

Evaluación de adoquines que contienen agregados de canteras y vidrio reciclado

Assessment of pavers containing quarry aggregates and recycled glass

Roiser García Delgado^{1,2} ; Miguel Ángel Silva Tarrillo¹

RESUMEN

El vidrio es un componente que puede reciclarse en su totalidad, convertirlo en materiales que servirán para la creación de nuevos productos como los adoquines elaborados constituye un reto, dado que debe cumplir con los requerimientos estipulados en la Norma Técnica Peruana (NTP). objetivo de evaluar los adoquines elaborados con agregados de las canteras de Chota adicionando vidrio reciclado, 2018. Para ello, se analizaron adoquines de tipo I (Tránsito peatonal), con la adición de vidrio reciclado en porcentajes de 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40 y 50% respectivamente, han logrado resistencias a compresión que superan a las resistencias mínimas de las normas técnicas peruanas, pero no mayores que las resistencias obtenidas en el diseño base (Diseño con el 0% de vidrio reciclado). El diseño de mezcla se realizó con el método de diseño del Comité 211 ACI. Con el 20% se obtendrían los adoquines deseados, es decir, los más óptimos desde el punto de vista técnico y económico.

Palabra clave: granulometría, resistencia, mezcla y resistencia.

ABSTRACT

Glass is a component that can be recycled in its entirety, converting it into materials that will be used for the creation of new products such as elaborated paving stones constitutes a challenge, since it must comply with the requirements stipulated in the Peruvian Technical Standard (NTP). In this sense, the present research was developed with the objective of evaluating the paving stones made with aggregates from the Chota quarries by adding recycled glass, 2018. For this, type I pavers (Pedestrian traffic) were analyzed, with the addition of glass recycled in percentages of 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40 and 50% respectively, they have achieved compressive strengths that exceed the minimum strengths of the Peruvian technical standards, but not higher than the strengths obtained in the base design (Design with 0% recycled glass). Mix design was performed using the ACI 211 Committee design method. It was concluded that with 20% the desired paving stones would be obtained, that is, the most optimal from a technical and economic point of view.

Keywords: granulometry, resistance, mixture and resistance.

INTRODUCCIÓN

El vidrio es uno de los envases más usados a nivel internacional. De todo el volumen de vidrio vendido, el 61% proceden de envases de bebidas alcohólicas, el 18% de alimentos y el 17% en bebidas no alcohólicas, el porcentaje restante proceden de diversos productos (Dussimon 2017). En el Perú, no existe una cultura de reciclaje, así, del total de residuos sólidos recolectado, solo un 1.9% se recicla.

¹ Universidad Nacional Autónoma de Chota. Jr. José Osoreo N° 418, Chota.

² Autor por correspondencia [e-mail: roiserzhu.kefu896@gmail.com; roiserzhu_kefu896@hotmail.com]

Esta cifra es muy alarmante porque más del 98% de los residuos son enviados al relleno sanitario, constituyendo un problema de contaminación (MINAM 2018). De allí que, el MINAM creó el Decreto Legislativo que modifica la legislación sobre residuos sólidos, a fin de que el reciclaje sea obligatorio y las personas separen sus residuos sólidos desde sus hogares (Gestión, 2020) y evitar un impacto negativo en el medio ambiente y tener un mejor aprovechamiento de material de descarte proveniente de actividades productivas, extractivas y de servicios.

De igual forma, en las canteras de Chota, los residuos sólidos, sobre todo el vidrio, constituyen un gran problema de contaminación para el medio ambiente. Es importante mencionar que, el vidrio como agregado fino es similar a la arena, permitiendo su uso; a diferencia del vidrio grueso, que como agregado grueso no cumple con lo requerido en la normativa (Hidalgo & Poveda, 2013). Ureña y Martínez (2016) después de ensayar, estudiar y analizar ensayos, estudios y análisis la fibra sintética, orgánica e inorgánica en la resistencia a compresión obtuvo una influencia positiva. Al respecto, Peñafiel (2016) da a conocer que con la adición de un 10, 20 y 30% respectivamente de vidrio en reemplazo de la arena alcanzan una resistencia ligeramente menor a la resistencia base que se tiene y que con la adición de 40% de vidrio en reemplazo de la arena se obtiene mayor resistencia que la resistencia base.

