

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL**



**Efecto de la resistencia y durabilidad del concreto al reemplazar ladrillo triturado**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE  
BACHILLER EN INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL**

**AUTOR**

**Isamary Ines Zamora Diaz**

**ASESOR**

**Carlos Rafael Tafur Jimenez**

<https://orcid.org/0000-0003-0119-8234>

**Chiclayo, 2023**

## TIB

### INFORME DE ORIGINALIDAD

23%

INDICE DE SIMILITUD

22%

FUENTES DE INTERNET

7%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

1

[hdl.handle.net](https://hdl.handle.net)

Fuente de Internet

10%

2

[repositorio.ucv.edu.pe](https://repositorio.ucv.edu.pe)

Fuente de Internet

2%

3

Submitted to Universidad Católica Santo  
Toribio de Mogrovejo

Trabajo del estudiante

1%

4

[www.scientific.net](http://www.scientific.net)

Fuente de Internet

1%

5

Hai-Van Thi Mai, May Huu Nguyen, Son Hoang  
Trinh, Hai-Bang Ly. "Toward improved  
prediction of recycled brick aggregate  
concrete compressive strength by designing  
ensemble machine learning models",  
Construction and Building Materials, 2023

Publicación

1%

6

Nunzio Viscione, Rosa Veropalumbo, Cristina  
Oreto, Salvatore Antonio Biancardo,  
Francesco Abbondati, Francesca Russo.  
"Additional procedures for characterizing the

1%

## Índice

<b>Resumen .....</b>	<b>4</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>5</b>
<b>Introducción.....</b>	<b>6</b>
<b>Materiales y Métodos .....</b>	<b>8</b>
<b>Cemento .....</b>	<b>8</b>
<b>Agregados Naturales .....</b>	<b>8</b>
<b>Ladrillo Triturado.....</b>	<b>8</b>
<b>Diseño de Mezcla .....</b>	<b>9</b>
<b>Resultados y Discusión.....</b>	<b>12</b>
<b>Ensayo del concreto fresco .....</b>	<b>12</b>
<b>Ensayo a la compresión .....</b>	<b>13</b>
<b>Ensayo de durabilidad .....</b>	<b>15</b>
<b>Conclusiones .....</b>	<b>16</b>
<b>Referencias .....</b>	<b>17</b>

## Resumen

La industria de la construcción actualmente se encuentra en un acelerado desarrollo, sin embargo, es de las más contaminantes a nivel mundial debido la explotación masiva de canteras para la utilización de los agregados en el diseño por ello en los últimos años los investigadores buscan alternativas ecológicas como el ladrillo triturado y han realizado estudios que ayuden a mejorar los materiales de la mezcla del concreto logrando una alta resistencia a los 28 días. El objetivo de la presente investigación es determinar el efecto de la resistencia y durabilidad del concreto. Empleando concreto patrón  $f'c= 175 \text{ kg/cm}^2$  y reemplazo parcial de ladrillo triturado por agregado fino en los porcentajes de 10, 20 y 30 % respectivamente, luego se realizó la comparación de las propiedades del concreto patrón y experimental. El resultado arrojó que la óptima reemplazo de ladrillo triturado en sustitución parcial del agregado fino es del 10% para un  $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$  siendo el aumento de la resistencia a la compresión, durabilidad como también en las propiedades en estado fresco del concreto.

**Palabras clave:** Ladrillo triturado, RCD, concreto, resistencia y durabilidad

### **Abstract**

The construction industry is currently in an accelerated development, however, it is one of the most polluting worldwide due to the massive exploitation of quarries for the use of aggregates in the design, so in recent years researchers are looking for ecological alternatives such as crushed brick and have conducted studies that help improve the materials of the concrete mixture achieving high strength after 28 days. The objective of this research is to determine the effect of the resistance and durability of concrete. Using concrete pattern  $f'c = 175 \text{ kg / cm}^2$  and partial replacement of crushed brick by fine aggregate in the percentages of 10, 20 and 30 % respectively, then the comparison of the properties of the pattern and experimental concrete was performed. The result showed that the optimal replacement of crushed brick in partial replacement of fine aggregate is 10% for an  $f'c = 175 \text{ kg / cm}^2$  being the increase in compressive strength, durability as well as in the properties in fresh state of the concrete.

