

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



**Reutilización de los residuos de baldosa cerámica en el mejoramiento de la
resistencia a compresión en adoquines de concreto tipo I**

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

AUTOR

Edwin Manuel Sanchez Medina

ASESOR

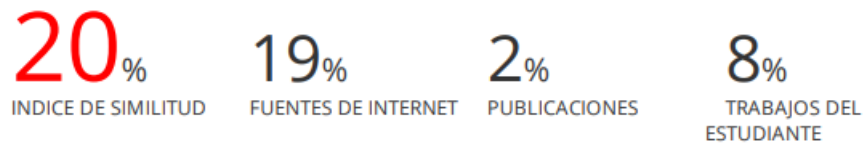
Ronald Esteban Villanueva Maguiña

<https://orcid.org/0000-0002-3707-5503>

Chiclayo, 2023

ARTICULO

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	5%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	4%
3	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	3%
4	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Infile Trabajo del estudiante	1%
6	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	repositorio.unp.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	www.researchgate.net Fuente de Internet	1%
9	tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	1%

Índice

Resumen	4
Abstract	5
Introducción.....	6
Metodología.....	8
Resultados	14
Conclusiones	20
Referencias	21
Anexos	22

Resumen

Este estudio tiene como objetivo examinar la factibilidad de reutilizar los residuos de baldosas cerámicas como un aditivo en la elaboración de adoquines de concreto tipo 1 para mejorar su resistencia a la compresión. Al agregar un 5% de baldosa cerámica triturada, se obtuvo un aumento del 0.35% en la resistencia promedio a los 28 días, alcanzando los 321.14 kg/cm², superando los requisitos que nos establece la NTP 399.611 de adoquines de concreto tipo I, el cual es 320 kg/cm². Estos hallazgos indican el potencial de los residuos de baldosas cerámicas como una solución efectiva y sostenible para mejorar las propiedades de los adoquines de concreto, y fomentar prácticas más respetuosas con el medio ambiente en la industria de la construcción, al mismo tiempo que contribuyen a la reducción de residuos.

Palabras clave: Concreto, residuos de construcción, adición, resistencia a compresión, adoquines.

Abstract

This study aims to examine the feasibility of reusing ceramic tile waste as an additive in the production of Type 1 concrete pavers to enhance their compressive strength. By adding 5% crushed ceramic tiles, an average increase of 10.69% in paver strength was achieved, reaching 321.14 kg/cm², surpassing the requirements set by NTP 399.611 for Type I concrete pavers, which is 290 kg/cm². These findings indicate the potential of ceramic tile waste as an effective and sustainable solution to improve the properties of concrete pavers and promote more environmentally-friendly practices in the construction industry while contributing to waste reduction.

Keywords: Concrete, construction waste , addition, compressive strength, pavers.

Introducción

A lo largo del tiempo, la ingeniería ha experimentado un gran desarrollo, lo que ha llevado a un aumento considerable en la producción de residuos de construcción. Estos residuos suelen ser eliminados en vertederos o arrojados a ríos, lo que genera en consecuencia grandes problemas ambientales. No obstante, algunas empresas extranjeras han encontrado una forma de reutilizar uno de estos residuos: las baldosas cerámicas.

Los residuos cerámicos se originan en las fábricas del sector de la construcción y se depositan en vertederos sin control, lo que ocasiona la pérdida de un material que podría ser reutilizado, valorizado o reciclado, además de tener un impacto negativo en el medio ambiente [1].

En todo el mundo, actualmente se producen 10 mil millones de toneladas de residuos de construcción, siendo Estados Unidos y China los principales productores con 7000 y 2300 millones de toneladas, respectivamente. Esto se debe principalmente al aumento de la población y, por lo tanto, al crecimiento del sector de la construcción [2].

En España, la industria cerámica es esencial para garantizar el bienestar de la sociedad y mantener un compromiso con la sostenibilidad medioambiental. Para lograrlo, se emplean sistemas de cogeneración que permiten reducir al mínimo el impacto ambiental producido por la actividad de elaboración de cerámicas por las fábricas [3].

En Perú, según el INEI en 2020, el sector de la construcción ha experimentado un aumento del 23.07%, lo que ha generado un incremento en la cantidad de residuos de construcción y demolición. Lamentablemente, las autoridades no les prestan la debida atención a los residuos cerámicos de construcción debido a la falta de conocimiento o capacitación sobre su aprovechamiento específico, lo que lleva a que los ciudadanos no tomen conciencia y realicen acciones perjudiciales para el medio ambiente al eliminar estos residuos en ríos, playas, lagos o vertederos ilegales [4].

En Chiclayo, se puede apreciar una implementación inadecuada del decreto DS N° 019-2016-vivienda, el cual prescribe medidas apropiadas para la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD). Además, la falta de programas ambientales destinados a la población ha llevado a un aumento en la cantidad de RCD, debido al crecimiento de la vivienda en áreas urbanas sin una gestión adecuada [5].

En el distrito de Pucalá, que está experimentando un proceso de urbanización y un aumento en la población, se presenta una situación similar en la que la cantidad de RCD es directamente proporcional al crecimiento poblacional. Los residuos se depositan sin control en el vertedero

de Pucalá y se queman sin tener en cuenta el impacto ambiental negativo, cuando en realidad podrían ser reutilizados o reciclados.

En este proyecto se empleará la baldosa cerámica, un tipo de residuo de construcción, como aditivo para mejorar la resistencia a compresión de los adoquines de concreto tipo I, a los 7, 14 y 28 días.

Los adoquines de concreto son elementos prefabricados hechos de concreto. Su fabricación requiere la utilización de cemento, agua de mezcla y agregados, y en ocasiones se emplean aditivos químicos [6].

Según [6], los adoquines se clasifican en tres tipos:

- Tipo I: adoquines diseñados para pavimentos peatonales.
- Tipo II: adoquines destinados a pavimentos con tráfico vehicular ligero.
- Tipo III: adoquines utilizados en pavimentos con tráfico vehicular pesado, como patios industriales y áreas de contenedores.

