: 2: 2, the dosage being structured as cement: sand: recycled rubber. For the Traditional Mortar, the 1: 2 dosage was used. Three types of tests were performed, the absorption, density and compression resistance. The results indicate that recycled rubber does not contribute significantly to the compressive strength of the mortar. Between the two dosages of Mortar with Recycled Rubber, the 1: 2: 1 dosage obtained slightly better results than the mortar with the 1: 2: 2 dosage.*

Keywords— *Mortar, recycled rubber, absorption, density, Compressive strength*

Abstracto.— *La inclusión del caucho reciclado como agregado en la composición del mortero fue investigado. Se evaluaron dos dosificaciones para el Mortero con Caucho Reciclado, 1:2:1 y 1:2:2, siendo la dosificación estructurada como cemento : arena : caucho reciclado. Para el Mortero Tradicional se utilizó la dosificación 1:2. Se realizaron tres tipos de ensayo, el de absorción, densidad y resistencia a la compresión. Los resultados indican que el caucho reciclado no aporta considerablemente a la resistencia a la compresión del mortero. Entre las dos dosificaciones de Mortero con Caucho Reciclado, la dosificación 1:2:1 obtuvo resultados ligeramente mejores que el mortero con la dosificación 1:2:2*

Keywords— *Mortero, caucho reciclado, absorción, densidad, Resistencia a la compresión*

I. INTRODUCCIÓN

La expansión descontrolada del parque automotor, es el resultado del aumento significativo en la venta de los mismos, según la Autoridad de Tránsito Municipal (ATM), para el 2018, la cifra de vehículos es de 484.049 unidades y que, en comparación con el año 2017 supuso un aumento de 62.248 automóviles.

Además, el diario uso de vehículos en el transporte ya sea público o privado genera un alto consumo de neumáticos, que al finalizar su vida útil no son desechados de forma correcta. Por otro lado, los niveles alarmantes a los que llega el ruido

provocado por el congestionamiento que ocurre en las horas más transitadas, denominadas horas pico, se han convertido en los principales factores que contaminan el espacio auditivo y el medio natural. [1]

Los neumáticos fuera de uso (NFU) afectan de múltiples maneras al entorno de la ciudad, como por ejemplo, el gasto de energía de un automóvil depende de gran medida de la fricción de neumático con el asfalto, entre mayor sea el nivel de rozamiento o resistencia a la rodadura más consumo habrá de energía por tanto mayor emisión de CO₂ y el desgaste masivo de neumáticos derivando en un impacto ambiental de proporciones graves.

Es de suma importancia la reutilización sistemática de los neumáticos fuera de uso (NFU). La utilización del caucho reciclado, que tiene excelentes propiedades mecánicas de elasticidad, resistencia, aislante acústico, entre otros [2], [3], [4], [5], [6]; por lo que puede ser usado como agregado en un mortero de cemento como elemento constructivo, permitiendo de esta manera aportar un beneficio significativo en lo referente al cuidado del medio ambiental.

El año 1888, Jhon Boyd Dunlop montó unos tubos de caucho inflados sobre las ruedas de madera de un triciclo y luego los cubrió con una lona creando de esta manera los neumáticos con cámara de aire, esto se convirtió en un éxito comercial rotundo, pasando de una rueda maciza de goma a una altamente suave, obteniendo de esta manera un avance muy importante en la tecnología del neumático. C.K. Welch en el año de 1884, inventó el neumático con talón que consistía en agregar alambres de acero trenzado para fijar el neumático a la llanta obteniendo una cinta, esto fue un gran progreso al dar solución a este problema, que ya tenía mucho tiempo y en el cual se había utilizado diferentes técnicas sin llegar al éxito. Después en 1891 los hermanos Edward y Andrés Michelin industriales franceses que patentaron y perfeccionaron los neumáticos desmontables sobre la base de una bicicleta, cambiando para siempre la Industria de la manufacturación de los neumáticos, esto hizo que tres años después Michelin

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2021.1.1.365>
ISBN: 978-958-52071-8-9 ISSN: 2414-6390

replique este proceso en el sector de los neumáticos para autos [7], [8], [9].