Por su parte, Moya et al. (2018) mencionan que la muestra patrón tiene una resistencia a compresión de 28.23 Mpa. Pero, al adicionar vidrio ámbar, transparente, verde y azul en un 36% en reemplazo de la arena se obtuvo una resistencia a compresión de 20.65, 18.82, 23.56 y 20.93 Mpa respectivamente. De igual forma, Cabrera (2014) da a conocer que la resistencia a compresión promedio de los adoquines fabricados sin vidrio fue de 36.78 Mpa y al adicionar vidrio reciclado a los adoquines en un 5, 10, 15, 25, 50% respectivamente se obtuvo 33.58, 35.58, 37.06, 37.75 y 38.17 Mpa respectivamente. Mientras que, Moya, Juna y Sánchez (2019)

afirman que la textura de los adoquines elaborados no muestra escamaciones o rebabas al menos en un porcentaje del 90% respecto al total de la muestra. También indica que, respecto a su resistencia a compresión, un 35% de vidrio azul se obtiene mayor resistencia a compresión. Además, Condori (2018) indica que su resistencia base es 340.11 kg/cm² y que con la adición de un 10, 20 y 30% respectivamente de vidrio obtuvo 313.47, 329.25 y 337.22 kg/cm² respectivamente. También dice que, cuando se adiciona un 30% de vidrio, llega a un 7.42% de absorción de la muestra. Hurtado (2018) sostiene que la adición de vidrio reciclado mejora las propiedades físico – mecánicas de los adoquines de concreto con los porcentajes de 25 y 50% respectivamente de vidrio de grano grueso, presentan una mayor resistencia que aquellas sin vidrio. Pero, los adoquines elaborados con un 20% de vidrio reciclado son los que más se adecuan en la mezcla. Así, también, Campoverde y Juárez (2019) dicen que su concreto base tiene una resistencia a compresión de 269 kg/cm², pero que el concreto con un 10 y 30% respectivamente de vidrio como reemplazo del agregado fino obtiene una resistencia de 267 y 223 kg/cm² respectivamente y que en costos se encuentran cerca del costo base. Además, Chávez (2019) en su investigación da a conocer que las resistencias a compresión del concreto con 0, 30, 40, 50 y 60% respectivamente de vidrio molido es 246.41, 246.72, 257.31, 235.75 y 265.28 kg/cm² respectivamente esto para el vidrio con tamaño máximo que pasó por la malla #8 y para el vidrio con tamaño máximo que pasó por la malla #16 es 246.41, 240.15, 236.42, 214.44 y 212.95 kg/cm² respectivamente. Finalmente, se busca valorar los adoquines de concreto elaborados con agregados de las canteras de Chota y con vidrio reciclado y compararlos con los adoquines convencionales a fin de conocer cuál es más óptimo desde el punto de vista técnico, económico y ambiental.

Cabe indicar que como hipótesis se tiene que los adoquines elaborados con agregados de las canteras de Chota adicionando vidrio reciclado son 5% más resistentes y un 3% más

livianos que los adoquines convencionales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó una metodología de tipo experimental.

La población estuvo conformada por los adoquines con adición de vidrio en porcentajes de 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40 y 50% respectivamente, teniendo como muestras a 135 adoquines fabricados con diferentes porcentajes de adición de vidrio siendo diseñados para una resistencia de concreto de 320 kg/cm².

Para el desarrollo de la propuesta se siguieron los procedimientos indicados en las NTP, así como el método ACI 211 (consiste en hallar el volumen de agregado grueso por

metro cúbico de concreto; atendiendo a las diferentes unidades de volumen de concreto) que fue de vital importancia para el diseño de mezclas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a los objetivos propuestos, los resultados fueron los siguientes:

Propiedades físico – mecánicas de los componentes para los adoquines

A. Agregados sin mejorar

En la Figura 1 se muestra la curva granulométrica del agregado grueso sin mejorar, el cual incumple en el diámetro de 1” por tal razón este agregado si se podría utilizar dependiendo del concreto que se desee fabricar.