**Keywords:** Crushed drill, RCD, concrete, strength, and durability.

## Introducción

Hoy en día la industria de la construcción viene incrementándose de manera progresiva. La ONU en el programa medioambiental realizado en el año 2019, presenta un reporte en el cual de todos los insumos que se necesita para elaborar el concreto, la arena es el tercer recurso más utilizado después del agua y aire; también menciona que durante ese año se utilizó 50 000 millones de toneladas de arena y grava, donde la mayor parte es destinada al sector construcción [1]. El Instituto Nacional de estadísticas e Informática (INEI), señala que en el Perú la industria de la construcción ha crecido en un 41.3% en el año 2021 [2]. Antes de pandemia por “COVID – 19, en el año 2019 se tuvo una producción de arena de 1.922,162 toneladas a diferencia del 2020 que bajo su producción en un 52.7% con respecto al 2019 [3].

En síntesis, el concreto es esencial en la sociedad, debido a su resistencia, durabilidad, fácil elaboración; sin embargo, es uno de los contaminantes que emite 10% de CO<sub>2</sub>, donde incluye el combustible, energía y descomposición de carbonatos [4]. Por otro lado, los RCD (residuos sólidos de construcción) también va incrementado a raíz de nuevas edificaciones, uno de los principales elementos de los RCD son las unidades de albañilería, que básicamente está compuesto por arcillas [5].

Hay muchas investigaciones donde utilizan el RCD de ladrillo en sustitución parcial del agregado grueso o el polvo de este como sustitución del cemento.

Los autores [6], afirman que al realizar estudios de aprendizaje automático integrados por micromecánica de hormigón que contiene ladrillos de arcilla triturados como agregado grueso. El concreto mezclado con agregado de ladrillos de arcilla triturada mostró una menor resistencia a la compresión en comparación con el concreto que contenía agregado normal, y fue difícil predecir el desempeño del material con base en las especificaciones y modelos existentes. Asimismo, ante la respuesta de tensión – deformación y módulo de Young tuvo un comportamiento en la mayoría de los casos a excepción del a/c 0.65 que fue baja.

[5], realizaron una investigación de mortero autocompactante con arena reciclada proveniente de ladrillos de arcilla, en la cual realiza el remplazo en 0, 5, 10, 25 y 50%., de la cual la trabajabilidad del mortero no se ve afectado hasta 50 remplazo del 50% de RBS, además la densidad del mortero disminuyo a medida que se incrementaba el % de reemplazo. En cuanto a la resistencia de compresión se disminuye a los 28 días en referencia al mortero patrón.

[7], hicieron una comparación de concreto convencional con concreto sustituido en el volumen de la mezcla por partículas de ladrillo reciclado en porcentajes de FBA 30%, 50%, 70%, 90% y 100% respectivamente. De la cual a medida que se aumentaba el remplazo en

volumen de la mezcla la densidad del concreto disminuyo en 175 kg/m<sup>3</sup>. Asimismo, el remplazo de FBA influye negativamente a la resistencia de concreto en 17% cuando se reemplaza el 100%.

Por último, [8] realizaron una comparación de concreto convencional con concreto sustituido en el volumen de la mezcla por partículas de ladrillo reciclado en porcentajes de FBA 30%, 50%, 70%, 90% y 100% respectivamente. De la cual a medida que se aumentaba el remplazo en volumen de la mezcla la densidad del concreto disminuyo en 175 kg/m<sup>3</sup>. Asimismo, el remplazo de FBA influye negativamente a la resistencia de concreto en 17% cuando se reemplaza el 100%.

Sin embargo, hay pocas investigaciones que se han realizado sobre el efecto del ladrillo triturado en el agregado fino. Partiendo de esta problemática, se pretende innovar y reutilizar los RCD en particular las unidades de albañilería para mejorar la calidad del concreto, asimismo reducir la cantidad de residuos de construcción. Para ello se tiene como finalidad analizar el comportamiento de las propiedades del concreto fresco, resistencia y durabilidad que produce cuando se emplea el ladrillo triturado (LT) en remplazo porcentual de agregado fino en porcentajes del 10, 20 y 30% respectivamente.

## **Materiales y Métodos**

### ***Cemento***

Se utilizó Cemento Portland Tipo I por ser uno de los cementos que se obtiene mayor resistencia con una densidad de 3.14 kg/cm<sup>3</sup>, este tipo de cemento está libre de materiales de cementación adicionales, cumpliendo con la normativa ASTM C150.

