

# Influence of Replacement of Ground Glass by Cement in Masonry Piles

Patricia Vanessa Silva Rivera, Ing.<sup>1</sup> Anita Elizabeth Alva Sarmiento, Ing.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca, Perú. [N00034583@upn.pe](mailto:N00034583@upn.pe)

<sup>2</sup> Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca, Perú. [anita.alva@upn.edu.pe](mailto:anita.alva@upn.edu.pe)

**Abstract**– The main objective of this document was to determine the compressive strength of piles of artisanal and industrial bricks with replacement of ground glass by cement in the mortar. The percentages with which they worked were 0%, 5%, 10% and 15%, the bricks were classified according to the Technical Standard E.070, in order to carry out our design of mixtures for the mortar, the different tests were carried out to determine the aggregate properties. The piles made were 48, these were tested in compression at 28 days, and the following results were obtained: 16.53, 20.59, 21.24, 15.57 kg/cm<sup>2</sup> for the artisanal brick piles and 48.83, 57.81, 60.51, 58.49 kg/cm<sup>2</sup> for industrial brick piles, with replacement of 0%, 5%, 10% and 15% of ground glass, verifying the proposed hypothesis. Being 10% replacement of ground glass where it is obtained that improves resistance.

**Keywords:** Mortar, ground glass, brick piles, artisan brick, industrial brick, compressive strength.

**Digital Object Identifier (DOI):**

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.63>

**ISBN:** 978-628-95207-0-5 **ISSN:** 2414-6390

# Influencia del Reemplazo de Vidrio Molido por Cemento en Pilas de Albañilería

Patricia Vanessa Silva Rivera, Ing.<sup>1</sup> Anita Elizabet Alva Sarmiento, Ing.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca, Perú. [N00034583@upn.pe](mailto:N00034583@upn.pe)

<sup>2</sup>Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca, Perú. [anita.alva@upn.edu.pe](mailto:anita.alva@upn.edu.pe)

**Resumen**– El presente documento tuvo como objetivo principal determinar la resistencia a la compresión de pilas de ladrillos artesanales e industriales con reemplazo de vidrio molido por cemento en el mortero. Los porcentajes con los que se trabajaron fueron 0%, 5%, 10% y 15%, los ladrillos se clasificaron según la Norma Técnica E.070, para poder realizar nuestro diseño de mezclas para el mortero se realizaron los diferentes ensayos para determinar las propiedades del agregado. Las pilas realizadas fueron 48, estas se ensayaron a compresión a los 28 días, y se obtuvieron los siguientes resultados: 16.53, 20.59, 21.24, 15.57 kg/cm<sup>2</sup> para las pilas de ladrillo artesanal y 48.83, 57.81, 60.51, 58.49 kg/cm<sup>2</sup> para las pilas de ladrillo industrial, con reemplazo de 0%, 5%, 10% y 15% de vidrio molido, comprobando la hipótesis planteada. Siendo 10% de reemplazo de vidrio molido donde se obtiene que mejor la resistencia.

**Palabras clave:** Mortero, vidrio molido, pilas de ladrillo, ladrillo artesanal, ladrillo industrial, resistencia a compresión.

## I. INTRODUCCIÓN

El sistema estructural que más se utiliza en Sudamérica y en el Perú para la construcción de viviendas en zonas urbanas es la denominada albañilería. Más del 43% de las viviendas son construidas con este sistema estructural [1]

Muchas de las construcciones en el Perú, han adoptado al ladrillo como uno de los materiales más importantes y usados. Su aplicación no se reduce a la de un simple cerramiento, sino que cumple también una función estructural. Sin embargo, el ladrillo puede cuestionarse en cuanto a sus propiedades y características dependiendo si cumple o no con los requisitos y normas establecidas. [2].

Por otro lado, la producción de desechos en las grandes ciudades es un problema que ha conducido a la realización de una serie de estudios tendientes al aprovechamiento de los residuos. Entre los residuos urbanos más comunes se encuentra el vidrio. Este material puede reciclarse para la fabricación de nuevos envases y vajilla, aunque la dificultad para transportar el vidrio de desecho desde el sitio donde se genera hacia las cristalerías que lo reciclan sugiere la posibilidad de buscar disposiciones alternativas para este material. Una de estas alternativas es integrarlo a algún proceso productivo. [3].