En la figura 1 se presentan los tipos y requisitos que deben cumplir cada tipo de adoquín.

Figura 1. Espesor nominal y resistencia a la compresión según el tipo de adoquín,

TIPO	Espesor nominal (mm)	Resistencia a la compresión ,min.MPA(kg/cm ²)	
		Promedio de 3 unidades	Unidad individual
I Tipo B,C y D Todos los tipos	40	31 (320)	28 (290)
	60	31 (320)	28(290)
II (Vehicular ligero)	60	41 (420)	37 (380)
	80	37 (380)	33 (340)
	100	35 (360)	32 (325)
III (Vehicular pesado, patios industriales o de contenedores)	≥80	55 (561)	50 (510)

Fuente: NTP 400.037

Una ventaja clave de estos adoquines es su capacidad de ser reutilizados en posteriores reparaciones, evitando así la necesidad de llevar a cabo costosas demoliciones y reconstrucciones. Esta característica adicionalmente aporta beneficios económicos a largo plazo durante toda la vida útil del proyecto [7].

Metodología

Materiales

En la presente investigación, los adoquines de concreto fueron elaborados utilizando cemento Portland tipo I de la marca Pacasmayo. El agregado grueso y el agregado fino se obtuvieron de las canteras situadas en el departamento de Lambayeque. La baldosa cerámica utilizada se recolectó del vertedero del distrito de Pucalá, como se observa en la figura 2, y se aplicaron criterios de selección para garantizar su calidad, incluyendo el uso exclusivo de baldosas esmaltadas sin ningún rastro de calcinación

Figura 2. Vertedero de Pucalá



Fuente: Propia

Se llevaron a cabo ensayos de laboratorio de granulometría, peso específico, peso unitario suelto y compactado, absorción y contenido de humedad del agregado fino, agregado grueso y baldosas cerámicas.

En el caso de las baldosas cerámicas, se tuvieron que triturar manualmente con un martillo de piedra hasta lograr un tamaño de aproximadamente 5 cm x 5 cm, para luego someter el material a la máquina de los ángeles con el fin de obtener una consistencia fina como se aprecia en la figura 3 y poder realizar los ensayos ya mencionados anteriormente.

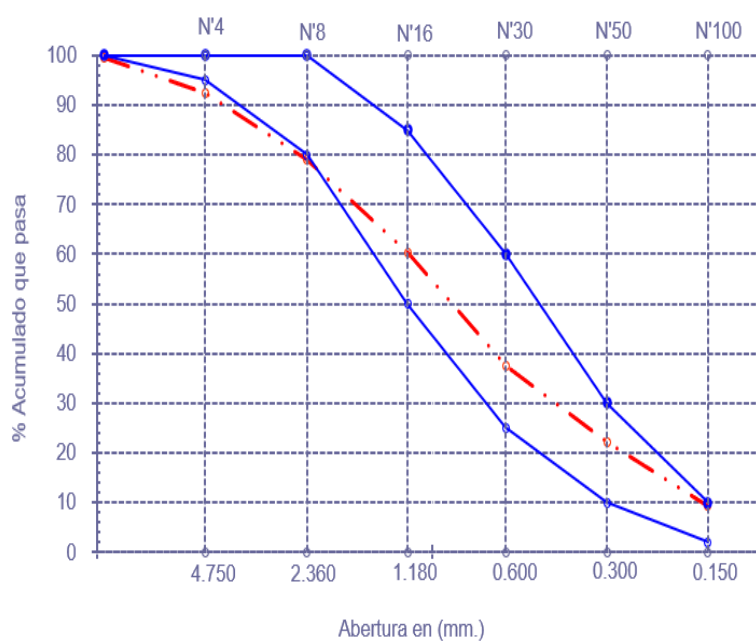
Figura 3. Baldosa cerámica triturada en la Máquina de los Ángeles



Fuente: Propia

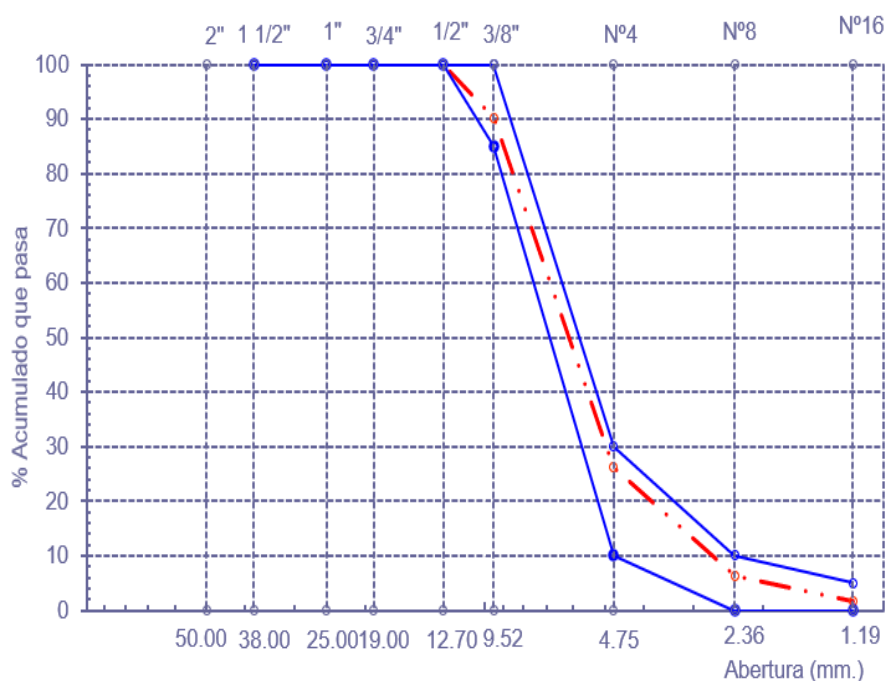
Las figuras 4 y 5 exhiben la distribución de tamaños de partículas del agregado fino y grueso, respectivamente, cumpliendo con los requisitos establecidos por la norma NTP 400.012 [8] . A pesar de esto se puede observar en la figura 6, que la curva granulométrica de la baldosa cerámica triturada no se ajusta a los parámetros de la curva del agregado fino. Sin embargo, este hecho no supone ningún problema, ya que dicho material se incorporará a la mezcla de concreto sin reemplazar al agregado fino.