### ***Agregados Naturales***

Esta investigación utilizo agregado fino proveniente de la cantera La Victoria – Pátapo, la cuales realizo el ensayo de granulometría donde se obtuvo su módulo de fineza de 3.11; de la cual se puede decir que está dentro de los parámetros que establece la ASTM C136. En cuanto al agregado grueso procedente de la Cantera Pacherras – Púcala, también se realizó el ensayo de granulometría donde se obtuvo su TMN (Tamaño Máximo Nominal) de ¾”.

### ***Ladrillo Triturado***

Se empleo LT proveniente de los RCD, además de los desechos de una empresa de ladrillos industriales, en particular se utilizó ladrillo industrial para techo (30 x 30 x 15 cm), de la cual se utilizó 50kg. Una vez identificado los puntos ya antes mencionados se seleccionó y separo el ladrillo así obteniéndose un material no contaminado, luego fue llevado al proceso de trituración primario en el que por medio de una comba se trincho en partes más pequeñas; luego fue llevado a otro triturado en la Maquina de los ángeles en la cual se colocó una cantidad de 7kg por un periodo de 8 minutos. Una vez obtenido el LT se pasó por la malla N°4 para separar las partículas grandes de la muestra, de la misma manera se pasó por la malla N.º 200 para separar las partículas más finas.

De este material se realizó el ensayo de granulometría donde se obtuvo su módulo de fineza de 3.15; de la cual se puede decir que está dentro de los parámetros que establece la ASTM C136.



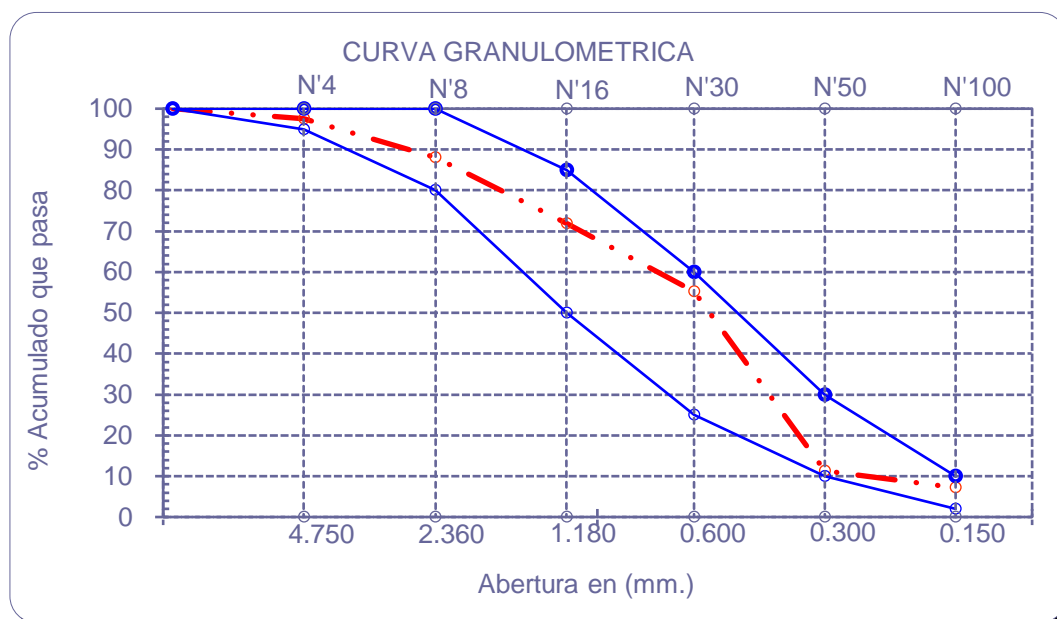


Figura1. Curva Granulométrica del ladrillo triturad

### *Diseño de Mezcla*

En la presente investigación se evaluar el efecto que tiene el concreto al usar LT para reemplazar parcialmente el agregado fino. Para ello se efectuó 4 diseños de mezcla, está conformada por muestras base concreto patrón de  $f'c$  175 kg/cm<sup>2</sup> y muestras experimentales con remplazos en el agregado fino de 10%, 20% y 30%, cuyo fin es lograr los objetivos de la investigación. En la Figura 2. La Tabla 1 se muestra la identificación de probetas y barras para el ensayo por durabilidad.

Cabe mencionar que el agregado fino fue reemplazado en condiciones secas, sin remojar en agua, esto se realizó con la finalidad para evaluar el efecto que produce en la trabajabilidad del concreto. El concreto fresco fue probado para medir la trabajabilidad, densidad y luego vaciarlo en los moldes. Todas las muestras fueron desencofradas después de un periodo de 24 horas y colocada en curado hasta la fecha de ensayo para compresión.