Tradicionalmente, los morteros son mezclas de agregados finos con un cementante y agua. Su origen data desde el inicio del hombre, encontrándose pinturas dentro de cuevas neolíticas sobre superficies preparadas, calaveras cubiertas con empaste de cal pulida, casas construidas con ladrillos que datan desde 7000 A.C. Utilizado en distintos lugares, se evidencia el uso de mortero con yeso en las pirámides de Keops en Egipto, en el Palacio de Mycenae en Grecia, el fondeadero de Kition en Chipre. El uso de mortero con cal se lo encuentra en Grecia y Roma en los palacios y templos a dioses, el coliseo, el panteón, acuaductos. En el siglo IX al XI, los morteros medievales no muestran progreso de la tecnología dejada por los romanos. Hasta el final de la edad media, las viviendas se construían con materiales combustibles, las que eran propensas en incendios. A finales del siglo XIV se promueve la construcción con piedra, impulsando el desarrollo de la tecnología de los morteros. En 1800 se investigan las mezclas de mortero con calizas y arcilla, sus propiedades hidráulicas, las pruebas de resistencia al agua del mar, tomando como referencia el método de elaboración romano. En 1811 se introduce el cemento hidráulico artificial tipo "Portland" y tipo "Johnson" y otros de menor relevancia [10], [11], [12], [13].

El uso de caucho reciclado como agregado componente ha sido investigado bajo diferentes enfoques y con resultados alentadores por sus propiedades que contribuyen a la resistencia de los productos, sean estos paneles texturizados, tejas de cubierta, hormigón reciclado, concreto estructural, entre los más relevantes [14], [15] [16], [17] [18]. En este estudio se analizaron las propiedades mecánicas del mortero de cemento incluyendo caucho reciclado como agregado.

II. METODOLOGÍA

Se elaboraron dos tipos de morteros, el mortero tradicional (MT) y el mortero agregando caucho reciclado (MCR). Para el MT se utilizó la dosificación 1:2, esto es, una parte de cemento y dos partes de arena. Para el MCR se probaron dos dosificaciones 1:2:1 y 1:2:2, (MCR-1 y MCR-2), esto es, una parte de cemento, dos partes de arena y una parte de caucho reciclado o dos partes de caucho reciclado. Para todas las dosificaciones se utilizó un mismo peso de agua, 472,7 gramos o 0.47 L. En la Fig. 1 se muestran cilindros elaborados con las dos mezclas, MCR y MT.



Fig. 1 Muestras de MCR (izq) y MT (der)

Se realizaron ensayos de laboratorio de adherencia, absorción, densidad, resistencia a la compresión y pruebas térmicas. La prueba de resistencia a la adherencia se la realizó a la dosificación de MCR con mejores resultados previos. En la Fig. 2 y Fig. 3 se muestra el equipo y la viga ensayada.



Fig. 2 Ensayos de adherencia – Equipo utilizado



Fig. 3 Ensayos de adherencia – Viga elaborada

Los ensayos fueron realizados a cilindros de mortero de 4,50 cm de diámetro y 10 cm de altura. Para cada dosificación se realizaron 9 cilindros. Para el ensayo de resistencia a la compresión, los 9 cilindros fueron organizados en grupos de tres para romperlos a los 7, 14 y 28 días. En la Fig. 4 se muestran los cilindros ensayados.



Fig. 4 Cilindros ensayados

Los ensayos se realizaron siguiendo lo establecido en la Normativa Ecuatoriana de Normalización vigente.

Para los ensayos térmicos, se construyeron tres cajas cuadradas de 50 cm de largo, ancho y altura, con espesor de 2,5 cm. La primera caja fue realizada con plywood y recubrimiento del mortero MCR-1, la segunda caja fue realizada con plywood y recubrimiento de MT, y la tercera caja fue hecha con plywood sin recubrimiento.

Se utilizó una fuente generadora de calor de inducción ubicada a 25 cm de distancia de la cara frontal de cada caja, una pistola de termómetro láser que sirvió para medir temperatura en la fuente generadora de calor y en la caja. Se tomaron mediciones en 9 puntos de la cara frontal, tanto del lado externo como del lado interno, estos 9 puntos se ordenaron como una grilla de 3x3; y, en la cara lateral izquierda, cara lateral derecha y cara posterior se tomaron medidas en 1 punto tanto en el lado externo como en el lado interno de la cara. La lectura fue hecha cada 10 minutos, se tomaron 6 lecturas. En total se analizaron 144 lecturas por cada caja, para un total de 432 lecturas de temperatura.