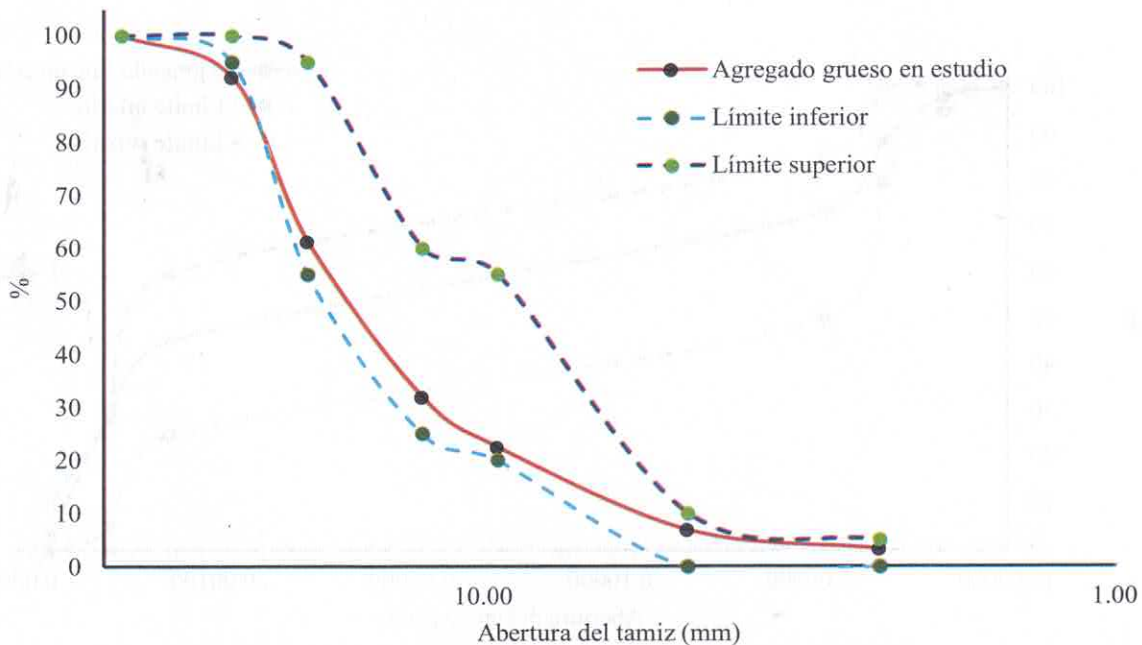


Figura 1. Curva granulométrica del agregado grueso sin mejorar

En la Figura 2, se muestra la curva granulométrica del agregado fino sin mejorar, cuyos resultados, en algunos casos, incumplen la normativa. La curva granulométrica está muy exagerada, por estar fuera de los límites que la norma permite en las mallas número 30 y 50.

Estos datos obtenidos en los ensayos de agregados, en muchos de los casos, incumplen con la NTP, por lo que no se recomienda

usarlos directamente.

B. Agregados mejorados

Para mejorar los agregados fino y grueso se realizó el tamizado en cada diámetro mezclando según su peso, con la finalidad de cumplir con lo estipulado en la normativa (para cada ensayo). En las Figuras 3 y 4, se observa la curva granulométrica del agregado grueso y fino mejorado respectivamente.