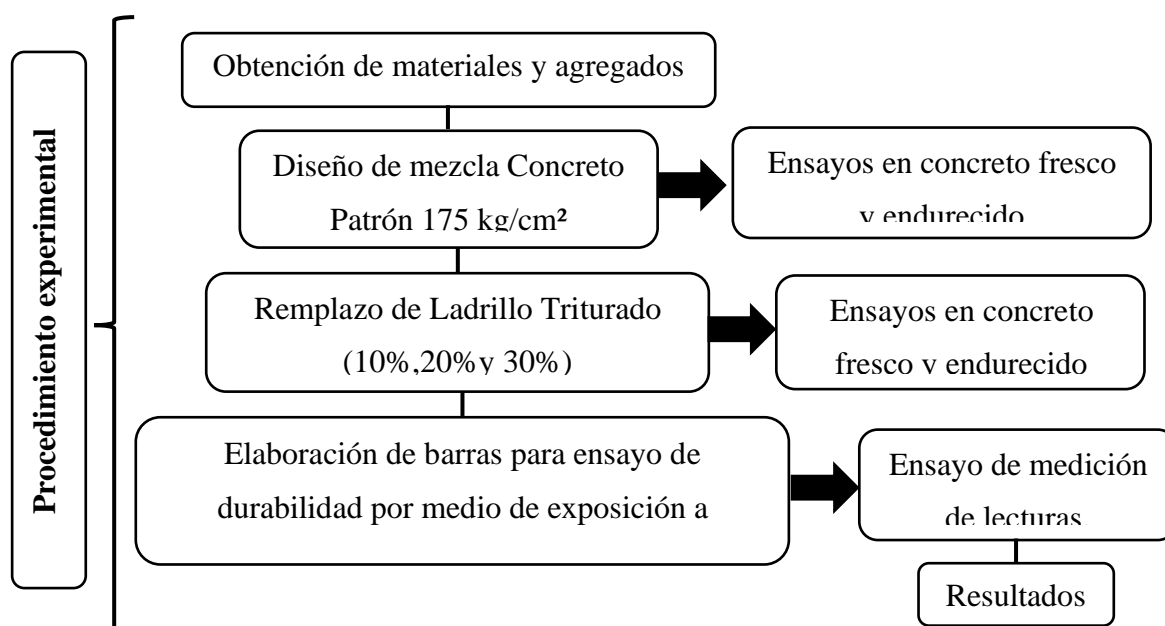


Figura 2. Procedimiento experimental del proceso que se llevó a cabo en la presente investigación

Tabla 1. Identificación de la muestra  $f'c$  175 kg/cm<sup>2</sup>.

Muestra Base	Muestra Experimental	
	Resistencia	Durabilidad
CP	4	6
10%	4	6
20%	4	6
30%	4	6

Las cantidades de materiales utilizados por m<sup>3</sup> en la mezcla de concreto de detallaran en la Tabla 2 dependiendo del  $f'c$  175 kg/cm<sup>2</sup>

Tabla 2. Cantidades de materiales por m<sup>3</sup>

$f'c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Cemento (kg/m <sup>3</sup> )	Agregado Fino (kg/m <sup>3</sup> )	Agregado Grueso (kg/m <sup>3</sup> )	Agua (lt/m <sup>3</sup> )
175	26.741	49.137	49.289	16.024

Para el diseño de mezcla de los porcentajes se realizó el remplazo del LT por el agregado fino en función del peso de la arena se detallan en la Tabla 3.

Tabla 3. Cantidades de materiales por m<sup>3</sup> del Ladrillo Triturado

	CP	10%	20%	30%
Arena (kg/m <sup>3</sup> )	49.14	44.22	39.31	34.40
Ladrillo Triturado (kg/m <sup>3</sup> )	-	4.91	9.83	14.74

Se realizaron ensayos de concreto fresco para evaluar las propiedades físicas en  $f'c = 175$  kg/cm<sup>2</sup> donde se obtuvo la temperatura en un rango de 30 - 33°C (ASTM C1064) Figura 3 a), un asentamiento de 3.2 - 4" (ASTM C143). Figura 3 b) temperatura. Figura 5 c) aire atrapado de 1.3 - 1.7% y peso unitario de 2330 - 2312 kg/m<sup>3</sup> (ASTM C138).