En el sector de la construcción, el uso del vidrio plano ha venido en aumento por las ventajas que ofrece tanto en estética como en iluminación y otros factores como su apariencia transparente y liviana y por la seguridad y versatilidad de los productos del vidrio. Un aumento en el consumo de este material implica a su vez un aumento en la cantidad de residuos

generados de los mismos vidrios. Además, no todos los tipos de vidrios planos son reciclables, ya que son fabricados con mezclas de varios metales, plásticos o resinas, presentan impurezas o son mezclados en muchos colores distintos lo que encarece costos de reciclaje. [4].

Actualmente en Cajamarca existe gran porcentaje de residuos generados por las demoliciones de edificios, el levantamiento de calles, construcción de aceras, puentes y demás estructuras su composición es similar a los residuos de construcción además se puede incluir: vidrios rotos, plásticos, etc. [5].

El uso de materiales de desecho sólidos o subproductos industriales como reemplazo parcial del cemento en el hormigón es una estrategia viable para reducir el uso del cemento Portland, y reduciendo así los impactos ambientales y energéticos de la producción de hormigón. [6].

Este sector busca continuamente oportunidades de mejora y por ello se ha empezado a estudiar el uso de materiales alternativos en las mezclas, entre los que incluye los residuos de los distintos tipos de vidrio. [7].

Por ello es que se decide utilizar materiales reciclables como el vidrio y reemplazar por cemento para ver su comportamiento en la resistencia de las pilas de albañilería.

Es necesario indicar que el presente documento toma como base los resultados de la investigación realizada para la obtención del Título Profesional de Ingeniero Civil de uno de los autores, la cual lleva como nombre: “RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PILAS DE LADRILLO ARTESANAL E INDUSTRIAL CON MORTERO CEMENTO - ARENA 1:4 MEJORADO CON VIDRIO MOLIDO” [8].

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. Materiales

Se utilizaron dos tipos de ladrillos, artesanal e industrial y de cada uno se realizaron pilas de acuerdo con lo señalado en la siguiente tabla:

TABLA I  
 CANTIDAD DE PILAS DE LADRILLO POR TIPO DE LADRILLO Y PORCENTAJE  
 DE REEMPLAZO DE VIDRIO MOLIDO

Tipo de ladrillo	Porcentaje de reemplazo vidrio molido			
	0%	5%	10%	15%
Artesanal	6	6	6	6
Industrial	6	6	6	6
Total	48 pilas de ladrillo			

Adaptado de Silva [8]

Para lo cual se obtuvieron los ladrillos king Kong artesanales de la Ladrillera El Tayo, los ladrillos industriales de Forte y el agregado necesario para el mortero de la Cantera Roca Fuerte, asimismo, se usó cemento portland Tipo 1.

### B. Diseño de mezclas del mortero

Para la elaboración de las pilas de albañilería se realizó el diseño de mezclas del mortero de junta, para el cual se necesitaron realizar diferentes ensayos al agregado, tales como:

- Granulometría y módulo de finura del agregado, de acuerdo con la norma ASTM C33
- Contenido de humedad del agregado, según la norma ASTM D2216
- Gravedad específica y absorción de agregados finos, bajo la norma ASTM C128
- Peso unitario seco suelto y compactado según la norma ASTM C29

### C. Clasificación y aceptación de ladrillos

Para la clasificación y aceptación de las unidades de albañilería se realizaron ensayos clasificatorios y no clasificatorios a los ladrillos, en base a la norma técnica peruana NTP 399.61. Se ensayaron tanto el ladrillo king kong artesanal como industrial según se detalla a continuación:

- Variación dimensional de los ladrillos
- Alabeo de los ladrillos
- Absorción del ladrillo
- Succión del ladrillo
- Resistencia a compresión de unidades de albañilería

### D. Obtención y procesamiento del vidrio

Se obtuvo el vidrio plano transparente, una vez limpiado y secado se procedió al triturado con el uso de un martillo y así facilitar el proceso de molienda del vidrio.

Luego de la molienda del vidrio se tamiza por el tamiz N° 200 y el material pasante de dicho tamiz es el que se usará para esta investigación.

### E. Elaboración de pilas de ladrillo

De los datos obtenidos del diseño de mezclas del mortero se procedió a la elaboración de las pilas de ladrillo tanto industrial, como artesanal para lo cual se procedió a humedecer los ladrillos por un periodo de treinta minutos antes del asentado debido a que la succión de ambos tipos de ladrillos era mayor a lo estipulado por la norma.