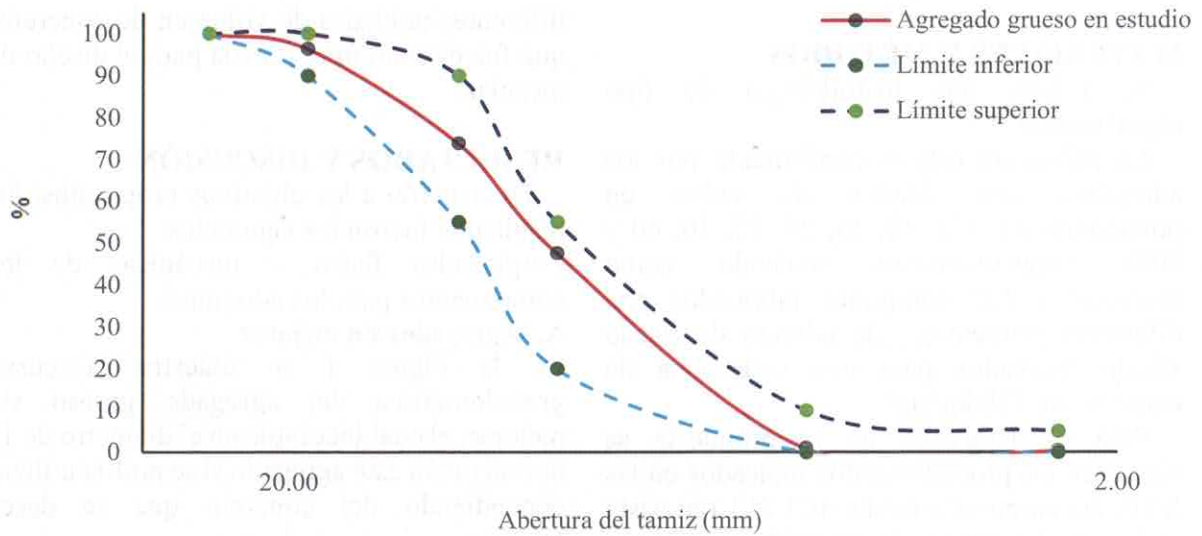


Figura 3. Curva granulométrica del agregado grueso mejorado

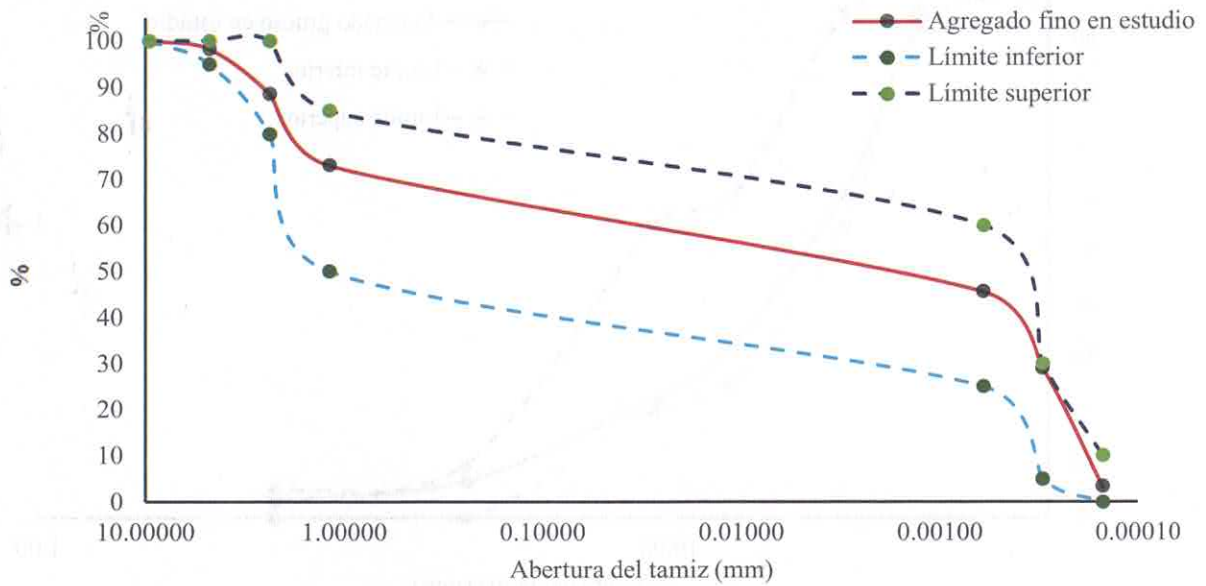


Figura 4. Curva granulométrica del agregado fino mejorado

Los resultados permitieron tener un mayor grado de confianza en los agregados, lo que permitió pasar al proceso de diseño y elaboración de los adoquines.

C. Vidrio reciclado

Para la obtención de los datos del vidrio reciclado, se tuvieron en cuenta todas las normas técnicas relacionadas con el agregado fino (para el procedimiento). Se consideró un Tamaño Máximo Nominal (TMN) de 4.75

mm ya que los antecedentes estudiados indicaron que el vidrio con el diámetro más pequeño se acopla más fácil en la mezcla y porque hasta ese diámetro facilita el triturado.

En la Figura 5, se presenta la curva granulométrica del vidrio reciclado con resultados favorables, en el que varios de los casos cumplen con la normativa del agregado fino. La curva granulométrica mostrada es resultado de varios ensayos, cuyos parámetros fueron muy parecidos a los mostrados.



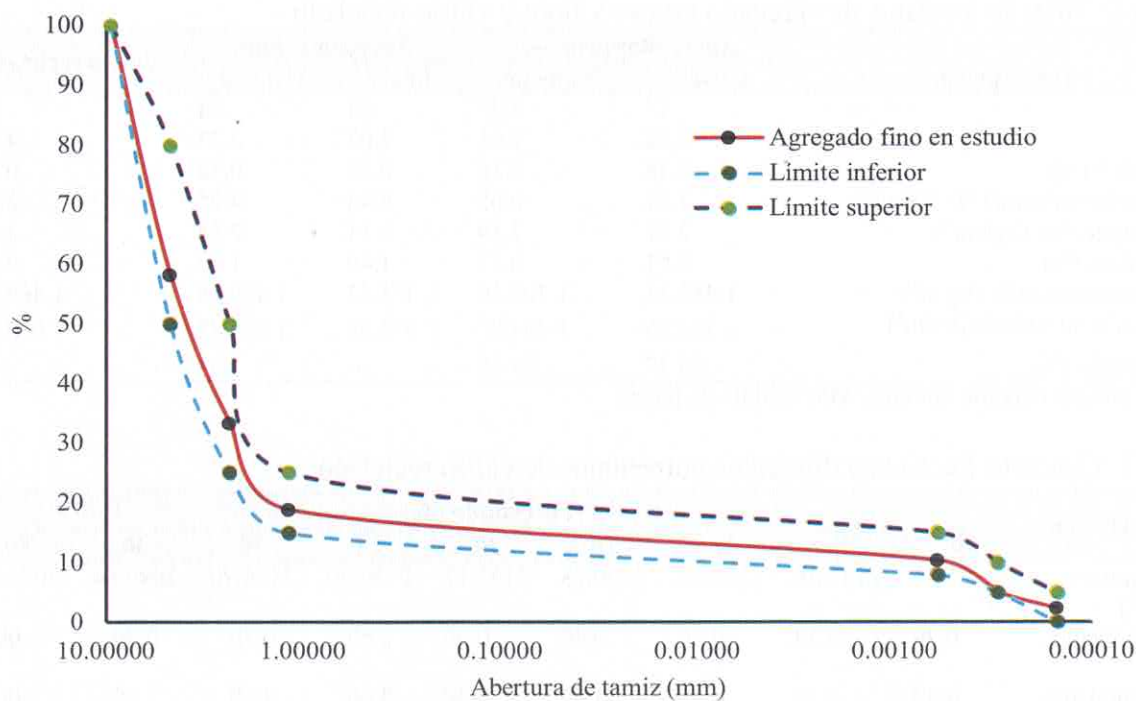


Figura 5. Curva granulométrica del vidrio reciclado

La curva granulométrica mostrada es resultado de varios ensayos, cuyos parámetros fueron muy parecidos a los mostrados.