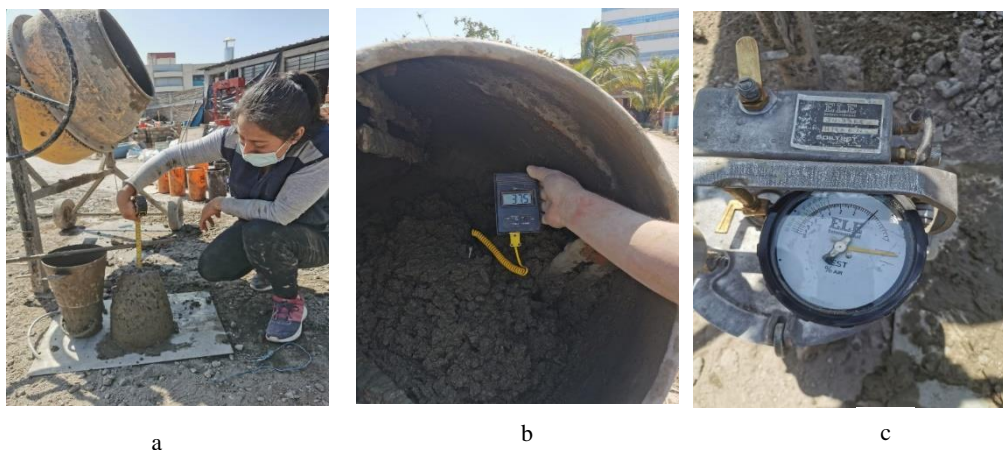


Figura 3. Ensayos en estado fresco: a) asentamiento b) temperatura c) peso unitario y contenido de aire.

Asimismo, los ensayos en concreto endurecido para evaluar las propiedades mecánicas son llevados a la prensa hidráulica, las dimensiones de las probetas cilíndricas 150 mm de diámetro x 300 mm de alto para el ensayo de resistencia a la compresión (ASTM C39), como se muestra en la Figura 4 a). Se ensayaron 36 probetas para cada ensayo los cuales fueron curados a edades de 7 y 14 días (4 probetas) y 28 días (4 probetas).

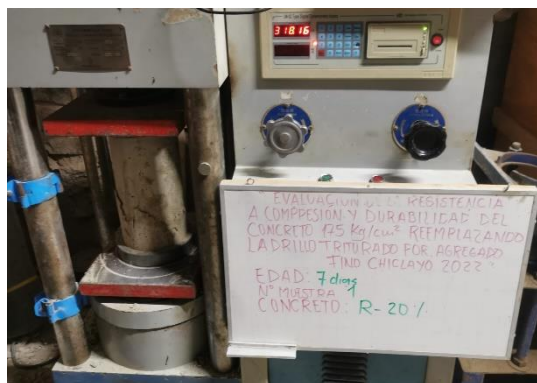
En cuanto al ensayo de durabilidad por exposición a sulfatos tuvo una duración de 5 meses, el procedimiento para la elaboración de barras se trabajó de acuerdo con lo que especifica la

NTP 334.051, la cual menciona que la relación de arena y cemento es de una parte de cemento por 2.75 partes de arena, con una relación a/c de 0.485 para todo tipo de cemento sin aire incorporado.

Una vez realizado el mortero se procede a colocar en los moldes de cubos y barras, en 2 capas con 16 golpes por capa. Posteriormente se procede a llenar los recipientes de agua y se coloca los moldes de cubos y barras, se tapa el recipiente y se lleva al horno para un curado inicial en total se colocarán 6 barras y 21 cubos por cada diseño, en un periodo de 24 horas. Una vez pasado este tiempo se procede a sacar las muestras del horno y deja enfriar, para después dar lugar a desencofrar, realizado este paso se apartan dos cubos para ser ensayados en la máquina de compresión.

Si los cubos llegan a la resistencia de requerida de 20Mpa, las barras se llevan al comparador para tomar una lectura inicial y posteriormente ser colocada en la solución sulfatada, la cual consisten en disolver por cada 900lt de agua destilada 550 gr de la solución ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ).

Las mediciones de cambio de longitud serán las 1,2,3,4,5,8,13 y 15 semanas después de sumergir las barras en la solución sulfatada, después de las 15 semanas se toma lectura a los 4,6,9 y 12 meses. Figura 4b).



a)



b)

Figura 4. Ensayos en concreto endurecido: a) resistencia a la compresión b) durabilidad

## Resultados y Discusión

### *Ensayo del concreto fresco*

Se realizó el ensayo de asentamiento mediante el Cono de Abraham para determinar la consistencia de la mezcla en el diseño de 175 kg/cm<sup>2</sup> de la cual se obtuvo un asentamiento para el diseño patrón de 3.86 pulgadas y para los remplazos de 10% de LT la cual presenta una disminución hasta 6.7% respecto al diseño patrón; para el reemplazo de 20% y 30% de tiene una disminución de 10.62% y 14.5%, respectivamente como se muestra en la table 4.