A continuación, se pesó las medidas exactas según el diseño de mezclas para cada dosificación (con y sin reemplazo de vidrio) y se procedió con el amasado de la mezcla.

Se realizaron pilas de 3 hiladas de ladrillo entre las cuales se extendió la mezcla de mortero de un espesor de 1.5 centímetros entre cada hilada de ladrillos, se verificó la verticalidad de las pilas con una plomada manual y nivel de mano y se las dejó secar por 24 horas. Posteriormente se procedió con el curado de las pilas, realizando el humedecido de las respectivas pilas por un periodo de 7 días y dejando reposarlas hasta que logren la edad para su ensayo correspondiente.

Cuando las pilas han llegado a la edad de ensayo, se deberá tomar las medidas de cada una de las pilas, el largo y ancho de la sección en contacto y la altura de la pila, para luego someter a las pilas a cargas de compresión calculando su resistencia.

## III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### A. MATERIALES PARA LA FABRICACIÓN DE LAS PILAS

#### Agregado fino

Se realizó el ensayo de granulometría al agregado fino para poder verificar su aceptación en la presente investigación, tal como lo muestra la siguiente tabla:

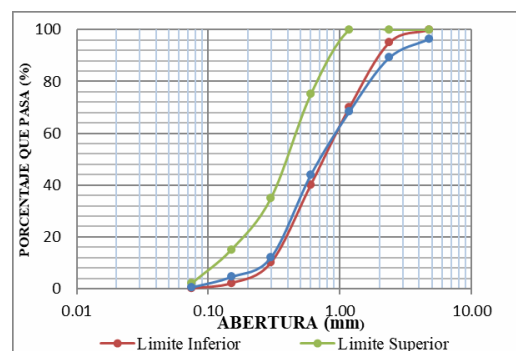


Fig. 1. GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO  
 Adaptado de Silva [8]

Fuente: <https://hdl.handle.net/11537/27341>

Del mismo modo se obtuvieron los valores de los ensayos realizados al agregado como se muestra en la siguiente tabla:

TABLA II PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGREGADO FINO	
PROPIEDAD	VALOR
Módulo de finura	2.85
Contenido de Humedad	5.95%

Peso específico	2.47%
Absorción	2.33%
Peso Unitario Seco Suelto	1396.97
Peso Unitario Seco Compactado	1315.51
Adaptado de Silva [8]	

Como se puede observar en la tabla 2, la curva granulométrica de la arena gruesa para ser empleada dentro el mortero se encontró dentro de los Límites Granulométricos establecidos por la norma ASTM C33 y con un módulo de finura de 2.85, por lo cual se acepta al material para la elaboración del mortero de junta.

### Ladrillos King Kong

Se realizaron ensayos de aceptación de los ladrillos king Kong, tanto industrial como artesanal

TABLA III PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS LADRILLOS KING KONG		
PROPIEDAD	VALOR POR TIPO DE LADRILO	
	ARTESANAL	INDUSTRIAL
Variación dimensional	6.66%	-1.61%
Absorción	7.05%	11.62%
Succión	110.75 g/200cm <sup>2</sup>	15.33 g/200cm <sup>2</sup>
Resistencia a compresión f <sub>b</sub>	44.66 kg/cm <sup>2</sup>	95.42 kg/cm <sup>2</sup>
Adaptado de Silva [8]		

Según la clasificación de los ladrillos de la Norma Técnica E070, los resultados obtenidos clasifican según su variación dimensional al ladrillo de arcilla artesanal como un Tipo II y al ladrillo industrial como un Tipo IV. Y aceptamos ambas unidades puesto que los coeficientes de variación de ambos lotes de fabricación están por debajo de los 40% estipulados por norma, pero teniendo en cuenta que la resistencia a compresión es el valor más relevante para definir su clasificación, denominamos al ladrillo de arcilla artesanal como un Tipo I y al ladrillo de arcilla industrial como un tipo III.

Los ladrillos cumplen con el rango de absorción máxima que establece la Norma E070 de 22%, sin embargo, la succión de los ladrillos de arcilla artesanales e industriales, identificamos que el ladrillo de tipo artesanal tiene una succión elevada que supera los 20 g/200cm<sup>2</sup>, es por esto por lo que los ladrillos deben ser mojados por media hora antes de la elaboración de las pilas.