Figura 4. Granulometría del Agregado fino



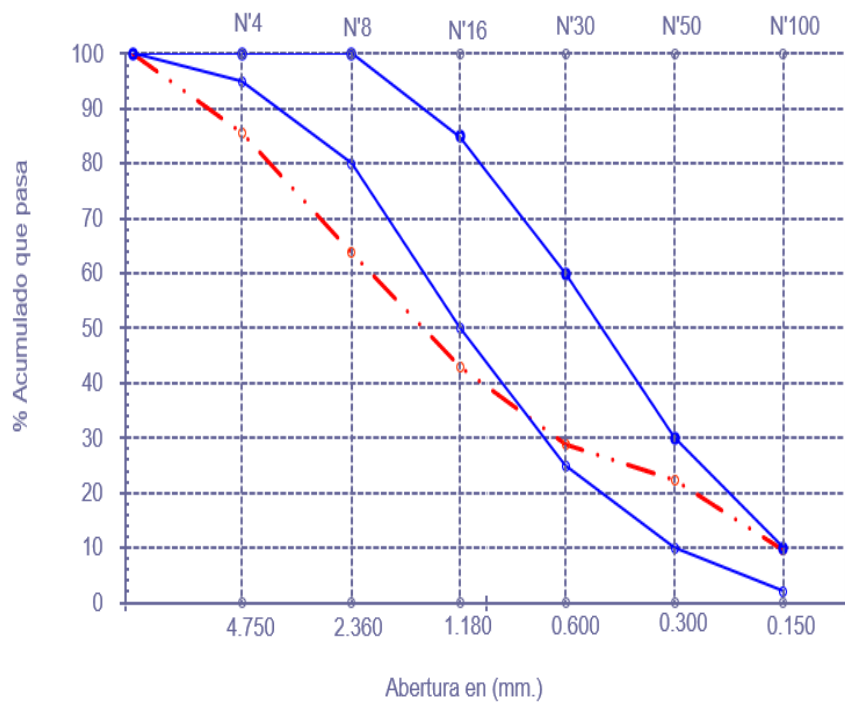
Fuente: Propia

Figura 5. Granulometría del Agregado grueso



Fuente: Propia

Figura 6. Granulometría del Agregado grueso



Fuente: Propia

En la tabla 1 de se muestra las principales propiedades físicas agregado fino y grueso, siguiendo los requisitos que nos proporciona [8,9,10 y 11].

Tabla 1. Propiedades Físicas del Agregado fino y grueso.

Agregado	TMN	Peso Específico (kg/m³)	Humedad (%)	Absorción (%)
Fino	N° 3/8"	2526	1.11	1.03
Grueso	N° 04"	2616	0.44	1.11

Fuente: Propia

En la tabla 2 se muestran las principales propiedades físicas de la baldosa cerámica triturada, siguiendo los mismos requisitos que el agregado fino.

Tabla 2. Propiedades Físicas de la Baldosa cerámica triturada.

Material	TMN	Peso Específico (kg/m³)	Humedad (%)	Absorción (%)
Baldosa cerámica	N° 3/8"	2454	1.43	2.32

Fuente: Propia

Diseño experimental

Se procedió a realizar el diseño de mezcla siguiendo los pasos proporcionados por el ACI 211[12]. Una vez que se obtuvieron las proporciones necesarias, se fabricaron 36 adoquines de concreto, incluyendo 9 patrones y 9 para cada uno de los tres porcentajes diferentes (5%, 10% y 15%).

Primero se preparó el molde de los adoquines (10x20x4 cm), limpiándolo con agua, para su posterior utilización.

Figura 7. Molde metálico de adoquines de concreto tipo I.



Fuente: Propia

Luego de ya tener las proporciones en peso para la elaboración de los adoquines de concreto, se procedió a colocar los materiales dentro de la mezcla en el trompo. Se debe tener en cuenta el siguiente orden a la hora de realizar el mezclado :

- Primero se añadieron los agregados (fino y grueso, dejándolos mezclarse durante unos segundos.
- A continuación, se vertió el cemento y se dejó mezclar por un tiempo adecuado.
- Finalmente, se mezclaron todos los materiales, incluyendo el agua, asegurándose de que la mezcla resultante fuera homogénea.

Una vez finalizado el proceso de mezclado, se vertió el concreto en los moldes y se compactó utilizando una mesa vibradora durante 15 segundos. Después de esto, se retiraron los moldes de los adoquines de concreto y se colocaron en una tabla de 1.5m x1.5 m.

Para la producción de los adoquines experimentales, se siguió el mismo procedimiento , pero se agregó un 5%, 10% y 15% de baldosas cerámicas trituradas según el peso del agregado fino del diseño de mezcla. En total se elaboraron 36 adoquines experimentales.

En la tabla 3 se muestran los datos de diseño que se realizaron a los diferentes materiales para la elaboración de los adoquines.

Tabla 3. Datos parra el diseño de mezcla

Datos	Agregado fino	Agregado grueso	Unidades
Tamaño Máximo Nominal	Nº 3/8"	Nº4"	pulgadas
Peso Unitario Suelto Seco	1371	1599	kg/m3
Peso Unitario Compactado Seco	2616	2526	kg/m3
Peso específico de Masa Seco	0.44	1.11	kg/m3
Contenido de Humedad	1.11	1.03	%
Módulo de fineza(adimensional)	2.995

Fuente: Propia

En la tabla 4 y 5 se muestran las dosificaciones en peso y volumen obtenidas del diseño de mezcla.

Tabla 4. Dosificación en peso

Diseño de los materiales en peso			
Cemento	Agregado grueso	Agregado fino	Agua
1	1.26	1.94	19.6713 litros

Fuente: Propia

Tabla 5. Dosificación en volumen

Diseño de los materiales en volumen			
Cemento	Agregado grueso	Agregado fino	Agua
1	1.42	1.89	19.6713 litros

Fuente: Propia

En la tabla 6 se muestran la cantidad de adoquines que se elaboraron.