Tabla 4. Asentamiento del concreto fresco – 175kg/cm<sup>2</sup>

	Slum	% Variación
Lt-10%	3.62	6.74%
Lt-20%	3.45	10.62%
Lt-30%	3.33	14.51%

De lo anterior se puede contrastar con las investigaciones de [5] dice que en condiciones seca del RBS el mortero fue fluido entre un rango de 200 a 225mm, sin embargo, al saturar el RBS durante 24 horas antes de realizar el mortero la fluides aumento la relación a/c aparente es necesario para que el mortero que contiene hasta un 50% de RBS obtenga una trabajabilidad similar a la del mortero.

Para [7], los resultados muestran que la densidad del concreto agregado de ladrillo reciclado que contiene FBA como reemplazo parcial de arena disminuye con el aumento del volumen de arena reemplazado, para 100% de sustitución de arena por agregado fino de ladrillo, la densidad disminuye en 150 kg/cm<sup>3</sup> lo que representa un 7% de la densidad de referencia. La densidad de referencia es igual a 2180kg/m<sup>3</sup>.

[9], menciona que a medida que se incrementa el porcentaje de reemplazo de CCB disminuye la trabajabilidad del concreto. A pesar de agregar más SP a la mezcla que contenía 30 % en peso de CBP (MC30), el asentamiento se redujo a aproximadamente 65 % de MC0. Aunque se usó una mayor cantidad de SP en la mezcla que contenía 10 % en peso de CBP (MC10) que en la mezcla que contenía 10 % en peso de SF (RF y CAC), se encontró que el concreto que contenía 10 % en peso de CBP tenía menos trabajabilidad. Esto puede deberse a la mayor porosidad del CBP y la forma de sus partículas.

En síntesis, de lo mencionado en la investigación por para un diseño de mezcla de 175 kg/cm<sup>2</sup> disminuye la trabajabilidad el concreto a medida que se va incrementado el porcentaje de reemplazo.

### ***Ensayo a la compresión***

Luego de haber realizado la metodología descrita en el punto anteriormente se realizan los ensayos de las propiedades mecánicas luego de 28 días de curado entre ellas en la resistencia a la compresión obteniendo como resultados al evaluar la LT en el diseño 175 kg/cm<sup>2</sup> un incremento de 3.62, 1.87 y 2.33% en los remplazos de 10%, 20% y 30% respectivamente; detallado en la Figura 5.