En base a la Absorción de ladrillos de arcilla artesanales e industriales, los ladrillos cumplen con el rango de absorción máxima que establece la Norma E070 de 22%, sin embargo, identificamos que el ladrillo de tipo artesanal tiene una succión elevada que supera los 20 g/200cm<sup>2</sup>, es por esto por lo que los ladrillos deben ser mojados por media hora antes de la elaboración de las pilas.

## B. RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LAS PILAS DE ALBAÑILERÍA DE LADRILLO ARTESANAL E INDUSTRIAL CON PORCENTAJES DE VIDRIO MOLIDO

TABLA IV  
RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE PILAS DE LADRILLO ARTESANAL SIN REEMPLAZO DE VIDRIO

Pila	Alto (cm)	Carga máxima (kg)	Esbeltez (ht/hp)	Coef. de Corr.	f' <sub>b</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )
PLA-01	27.43	5966 kg	2.18	0.730	<b>15.95</b>
PLA-02	27.37	5761 kg	2.23	0.740	<b>16.24</b>
PLA-03	26.90	8000 kg	2.12	0.717	<b>20.50</b>
PLA-04	27.07	5176 kg	2.26	0.748	<b>15.13</b>
PLA-05	27.00	5089 kg	2.27	0.749	<b>15.02</b>
PLA-06	27.03	6017 kg	2.18	0.730	<b>16.34</b>
Resistencia Promedio (f <sub>b</sub> )					<b>16.53</b>
Desviación estándar (s)					<b>2.02</b>
Resistencia (f <sub>b</sub> )					<b>14.51</b>
Adaptado de Silva [8]					

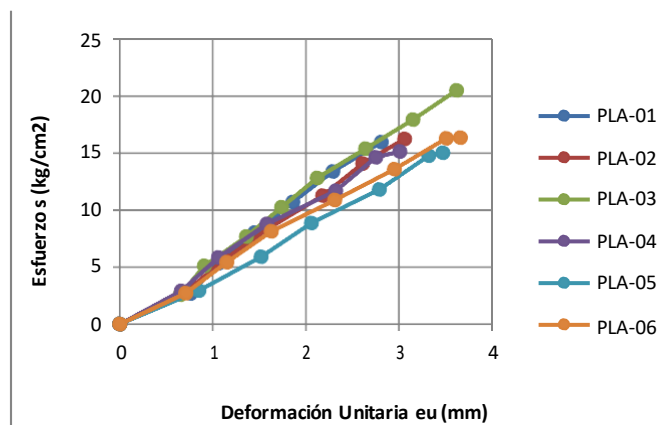


Fig. 2. Esfuerzo vs Deformación (Pilas ladrillo artesanal + 0% vidrio)  
Adaptado de Silva [8]

Fuente: <https://hdl.handle.net/11537/27341>

**Nota:** La figura muestra las gráficas esfuerzo-deformación de las seis pilas de ladrillo artesanal sin reemplazo de vidrio.

De las gráficas mostradas se identifica que la pila PLA -03 fue la que mayor resistencia obtuvo, dando el valor corregido por esbeltez de 20.50 Kg/cm<sup>2</sup> y el menor valor obtenido fue de la PLA-04 con un valor corregido de 15.02 Kg/cm<sup>2</sup>.

TABLA V  
RESISTENCIA DE PILAS DE LADRILLO INDUSTRIAL SIN REEMPLAZO DE VIDRIO.

Pila	Alto (cm)	Carga máxima (kg)	Esbeltez (ht/hp)	Coef. de Corr.	f' <sub>b</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )
PLI-01	31.17	18283 kg	2.54	0.809	<b>50.81</b>
PLI-02	31.43	18352 kg	2.56	0.814	<b>51.52</b>
PLI-03	31.17	18883 kg	2.54	0.809	<b>52.99</b>
PLI-04	30.83	16524 kg	2.53	0.807	<b>46.60</b>
PLI-05	30.93	16517 kg	2.53	0.806	<b>46.00</b>
PLI-06	31.27	16373 kg	2.54	0.809	<b>45.07</b>
Resistencia Promedio (f <sub>b</sub> )					<b>48.83</b>
Desviación estándar (s)					<b>3.33</b>