Comparación entre el agregado grueso, agregado fino y vidrio reciclado

De acuerdo a las recomendaciones de los estudios sobre adoquines de dimensiones pequeñas, se procedió a disminuir TMN del agregado grueso de 1" a 3/4" para un mejor acomodamiento durante el mezclado y moldeado.

En la Tabla 1 se observa que, en el agregado grueso hay variaciones pequeñas entre el material mejorado y el sin mejorar.

En el caso del agregado fino sin mejorar se tenía un MF de 2.072 el cual estaba muy por debajo de lo recomendado, también se tenía una cantidad de finos pasantes por la malla #200 en exceso; ante ello, se decidió mejorar obteniendo datos óptimos tal y como indica la normativa.

Finalmente, en cuanto a los resultados del vidrio reciclado, éstos son similares a aquellos que han sido obtenidos en otras investigaciones. Cabe mencionar que, en los estudios investigados mencionan haber

analizado al vidrio de manera individual, sino que lo han hecho combinándolo ya sea con el agregado fino o el agregado grueso es por esta razón que yo decidí realizarlo todos los ensayos que se realizan al agrega fino. Ensayos realizados al concreto y a los adoquines

A. Ensayos realizados al concreto para los adoquines

Los datos obtenidos del concreto en su estado fresco son mostrados en la Tabla 2, evidenciándose que el peso unitario disminuye cada vez que se le agrega más vidrio reciclado; su asentamiento cada vez es mayor ya que la absorción del vidrio reciclado es mucho menor que la de los agregados. Cabe recalcar que, se tiene un mayor asentamiento pese a que se realizó la corrección por humedad de los agregados y del vidrio reciclado en cada diseño, el contenido de aire es cada vez menor ya que cuando la mezcla es más suelta tendrá siempre menos vacíos, mientras que, la temperatura fue aumentando cada vez que se adicionaba más vidrio, deduciéndose que el vidrio almacena calor.

Tabla 1. Total de los datos de agregado grueso y fino; y vidrio reciclado

Descripción	Agregados gruesos		Agregados finos		Vidrio reciclado
	inicial	Mejorado	Inicial	Mejorado	
TMN	1"	3/4"	#4	#4	#4
MF	3.82	2.81	2.07	2.73	4.72
Humedad (%)	0.48	0.36	0.29	0.12	0.04
Materiales del tamiz N° 200 (%)	2.24	0.65	6.43	4.25	2.31
Peso específico (kg/cm ²)	2.61	2.59	2.51	2.54	2.52
Absorción (%)	1.53	0.71	1.40	1.50	0.19
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1 485.44	1 308.56	1 471.43	1 460.55	1 469.54
Peso unitario variado (kg/m ³)	1 536.86	1 484.80	1 572.86	1 597.42	1 605.59
Resistencia (%)	25.37	26.48	---	---	---

TMN: tamaño máximo nominal, MF: módulo de finura.

Tabla 2. Concreto fresco con diferentes porcentajes de vidrio reciclado

Descripción	Porcentaje (%)								
	0	5	10	15	20	25	30	40	50
Peso unitario (kg/m ³)	2201.83	2183.38	2172.03	2160.68	2152.17	2139.40	2116.70	2096.84	2075.56
Asentamiento (in)	0.20	0.30	0.30	0.40	0.50	0.50	0.70	0.80	1.00
Contenido aire unitario (%)	4.50	4.10	4.00	3.80	3.30	3.00	2.60	2.30	2.00
°C	17.80	17.80	17.90	18.00	18.10	18.10	18.30	18.50	18.90

B. Ensayos realizados a los adoquines

Al comparar los resultados de la resistencia a compresión mostrada en la Tabla 3, se afirma

que los resultados no superan la resistencia base de los casos mostrados en la NTP.

Tabla 3. Comparación de resistencias inicial a compresión y su variación (Δ) de los adoquines con diferentes adiciones (%) de vidrio.

Días	Resistencia	Δ	Vidrio
	kgf/cm ²%	
56	159.89	0.00	0
	119.95	-24.98	5
	131.41	-17.81	10
	139.62	-12.68	15
	146.23	-8.54	20
	151.17	-5.45	25
	150.72	-5.74	30
	158.37	-0.95	40
	157.04	-1.78	50

Asimismo, al comparar los resultados de resistencia a flexión (Tabla 4), se observa que los datos tampoco superan a la resistencia base. De igual forma, se observa que los adoquines con 5% de adición de vidrio reciclado son más resistentes. Además, que, en ambas tablas, todos los casos superan la

resistencia mínima que indica la NTP. Por otro lado, en las Figura 6 y Figura 7, se muestran las gráficas de las curvas esfuerzo vs tiempo. Los resultados muestran que en todos los diseños alcanza casi el 100% de su resistencia a los 28 días, después la variación mínima.

Tabla 4. Comparación de resistencias a flexión de los adoquines y su variación (Δ) con diferentes adiciones (%) de vidrio con la resistencia base.