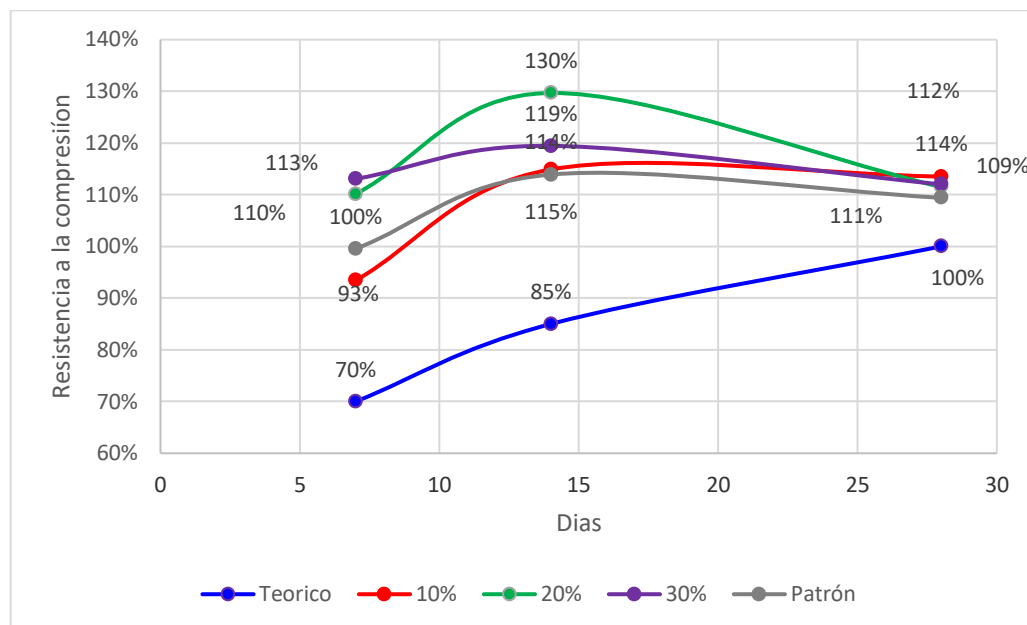


Figura 5. Ensayo de compresión

En ese sentido, los datos obtenidos en las pruebas de laboratorio son corroborados por [7], la resistencia a compresión a los 28 días del RBAC tiende a disminuir en un 17% cuando la arena natural se reemplaza al 100% por FBA, cuando se reemplaza una fracción de arena disminuye el 6%.

[9], realizó ensayos a compresión a edades de 7, 28 y 91 días; en la cual Después de 7 días de curado, se observó que la resistencia a la compresión del hormigón CBP era menor que la del hormigón sin CBP. La tasa de disminución alcanzó 4,66 %, 15,72 % y 27,28 % para proporciones de reemplazo de 10 %, 20 % y 30 % en peso. Sin embargo, la disminución de la resistencia es menor a edades posteriores, la resistencia a la compresión de la mezcla fue menor en 2,58 %, 10,69 % y 23,09 %, respectivamente, después de 28 días de curado. Por últimos para 91 días de curado, se puede observar una disminución de alrededor del 11,22 % en la resistencia a la compresión del hormigón que contiene 30 % de CBP (MC30) que la del hormigón que contiene 0 % de CBP (MC0).

[10] los resultados de ensayo a compresión para cinco mezclas que realizaron a edades de 3, 7 y 28 días. De la cual la resistencia a compresión de BAC es del 42% menor que la de NAC a

edad de 28 días, es debido a que la absorción de agua de CBA sin tratar afecta a las características de concreto. A diferencia del BAC tratado que incremento la resistencia en un 22 – 34% en comparación del BAC no tratado a los 28 días de curado.

[11], realizo ensayos de la resistencia de compresión a edades de 7, 14 y 28 días. Donde se obtuvo como resultados que la mezcla con 100% de agregado grueso de CCB reduciendo su resistencia, esto es debido a que la adherencia entre la pasta y este agregado de CCB. a reducción en las mezclas con árido grueso rojo 100% también fue la más alta en comparación con otras mezclas. Esta reducción de la resistencia también proviene de la mayor porosidad del agregado de ladrillo triturado rojo.

### ***Ensayo de durabilidad***

Luego de haber realizado la metodología descrita precedentemente se realizan los ensayos de las propiedades de cambio de longitud por exposición a soluciones sulfatadas se tomó medidas a 1,2,3,4, 5,8 semanas. De la cual obteniendo como resultados al evaluar la LT en el diseño 175 kg/cm<sup>2</sup> una variación de longitud tomada en la semana 8 de 0.72%, 1.16%, 0.64% en los remplazos de 10%, 20% y 30% respectivamente; detallado en la Figura 6.