Tabla 6. Muestra de adoquines de concreto

Adición de residuos de baldosas cerámicas triturada	Resistencia compresión			Suma parcial
	7 días	14 días	28 días	
0% (muestra patrón)	3 uds.	3 uds.	3 uds.	9 uds.
5%	3 uds.	3 uds.	3 uds.	9 uds.
10%	3 uds.	3 uds.	3 uds.	9 uds.
15%	3 uds.	3 uds.	3 uds.	9 uds.
Total =36 unidades				

Fuente: Propia

Protección de unidades

Después de la finalización de la producción de los 36 adoquines de concreto, se los dispuso sobre una superficie lisa para secar. Durante las primeras 24 horas, se tomó precaución para evitar su exposición directa al sol y otros agentes externos que pudieran afectar su calidad. Asimismo, se controló la temperatura ambiente para que se mantuviera en un rango entre 15°C y 25°C, a fin de prevenir la excesiva evaporación del agua.

Curado

Se llevó a cabo el proceso de curado de las muestras mediante la inmersión de los adoquines en tinas plásticas llenas de agua, de tal manera que quedaran completamente

cubiertos. El período de curado establecido fue de 7, 14 y 28 días. Es importante destacar que se utilizó agua potable y limpia para este proceso.

Ensayo de Resistencia a Compresión

Después de completar el período de curado, los adoquines se retiraron de las tinas plásticas llenas de agua potable. A continuación, se realizó el ensayo de resistencia a la compresión guiándonos de los requisitos que nos pide la NTP 339.604 [13].

En primer lugar, se colocó cada adoquín en el centro de la plataforma de la prensa hidráulica, limpiando cuidadosamente tanto la cara superior como la inferior, así como la superficie de apoyo.

Una vez alineado, se encendió la prensa hidráulica y se aplicó la carga sobre el adoquín, se tuvo en cuenta que para la toma de datos de la resistencia a compresión se da en la primera falla que ocurre en el adoquín. Es importante destacar que se ensayaron un total de 12 adoquines (3 del grupo control y 9 del grupo experimental) por separado a los 7, 14 y 28 días, dando un total de 36 adoquines ensayados. Los resultados obtenidos se registraron en una hoja de observación.

Resultados

En la tabla 7,8,9 se muestran los resultados obtenidos de la resistencia a compresión de los 36 adoquines de concreto que se elaboraron, a la edad de 7, 14 y 28 días.

Tabla 7. Resultados del ensayo de resistencia compresión a los 7 días.

Duración del proceso de curado a los 7 días		
Muestra	Adición	Rotura(kg/cm²)
1	0% baldosa cerámica	277.99
2	0% baldosa cerámica	266.25
3	0% baldosa cerámica	289.10
4	5% baldosa cerámica	284.86
5	5% baldosa cerámica	275.08
6	5% baldosa cerámica	271.37
7	10% baldosa cerámica	263.85
8	10% baldosa cerámica	276.95
9	10% baldosa cerámica	279.66
10	15% baldosa cerámica	266.95
11	15% baldosa cerámica	273.76
12	15% baldosa cerámica	274.10

Fuente: Propia

Tabla 8. Resultados del ensayo de resistencia compresión a los 14 días.

Duración del proceso de curado a los 14 días		
Muestra	Adición	Rotura(kg/cm ²)
1	0% baldosa cerámica	314.26
2	0% baldosa cerámica	312.94
3	0% baldosa cerámica	294.37
4	5% baldosa cerámica	319.68
5	5% baldosa cerámica	318.01
6	5% baldosa cerámica	306.85
7	10% baldosa cerámica	291.98
8	10% baldosa cerámica	299.54
9	10% baldosa cerámica	302.86
10	15% baldosa cerámica	271.99
11	15% baldosa cerámica	285.44
12	15% baldosa cerámica	282.56

Fuente: Propia

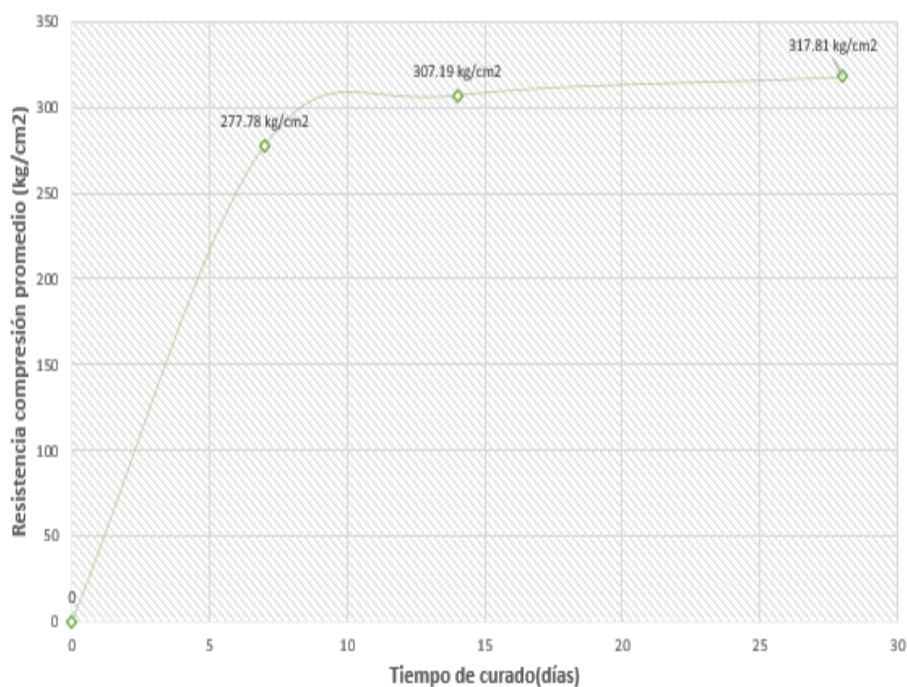
Tabla 9. Resultados del ensayo de resistencia compresión a los 28 días.