Días	Resistencia	Δ	Vidrio
	kgf/cm ²%.....	
56	419.57	0.00	0
	372.77	-11.15	5
	388.93	-7.30	10
	394.73	-5.92	15
	401.29	-4.36	20
	405.68	-3.31	25
	410.38	-2.19	30
	414.72	-1.16	40
	417.50	-0.49	50

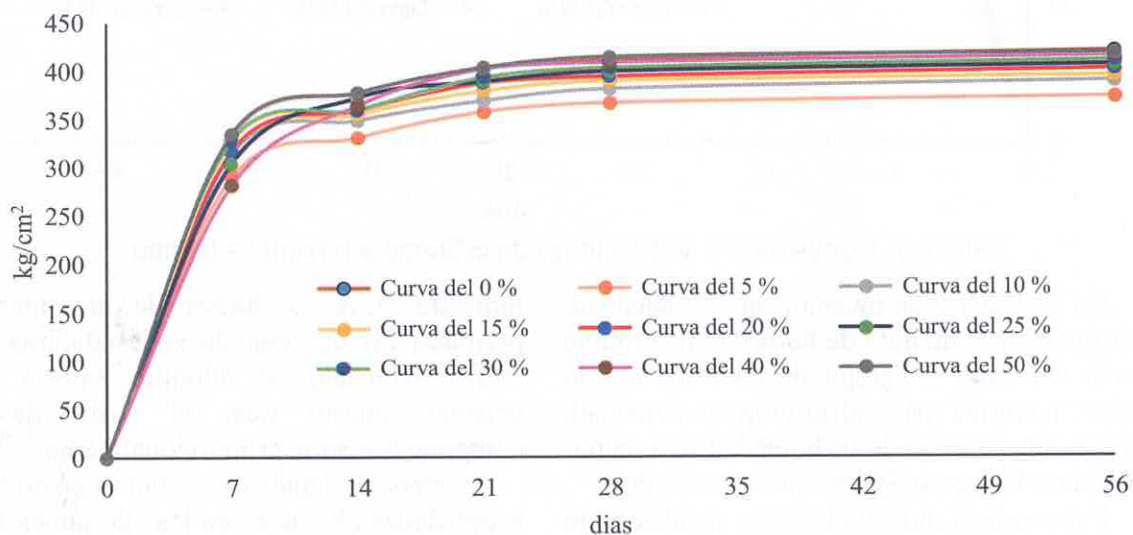


Figura 6. Comparación de las curvas de esfuerzo a compresión vs tiempo

Tabla 5. Comparación de los ensayos de densidad, asentamiento, contenido de aire, temperatura (Temp) y su variación (Δ) en los adoquines con diferentes adiciones (%) de vidrio

Vidrio	Densidad	Δ	Asentamiento	Δ	Aire	Δ	Temp	Δ
%	kg/m ³	%	in%.....		°C	%	
0	2201.83	0.00	0.2	0	4.5	0	17.8	0
5	2183.38	-0.84	0.3	50	4.1	-8.89	17.8	0
10	2172.03	-1.35	0.3	50	4	-11.11	17.9	0.56
15	2160.68	-1.87	0.4	100	3.8	-15.56	18	1.12
20	2152.17	-2.26	0.5	150	3.3	-26.67	18.1	1.69
25	2139.40	-2.84	0.5	150	3	-33.33	18.1	1.69
30	2116.70	-3.87	0.7	250	2.6	-42.22	18.3	2.81
40	2096.84	-4.77	0.8	300	2.3	-48.89	18.5	3.93
50	2075.56	-5.73	1.0	400	2	-55.56	18.9	6.18