Para determinar el porcentaje de atenuación ($T_{atenuada}$) de temperatura se utilizó (1):

$$T_{atenuada} = (T_{interna} - T_{externa}) / T_{externa} \quad (1)$$

Con los resultados obtenidos se realizaron las comparaciones entre el mortero con caucho reciclado y el mortero tradicional.

II. RESULTADOS

A. Ensayo de adherencia, absorción y densidad

En la propiedad de adherencia, a los 28 días, el mortero MCR-1 obtuvo una adherencia promedio de 0.62 MPa (0.13 desviación estándar), y el mortero MT obtuvo una adherencia promedio de 0.85 MPa (0.29 desviación estándar). En la Fig. 5 se muestra la distribución de valores de la adherencia en el diagrama de cajas, el mortero MCR-1 registra valores por

debajo de los registrados en el mortero MT, sin embargo, los valores de adherencia para morteros están por 0,2 MPa.

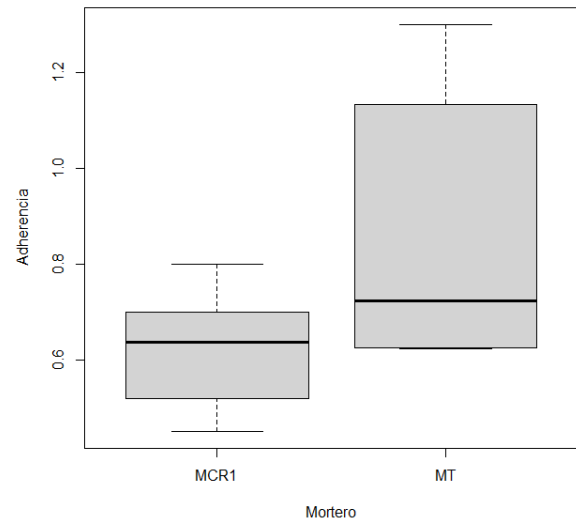


Fig. 5 Adherencia (Mpa) por tipo de mortero

En la propiedad de absorción a los 28 días, el mortero MCR-1 registró una absorción promedio del 13.96% (0.42 desviación estándar), el mortero MCR-2 registró una absorción promedio del 12.42% (0.11 desviación estándar), y el mortero MT registró una absorción promedio del 12.73% (0.06 desviación estándar). En la Fig. 6 se muestra la comparación de los valores obtenidos.

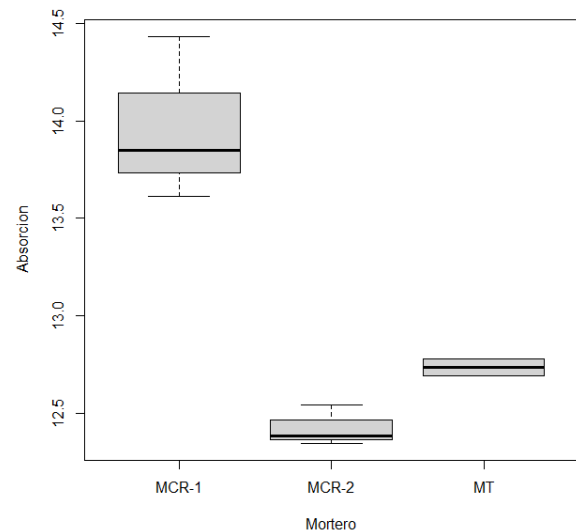


Fig. 6 Absorción (%) por tipo de mortero

En la propiedad de densidad a los 28 días, el mortero MCR-1 registró una densidad promedio del 1911.43 Kg/m³ (19.81

desviación estándar), el mortero MCR-2 registró una densidad promedio del 1718.37 Kg/m³ (23.95 desviación estándar), y el mortero MT registró una densidad promedio del 2029.35 Kg/m³ (12.43 desviación estándar).