Duración del proceso de curado a los 28 días		
Muestra	Adición	Rotura(kg/cm ²)
1	0% baldosa cerámica	320.75
2	0% baldosa cerámica	315.32
3	0% baldosa cerámica	317.81
4	5% baldosa cerámica	322.52
5	5% baldosa cerámica	320.60
6	5% baldosa cerámica	320.29
7	10% baldosa cerámica	300.79
8	10% baldosa cerámica	303.04
9	10% baldosa cerámica	303.62
10	15% baldosa cerámica	278.30
11	15% baldosa cerámica	287.75
12	15% baldosa cerámica	288.44

Fuente: Propia

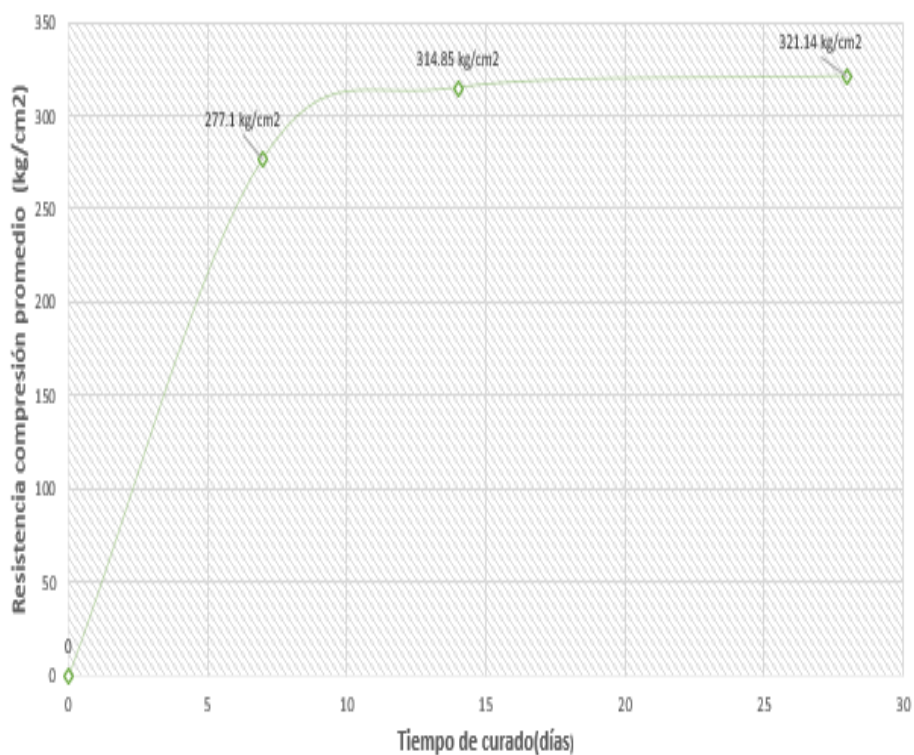
En la figura 8,9,10 y 11 se muestra la resistencia promedio de los adoquines patrón y con adición de baldosa cerámica en diferentes edades.

Figura 8. Resistencia compresión promedio vs tiempo de curado de los adoquines patrón.



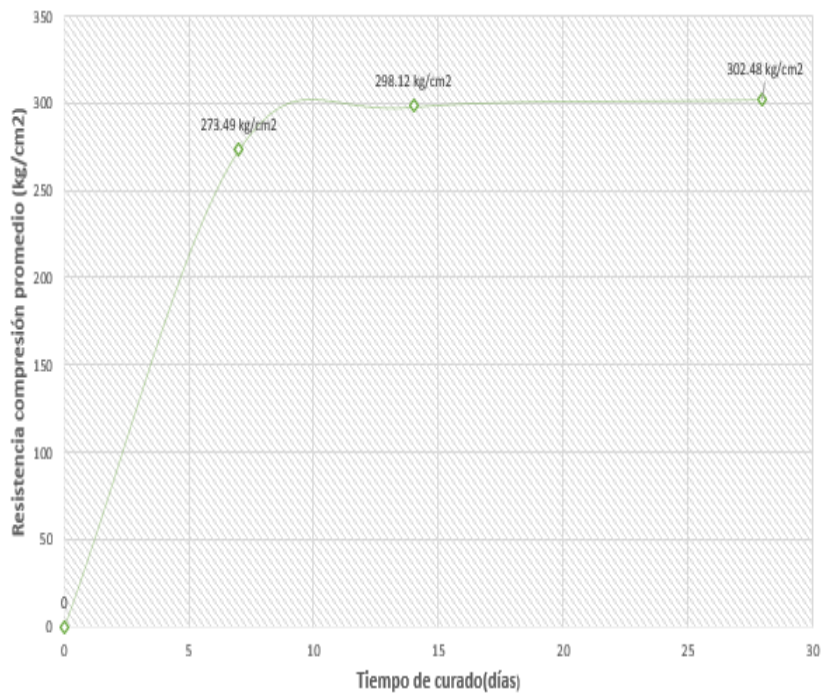
Fuente: Propia

Figura 9. Resistencia compresión promedio vs tiempo de curado de los adoquines con adición del 5% baldosa cerámica triturada.