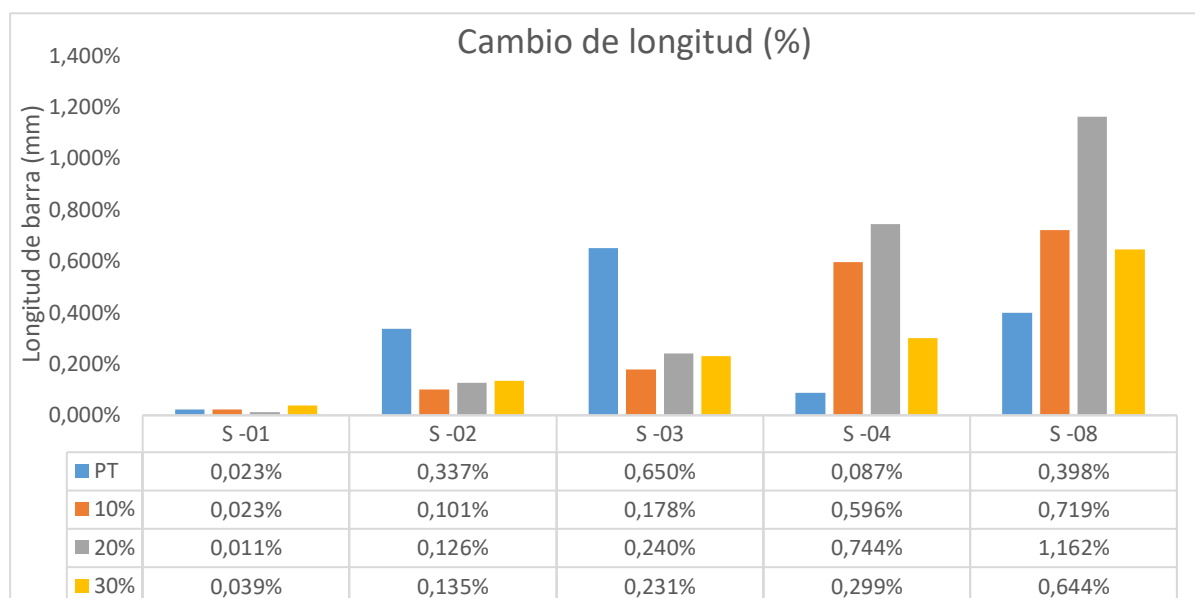


Figura 6. Ensayo de compresión, variación de longitud tomadas a la 1,2,3,4, 5,8 semanas.

## Conclusiones

La incorporación de LT en el concreto disminuye de manera significativa la trabajabilidad del concreto. El asentamiento del concreto con reemplazo de LT como agregado fino fue menor que el concreto convencional con agregados naturales en un 14.51%. La densidad del concreto fresco reemplazando LT varía en  $18 \text{ kg/m}^3$ , con referencia a la densidad del concreto patrón que fue de  $3330 \text{ kg/m}^3$ .

La resistencia del concreto con reemplazo del 10% de LT presenta un mejor comportamiento con referencia al concreto patrón. Incrementando la resistencia para un concreto de  $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$  en un 4.11% a los 28 días.

En el análisis estadístico se determinó para ensayo de durabilidad de una duración de 8 semanas el concreto convencional tiene un mejor comportamiento a diferencia de los reemplazados como el del 20% que es el más desfavorable presentando así una variación de longitud de 1.62% respectivamente.



## Referencias

- [1] ONU, «NACIONES UNIDAS,» 7 Mayo 2019. [En línea]. Available: <https://news.un.org/es/story/2019/05/1455611>. [Último acceso: 15 setiembre 2021].
- [2] G. DIGAMMA, «PERU CONSTRUYE,» 28 ABRIL 2021. [En línea]. Available: <https://peruconstruye.net/2021/04/28/ccl-construccion-habria-crecido-413-en-el-primer-trimestre/>. [Último acceso: 1 Setiembre 2021].
- [3] M. D. E. Y. M. PERU, «Ministerio de energías y minas peru,» 15 Setiembre 2021. [En línea]. Available: [http://www.minem.gob.pe/\\_publicacion.php?idSector=1&idPublicacion=615](http://www.minem.gob.pe/_publicacion.php?idSector=1&idPublicacion=615). [Último acceso: 20 setiembre 2021].
- [4] B. Fateh, «How does concrete and cement industry transformation contribute to mitigating climate change challenges?,» *Resources, Conservation & Recycling Advances*, p. 1, 2022.
- [5] Z. Zengfeng, X. Jianzhuang, D. Zhenhua, j. hubert, s. grigoletto y L. Courard, «Performance and durability of self-compacting mortar with,» *Journal of Building Engineering*, 2022.
- [6] H.-k. Kim, Y. Lim, M. Tafesse y B. Yang, «Micromechanics-integrated machine learning approaches to predict the mechanical behaviors of concrete containing crushed clay brick aggregates,» *Construction and Building Materials*, 2022.
- [7] B. Rosca, «Comparative aspects regarding concrete of structural grade made with recycled brick aggregate with / without fine particles from crushing,» *Materials Today: Proceedings*, 2022.
- [8] J. P. Zachariah, P. P. Sarkar y M. Pal, «A study on the moisture damage and rutting resistance of polypropylene modified bituminous mixes with crushed brick aggregate wastes,» *Construction and Building Materials*, 2022.
- [9] M. Atyia, M. Mahdy y M. Elrahman, «Production and properties of lightweight concrete incorporating recycled waste crushed clay bricks,» *Construction and Building Materials*, 2021.
- [10] Y. Jian, W. Shaban, E. Khalid, S. T. Blessen y J. Xie, «Properties of concrete containing strengthened crushed brick aggregate by pozzolan slurry,» *Construction and Building Materials*, 2020.

- [11] A. Noaman, G. Jameel y S. K. Ahmed, «Producing of workable structural lightweight concrete by partial replacement of aggregate with yellow and/or red crushed clay brick (CCB) aggregate,» *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*, 2021.