En las Tablas I, II y III se muestran los resultados del ensayo.

TABLA I
ENSAYOS DE ADHERENCIA (MPA)

No. Ensayo	Tiempo (días)	MCR-1	MT
1	7	0,413	0,590
2	7	0,373	0,551
3	7	0,278	0,506
4	7	0,290	0,443
5	7	0,403	0,524
6	7	0,335	0,545
7	14	0,351	0,505
8	14	0,524	0,566
9	14	0,493	0,519
10	14	0,439	0,532
11	14	0,475	0,673
12	14	0,503	0,480
13	28	0,451	0,660
14	28	0,800	0,625
15	28	0,700	1,300
16	28	0,673	0,623
17	28	0,519	1,132
18	28	0,600	0,787

TABLA II
ENSAYOS DE ABSORCIÓN (%)

No. Ensayo	Tiempo (días)	MCR-2	MCR-1	MT
1	7	12,67	13,90	11,40
2	7	12,63	13,41	
3	7	13,21	13,34	
4	14	12,82	13,59	12,63
5	14	12,33	14,31	
6	14	12,21	14,81	
7	28	12,34	14,43	12,69
8	28	12,54	13,85	12,78
9	28	12,38	13,61	

TABLA III
ENSAYOS DE DENSIDAD (KG/M³)

No. Ensayo	Tiempo (días)	MCR-2	MCR-1	MT
1	7	1767,16	1894,32	2015,60
2	7	1799,14	1903,26	
3	7	1771,26	1907,50	
4	14	1734,35	1890,70	2018,60
5	14	1735,61	1889,02	
6	14	1753,73	1893,69	
7	28	1727,74	1892,52	2020,56
8	28	1691,16	1932,04	2038,14
9	28	1736,24	1909,75	

B. Ensayo de resistencia a la compresión

En la propiedad de resistencia a la compresión a los 28 días, el mortero MCR-1 registró una resistencia a la compresión promedio del 42.98 Kg/cm² (9.63 desviación estándar), el mortero MCR-2 registró una resistencia a la compresión promedio del 25.16 Kg/cm² (2.27 desviación estándar), y el mortero MT registró una resistencia a la compresión promedio del 154.08 Kg/cm² (4.44 desviación estándar). En la Fig. 7 se muestra el comparativo de los valores obtenidos.

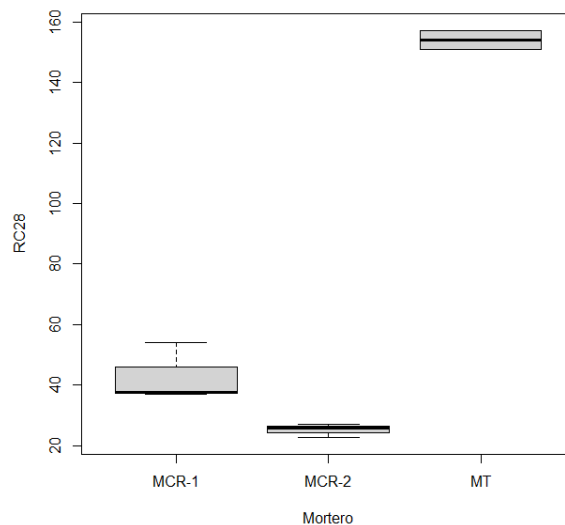


Fig. 7 Resistencia a la compresión (Kg/cm²) por tipo de mortero

En la Tabla IV se muestran los resultados del ensayo.

TABLA IV
ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (KG/CM²)

No. Ensayo	Tiempo (días)	MCR-2	MCR-1	MT
1	7	22,01	35,85	78,62
2	7	17,61	33,33	
3	7	18,87	26,42	
4	14	25,16	44,03	123,9
5	14	25,79	39,62	
6	14	26,42	37,74	
7	28	25,79	37,74	157,23
8	28	22,64	37,11	150,94
9	28	27,04	54,09	

C. Ensayo de temperatura

En la propiedad de temperatura, se relacionó el tiempo de exposición a la fuente de calor con el valor de temperatura en la cara interna de la caja. De este modo, en la Fig. 8 se muestran los valores obtenidos por los dos morteros y la caja de control. El mortero MCR-1 no registra valores mayores a 45°C, mientras que el mortero MT y la caja de control muestran

valores superiores a 45°C, lo que presupone que la atenuación de temperatura del mortero MRC-1 es mayor.