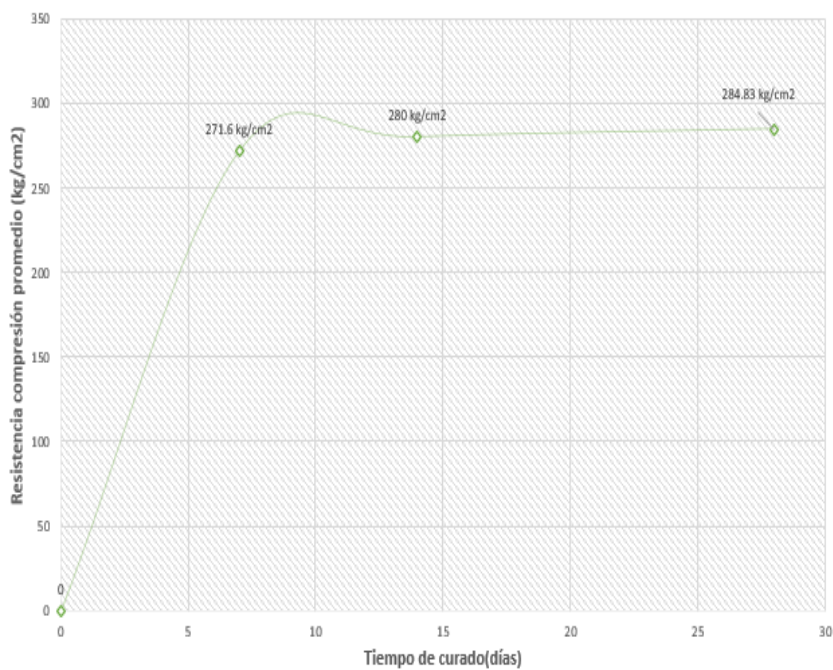
Fuente: Propia

Figura 10. Resistencia compresión promedio vs tiempo de curado de los adoquines con adición del 10% baldosa cerámica triturada.



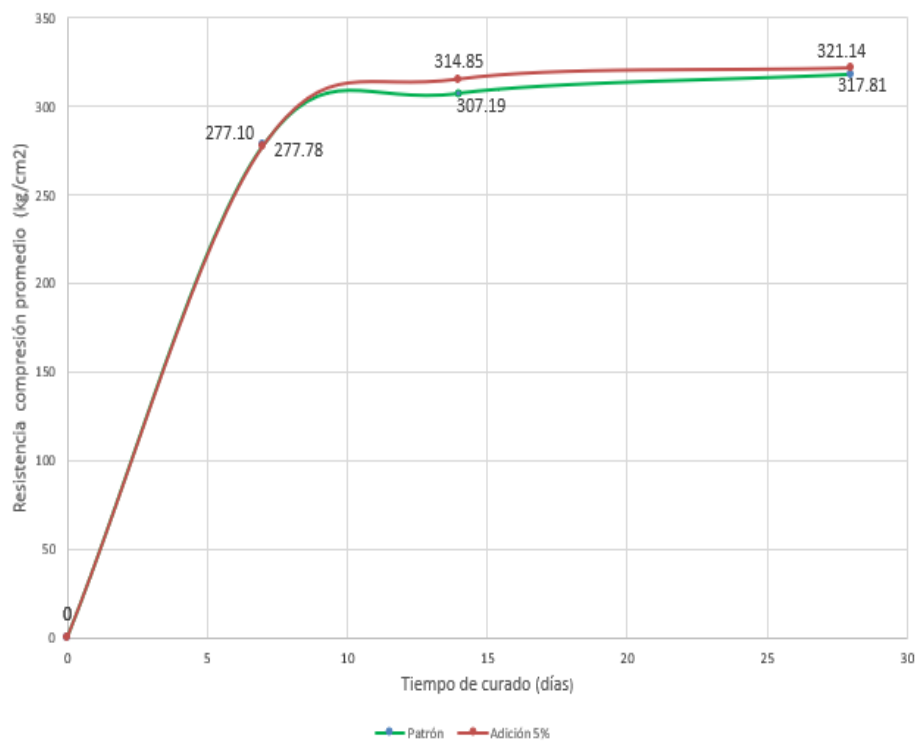
Fuente: Propia

Figura 11. Resistencia compresión promedio vs tiempo de curado de los adoquines con adición del 15% baldosa cerámica triturada.



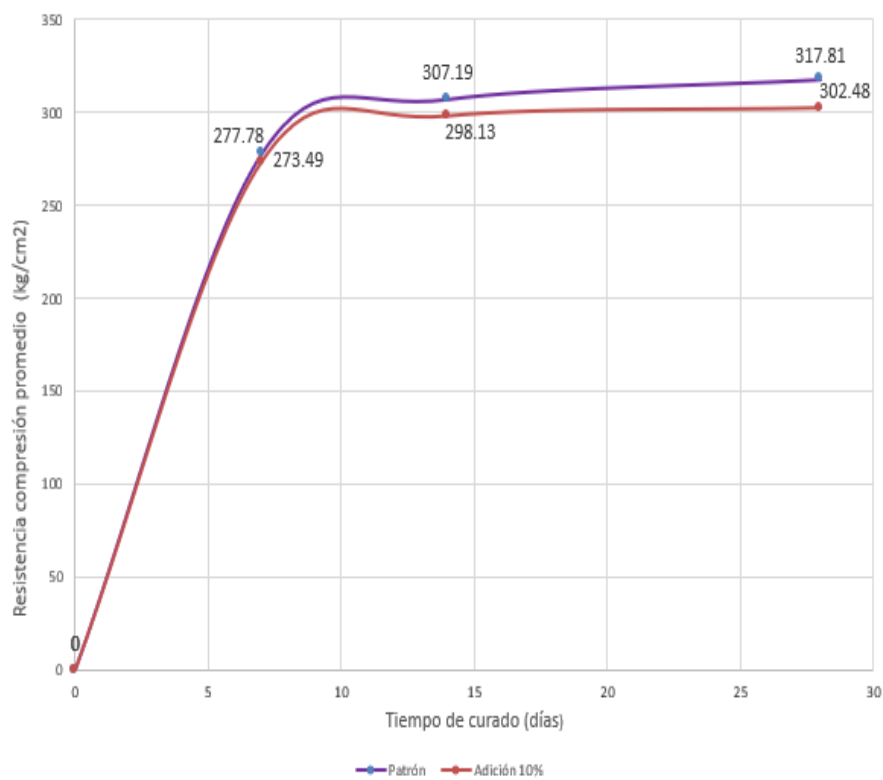
Fuente: Propia

Figura 12. Resistencia compresión promedio vs tiempo de curado de los adoquines patrón y con adición del 5% baldosa cerámica triturada.