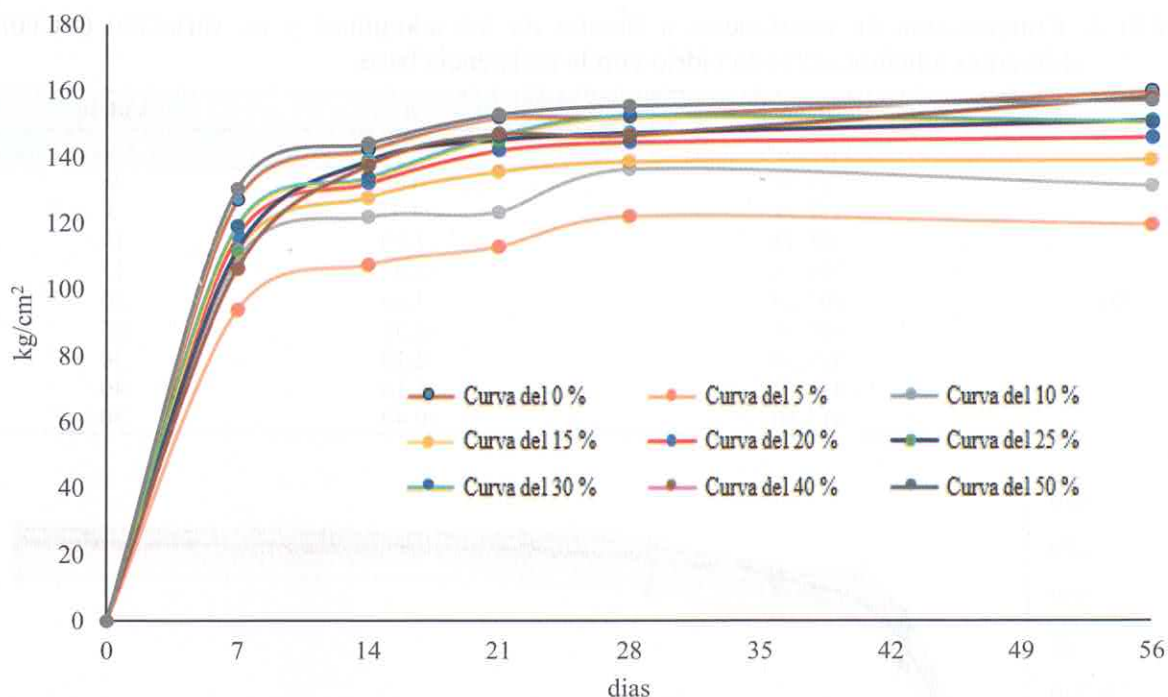


Figura 7. Comparación de las curvas de esfuerzo a flexión vs tiempo

En la Tabla 5 se muestra que la densidad, absorción y contenido de humedad disminuye cada vez que se agrega más vidrio; por lo tanto, mientras más vidrio tenga la densidad, absorción y contenido de humedad será menor debido a la presencia del vidrio reciclado.

Cabe indicar que en el ensayo de absorción cumple con la NTP 339.611 donde el promedio de 3 muestras debe ser de 6% como mínimo y para una muestra la absorción mínima debe ser de 7.5%.

En la Tabla 6, se observa que, del 0 al 25% de adición de vidrio no llegan a cumplir con lo

indicado. Los resultados de la Figura 8 permiten ver que cuando se le adiciona más vidrio reciclado al adoquín saldría más costoso, puesto que, el costo de los componentes sube proporcionalmente.

Además, teniendo en cuenta el costo y las propiedades obtenidas en los adoquines llevo a indicar que los adoquines con el 20% son los más óptimos.

Cabe mencionar que no es conveniente utilizar mucho vidrio reciclado porque sería muy costoso (estos costos son para 33 unidades).

Tabla 6. Comparación de los pesos de los adoquines con diferentes adiciones de vidrio con el control

Resistencia kgf/cm ²	Δ de pesos%.....	Vidrio
2952.02	0	0
2929.93	-0.75	5
2918.57	-1.13	10
2903.00	-1.66	15
2893.07	-2.00	20
2883.28	-2.33	25
2860.27	-3.11	30
2836.73	-3.91	40
2811.63	-4.76	50

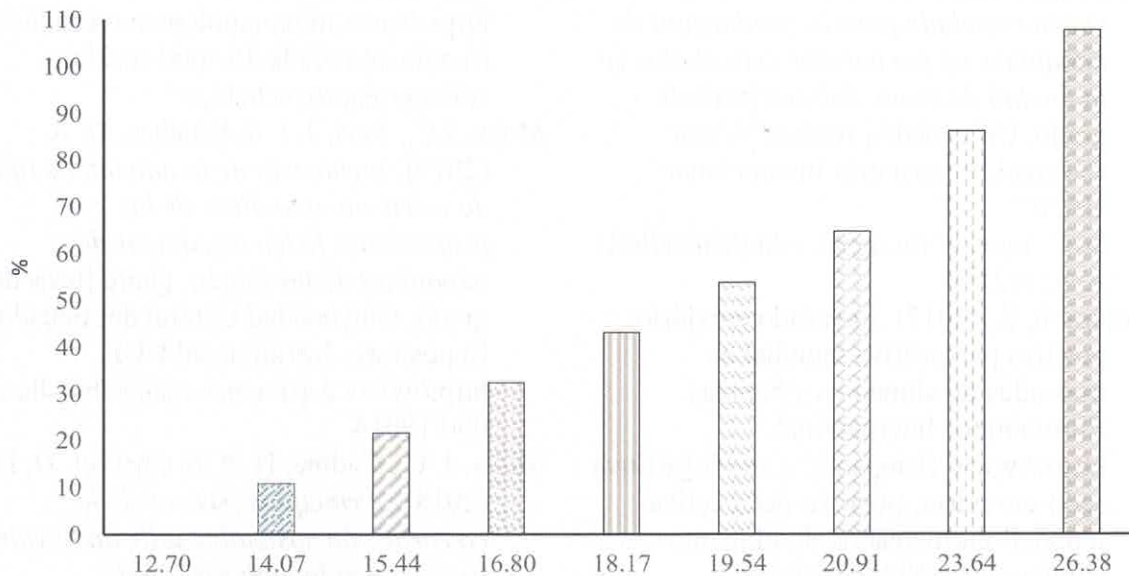


Figura 8. Porcentaje de adición de vidrio reciclado vs precio de los materiales por cada adición de vidrio reciclado

Los adoquines elaborados con agregados de las canteras de Chota adicionando vidrio reciclado serán 5% más resistentes y un 3% más livianos que los adoquines convencionales. Así, en el caso de resistencia no llega a superar a la resistencia base en ningún caso. Pero en el caso de pesos si llega a cumplir incluso superar al 3% que indican los antecedentes llegando a un máximo de 4.76% más livianos cuando se le adiciona un 50% de vidrio reciclado. Ahora, el mejor diseño de mezcla se logra con el 20% de adición de vidrio reciclado ya que este supera a la resistencia mínima que indica la normativa y en los pesos para el 20% llegan a ser 2.00% más livianos.