El porcentaje de atenuación registra valores negativos debido a que se genera una disminución de la temperatura en la cara interna de la caja. Mayor valor negativo implica un mayor rendimiento térmico del mortero.

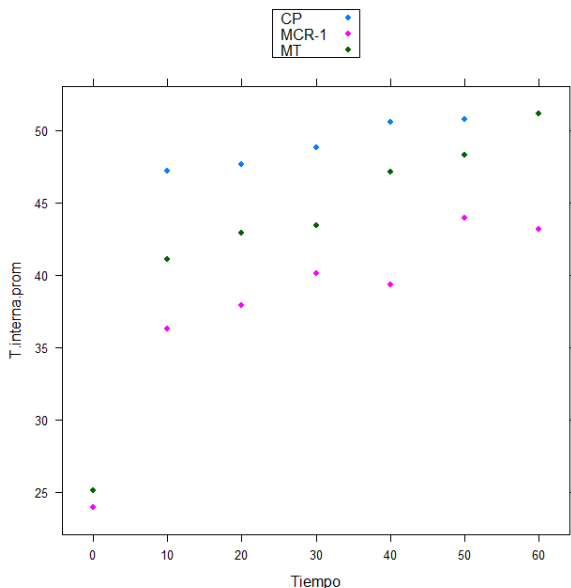


Fig. 8 Temperatura interna promedio (°C) según el tiempo de exposición

Al analizar el resultado de porcentaje de atenuación de la temperatura por cada mortero en función de la exigencia de clima severo, se observa en la Fig. 5 que el mortero MCR-1 registra mayores rendimientos bajo mayores exigencias.

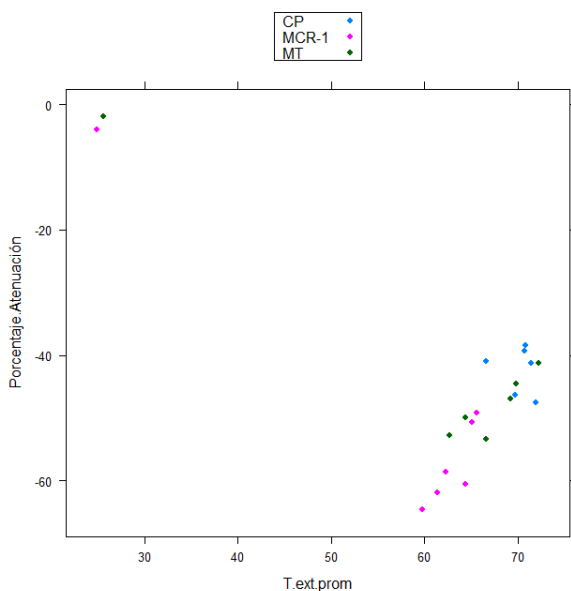


Fig. 5 Rendimiento de atenuación por exigencia en temperatura

En el parámetro de atenuación de la temperatura, el mortero MCR-1 registró valores promedio de -49.91% de atenuación (21.04 de desviación estándar), el mortero MT registró valores promedio de -41.54% de atenuación (18.01 de desviación estándar), y la caja de control registró valores promedio de -42.31% de atenuación (3.76 de desviación estándar).

CONCLUSIONES

- Se comprobó que es factible implementar el reciclado del caucho de las llantas fuera de uso (NFU) como material agregado al mortero MT para reducir los índices de contaminación ambiental, mejorando de esta manera la salud pública de la ciudadanía.
- Que el mortero tradicional con caucho reciclado posee características de aislamiento térmico debido a que es un material poroso y granular.
- El material cumple con normas y especificaciones que se exigen para los morteros.
- Los ensayos de laboratorio al material demostraron que posee: resistencia a la compresión, adherencia, absorción, aislamiento térmico, y menor densidad.
- La materia prima para elaborar en el mortero es fácil de conseguir en el mercado.
- El mortero tradicional con caucho reciclado para recubrimiento de mampostería es un material que por su bajo costo en comparación con otros materiales del mercado con igual características, va dirigido para el uso en extractos sociales económicos medios y bajos.