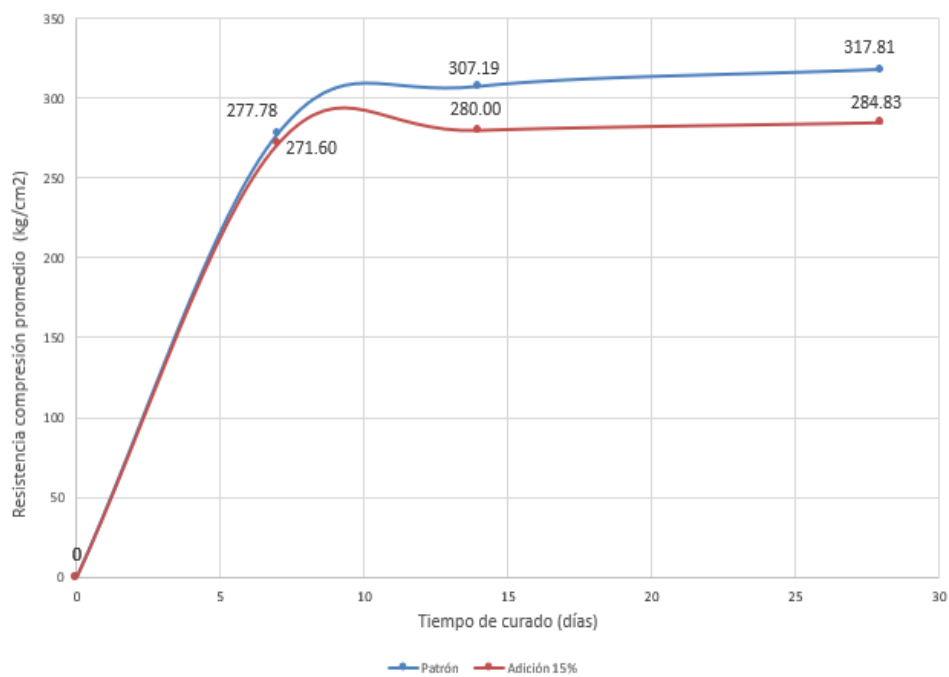
Fuente: Propia

Figura 13. Resistencia compresión promedio vs tiempo de curado de los adoquines patrón y con adición del 10% baldosa cerámica triturada.



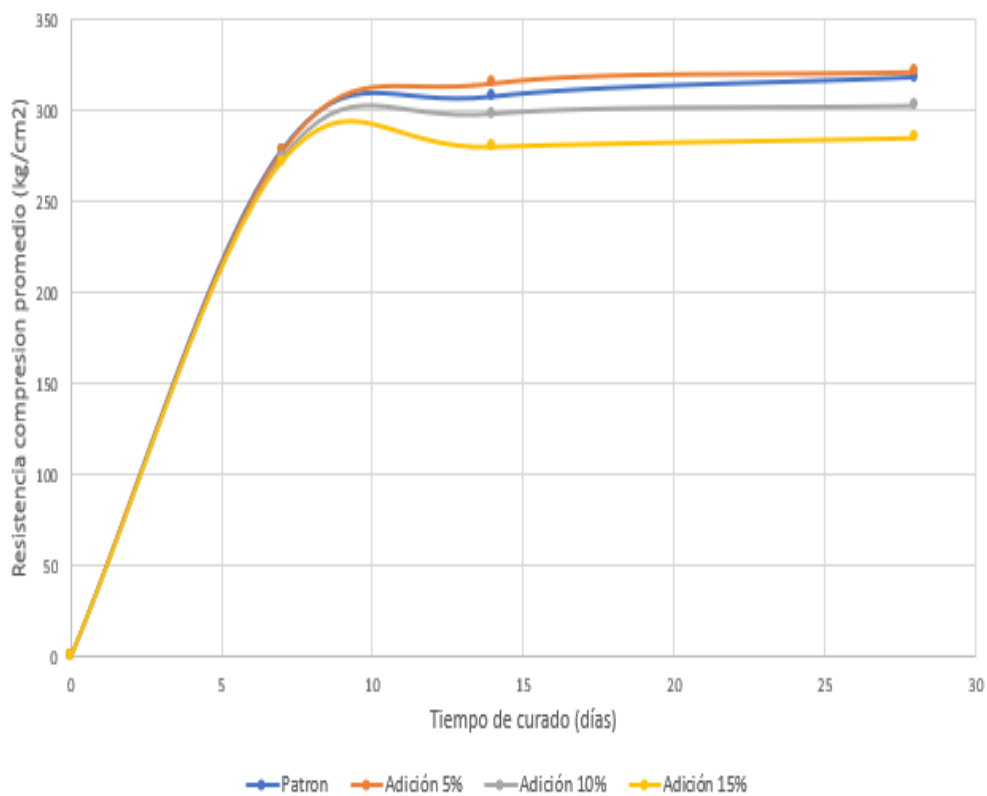
Fuente: Propia

Figura 14. Resistencia compresión promedio vs tiempo de curado de los adoquines patrón y con adición del 15% baldosa cerámica triturada.



Fuente: Propia

Figura 15. Resumen de la Resistencia compresión promedio vs tiempo de curado a los 7,14 y 28 días (patrón y con adición del 5%,10% y 15% de baldosa cerámica triturada).