CONCLUSIONES

Se evaluaron a los adoquines elaborados con agregados de las canteras de Chota adicionando vidrio reciclado realizándose todos los ensayos de laboratorio tanto para los agregados y el vidrio reciclado, así como para las muestras de concreto.

El diseño de mezcla óptima se da mediante la adición del 20% de vidrio reciclado dicho diseño permite utilizar correctamente los agregados de las canteras de Chota con el

vidrio reciclado siendo los más óptimos desde todo punto de vista.

REFERENCIAS

- Cabrera, L. K. (2014). *Comparación de la resistencia de adoquines de concreto y otros elaborados con vidrio reciclado, Cajamarca, 2014* [tesis de grado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional UPN. <http://hdl.handle.net/11537/10257>
- Campoverde, M. C. & Juárez, P. (2019). *Comparación del bloque de concreto tradicional con otro bloque añadiendo vidrio triturado para las edificaciones de la ciudad de Piura* [tesis de grado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV. <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/33726>
- Chávez, A. F. (2019). *Influencia del tamaño de vidrio molido en la resistencia a compresión del concreto, Trujillo* [tesis de grado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional UPN. <http://hdl.handle.net/11537/21164>
- Comité 211.1 ACI - 91. (2002). *Proporciones para hormigón normal, pesado y masivo.*

- Condori, L. A. (2018). *Tratamiento del vidrio reciclado para la producción de adoquines en pavimentos articulados en la ciudad de Puno. Juliaca* [tesis de grado, Universidad Andina Néstor Cáceres]. Repositorio Institucional UANC
<http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/2159>
- Dussimon, K. (2017). Envasado en vidrio: positiva perspectiva mundial en mercados de alimentos y bebidas. Euromonitor International.
<https://www.elempaque.com/blogs/Envasado-en-vidrio,-positiva-perspectiva-mundial-en-mercados-de-alimentos-y-bebidas+122057?idioma=en>
- Gestión (2020, 16 noviembre). Reciclaje y separación de residuos sólidos serán obligatorios en hogares.
<https://gestion.pe/peru/reciclaje-y-separacion-de-residuos-solido-sera-obligatorio-en-los-hogares-anuncia-ministra-munoz-nndc-noticia/>
- Hidalgo, D. E. & Poveda, R. A. (2013). *Obtención de adoquines fabricados con vidrio reciclado como agregado. Quito* [tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional]. Repositorio Institucional EPN.
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/6104/1/CD-4795.pdf>
- Hurtado, L. (2018). *Estudio de las propiedades físico - mecánicas de adoquines elaborados con vidrio reciclado para pavimentos de tránsito ligero, Lima - 2018. Lima* [tesis de grado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV.
<http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/36438>
- Ministerio del Ambiente (2018). *En el Perú solo se recicla el 1.9% del total de residuos sólidos*. MINAM.
<https://sinia.minam.gob.pe/novedades/peru-solo-se-recicla-19-total-residuos-solidos-reaprovechables>
- Moya, J.C., Juna, J. I. & Sánchez, D. A. (2019). *Incidencia de la adición de tipos de vidrio en el análisis de las propiedades físico mecánicas de adoquines de hormigón. Quito* [tesis de grado, Universidad Central del Ecuador]. Repositorio Institucional UCE
<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/19014>
- Moya, J. C., Cadme, H. P. & Charvet, D. E. (2018). *Principios básicos de la construcción sostenible utilizando vidrio triturado en la elaboración de hormigones - segunda etapa. Quito* [tesis de grado, Universidad Central del Ecuador]. Repositorio Institucional UCE.
<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/17370>
- Peñañiel, D. (2016). *Análisis de la resistencia a la compresión del hormigón al emplear vidrio reciclado molido en reemplazo parcial del agregado fino* [tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio Institucional UTA.
<https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/23038>
- Ureña, M. M. & Martínez, J. F. (2016). *Análisis comparativo de la resistencia a compresión entre un adoquín convencional y adoquines preparados con diferentes fibras: Sintética (polipropileno), orgánica (estopa de coco), inorgánica (vidrio reciclado)* [tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio Institucional UTA.
<https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/24054>

Recibido: 07-10-2020 Aceptado: 06-11-2020 Publicado: 01-12-2020

Ciencia Nor@ndina, vol. 3(2): julio - diciembre 2020