TRABAJOS CITADOS

- [1] OMS, «Intoxicación por plomo y salud,» Ginebra, 2016.
- [2] P. La Roche, «Calculating green house gas emissions for buildings: analysis of the performance of several carbon counting tools in different climates,» *Informes de la Construcción*, vol. 62, n° 517, pp. 61-80, Marzo 2010.
- [3] M. G. Andrade, M. Calero, V. Barriga y B. R. Córdova, «Relationship between urban noise and vehicular traffic in the city of Guayaquil,» de *16th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Innovation in Education and nclusion"*, Lima, 2018.
- [4] C. Makri, J. N. Hahladakis y E. Gidaracos, «Use and assessment of "e-plastics" as recycled aggregates in cement mortar,» *Journal of Hazardous Materials*, vol. 379, p. 120776, 5 11 2019.
- [5] P. Hidalgo, *Elaboración de teja utilizando como materia prima caucho reciclado*, Quito: Universidad de las Américas, 2018.
- [6] A. Saltos, J. Garcés, L. Ordóñez, M. Suárez y H. Guerrero, «Utilización de neumáticos usados como agregado en el hormigón: caso provincia de Santa Elena,

- Ecuador,» *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, vol. 4, n° 1, pp. 16-27, Junio 2017.
- [7] A. F. Angelin, R. C. Cecche Lintz, L. A. Gachet-Barbosa y W. R. Osório, «The effects of porosity on mechanical behavior and water absorption of an environmentally friendly cement mortar with recycled rubber,» *Construction and Building Materials*, vol. 151, pp. 534-545, October 2017.
- [8] S. Boukour y M. L. Benmalek, «Performance evaluation of a resinous cement mortar modified with crushed clay brick and tire rubber aggregate,» *Construction and Building Materials*, vol. 120, pp. 473-481, September 2016.
- [9] R. Malinowski, «Ancient mortars and concretes: Aspects of their durability,» *History of Technology London*, vol. 7, pp. 89-100, 1982.
- [10] R. Malinowski y Y. Garfinkel, «Prehistory of concrete,» *Concrete International*, vol. 13, n° 3, 1991.
- [11] A. Reller, P. Wilde, H. Wiedemann, H. Hauptmann y G. Bonani, «Comparative studies of ancient mortars from Giza, Egypt, and Nevali Çori, Turkey,» *MRS Online Proceedings Library Archive*, vol. 267, 1992.
- [12] R. Malinowski, A. Slatkine y M. Ben Yair, «Durability of roman mortars and concretes for hydraulic structures at cesarea and tiberias,» *Final report of the rilem international symposium*, 1961.
- [13] Á. Aranguren, «motoryracing.com,» 30 Octubre 2017. [En línea]. Available: <https://www.motoryracing.com/coches/noticias/el-neumatico-y-su-interesante-historia/>.
- [14] R. Clavero, «El neumático, "ese compañero de viaje",» *Anales de mecánica y electricidad*, pp. 82-85, 2008.
- [15] M. Montes, «La Ciencia en la Historia, Dunlop y los neumáticos de caucho,» *Clío: Revista de historia*, vol. 195, pp. 88-90, 2018.
- [16] R. Veliz y B. Zulay, «Paneles texturizados en base al caucho reciclado para paredes interiores de edificaciones,» 2018.
- [17] J. Méndez, «Elaboración de moldes de tejas, para techos con caucho reciclado para viviendas de interés social.,» Guayaquil, 2019.
- [18] P. C. Hidalgo, «Elaboración de teja utilizando como materia prima caucho reciclado,» Guayaquil, 2018.
- [19] O. Agudelo, «Elaboración de tejas utilizando residuos de Polietileno Rerefalato (PET),» 2019.
- [20] M. Ordóñez y F. F. Loor, «Análisis comparativo del comportamiento mecánico del hormigón tradicional vs. hormigón con inclusión de caucho reciclado,» *Anales de Edificación*, vol. 5, n° 2, pp. 9-13, 2019.