Fuente: Propia

Conclusiones

Según la información presentada en las figuras 8,9,10,11 12, 13, 14 y 15, así como también en las tablas 7,8 y 9; se puede afirmar lo siguiente sobre el uso de adiciones en la fabricación de adoquines de concreto:

- Al adicionar un 5% de baldosa cerámica triturada a los adoquines, se obtiene un porcentaje óptimo que resulta en una resistencia promedio de 321.14 kg/cm² a los 28 días. Esta resistencia es superior a la de los adoquines patrón (317.81 kg/cm²), y con adiciones de 10% (302.48 kg/cm²) y 15% (284.83 kg/cm²). Además, se observa que al adicionar el 5% de baldosa cerámica se logra una mejora del 0.35% en comparación con la resistencia establecida por la norma NTP 399.611, que es de 320 kg/cm².
- A los 7 días, los resultados de resistencia a compresión promedio en los adoquines patrón y con adiciones (5%,10% y 15%) fueron bastantes similares, las cuales fueron :277.78 kg/cm²,277.1 kg/cm², 273.49 kg/cm² y 271.6 kg/cm², respectivamente según las figuras 8,9,10 y 11. Con respecto a los 14 días los resultados al adicionar el 10% y 15 %, fueron menores con respecto a los adoquines patrón y con adición del 5%.
- La figura 13 muestra que tanto los adoquines patrón como los que tienen una adición del 10% de baldosa cerámica triturada los resultados no varían significativamente.
- En la tabla 9, se puede observar que la resistencia a compresión de manera individual de los adoquines patrón y con adición del 5% y 10% de baldosa cerámica triturada supera a lo establecido por la NTP 399.611.
- Por otro lado, al adicionar un 15% de baldosa cerámica en todos los adoquines ensayados, se obtienen resistencias de 278.30 kg/cm², 287.75 kg/cm² y 288.44 kg/cm², con una resistencia promedio de 284.83 kg/cm². Estos valores no cumplen con la resistencia establecida por la norma NTP 399.611 para los adoquines de concreto, que es de 290 kg/cm² de manera individual y 320 kg/cm² promedio de 3 unidades.
- En conclusión, al adicionar un 5% de baldosa cerámica triturada logra mejorar la resistencia a compresión de los adoquines de concreto tipo 1. Sin embargo, al incrementar porcentaje mencionado anteriormente, se observa una disminución en la resistencia

Referencias

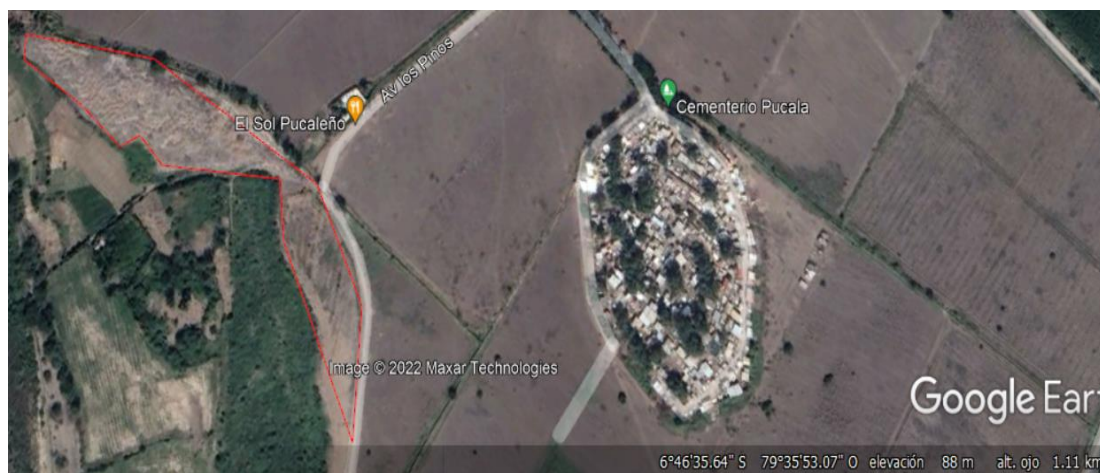
- [1] J.Granja, W.León y D.Molina , “Reutilización de residuos de cerámica para la reducción de la contaminación ambiental”. CIDTI. Blog de Docentes del Instituto Superior Tecnológico “Vicente León”. <https://istvicenteleon.edu.ec/investigacion/2019/04/03/mkt01/> (acceso: 3 de abril de 2019)
- [2] H.Wu, J.Zuo, G.Zillante, J.Wang, H.Yuan, “Construction and demolition waste research: a bibliometric analysis”, *Architectural Science Review*, vol. 62 , nº4, pp. 364-365, enero 2019. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/00038628.2018.1564646>
- [3]D. Rojano, “Cerámica sostenible 'rescate' de residuos y cogeneración”. El Mundo. <https://www.elmundo.es/comunidadvalenciana/castellon/2018/01/02/5a4b5ac0ca47411c468b45f9.html> (acceso 2 de enero de 2018)
- [4] I. Bazán Gara, “Caracterización de residuos de construcción de Lima y Callao (estudio de caso)”, Tesis de pregrado, Dpto. de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú, 2018. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12404/10189>
- [5]J. Bezzolo Sokolich y G. D’Angelo Ramos, “Plan de manejo ambiental para la ciudad de Chiclayo: Manejo de los residuos de la construcción producidos en la ciudad de Chiclayo; su tratamiento, reciclaje y eliminación a través de una escombrera”, Tesis de maestría, Dpto. de Ingeniería, Universidad Nacional de Piura, Piura, Perú, 2020. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/UNP/2177>
- [6] INACAL, *Norma Técnica Peruana 399.611:2010. Adoquines de concreto para pavimentos*, Lima, 2010.
- [7]L. Ortiz, “Características y cualidades de los adoquines de concreto”. Argos 360 en concreto. <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/adoquines-de-concreto> (acceso 1 noviembre de 2019)
- [8] INACAL, *Norma Técnica Peruana 400.012:2001. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global*, Lima, 2002.
- [9] INACAL, *Norma Técnica Peruana 339.185:2013. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado*, Lima, 2016.
- [10] INACAL, *Norma Técnica Peruana 400.021:2002. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso*, Lima, 2002
- [11] INACAL, *Norma Técnica Peruana 400.022:2013. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino*, Lima, 2014.

[12] American Concrete Institute (ACI). (2010). "ACI 211.1-91: Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete." Farmington Hills, MI: ACI.

[13] INACAL, Norma Técnica Peruana 399.604:2002. Método de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto, Lima, 2002.

Anexos

Anexo N°1 Ubicación del vertedero del distrito de Pucalá-Chiclayo según Google Earth Pro



Fuente: Google Earth Pro

Anexo N°2 Residuos depositados en el vertedero



Fuente: Propia