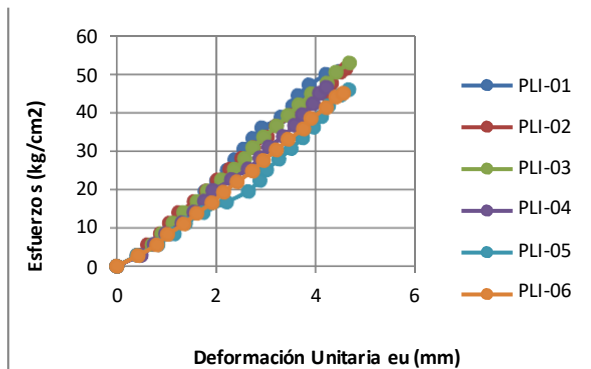


Fig. 3. Esfuerzo vs Deformación (Pilas ladrillo industrial + 0% vidrio)  
Adaptado de Silva [8]  
Fuente: <https://hdl.handle.net/11537/27341>

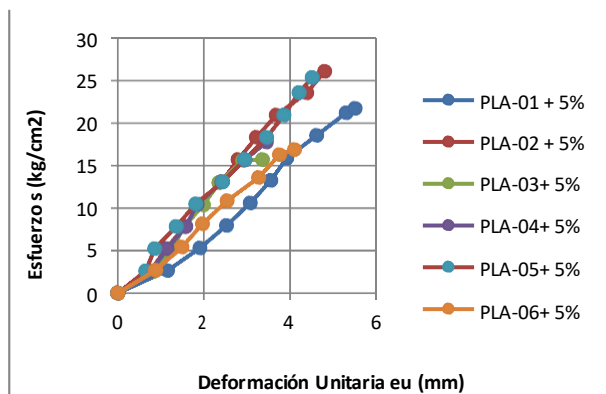
Nota: La figura muestra las gráficas esfuerzo-deformación de las seis pilas de ladrillo industrial sin reemplazo de vidrio.

De las gráficas mostradas se identifica que la pila PLI-03 fue la que mayor resistencia obtuvo, dando el valor corregido por esbeltez de 52.99 Kg/cm<sup>2</sup> y el menor valor obtenido fue de la PLI-04 con un valor corregido de 46.00 Kg/cm<sup>2</sup>.

TABLA VI  
RESISTENCIA DE PILAS DE LADRILLO ARTESANAL +5% DE VIDRIO.

Pila	Alto (cm)	Carga máxima (kg)	Esbeltez (ht/hp)	Coef. de Corr.	f'b (kg/cm <sup>2</sup> )
PLA-01 + 5%	27.13	8203 kg	2.16	0.725	<b>21.74</b>
PLA-02 + 5%	27.10	9971 kg	2.14	0.721	<b>26.10</b>
PLA-03+ 5%	26.97	6045 kg	2.14	0.720	<b>15.70</b>
PLA-04 + 5%	26.87	6788 kg	2.12	0.717	<b>17.75</b>
PLA-05+ 5%	26.87	9689 kg	2.13	0.718	<b>25.37</b>
PLA-06+ 5%	26.97	6223 kg	2.18	0.730	<b>16.90</b>
Resistencia Promedio (fb)					<b>20.59</b>
Desviación estándar (s)					<b>4.48</b>
Resistencia (fb)					<b>16.11</b>

Adaptado de Silva [8]



Fuente: <https://hdl.handle.net/11537/27341>

Nota: La figura anterior las gráficas esfuerzo-deformación de las seis pilas de ladrillo artesanal con reemplazo del 5% de cemento por vidrio.

De las gráficas mostradas se identifica que la pila PLA-02 + 5% fue la que mayor resistencia obtuvo, dando el valor corregido por esbeltez de 26.10 Kg/cm<sup>2</sup> y el menor valor obtenido fue de la PLI-03 con un valor corregido de 15.70 Kg/cm<sup>2</sup>.

TABLA VII  
RESISTENCIA DE PILAS DE LADRILLO INDUSTRIAL +5% DE VIDRIO.

Pila (cm)	Alto máxima (kg)	Carga	Esbeltez (ht/hp)	Coef. de Corr.	f'b (kg/cm <sup>2</sup> )
PLI-01 + 5%	31.47	19512 kg	2.55	0.811	<b>53.78</b>
PLI-02 + 5%	31.03	25687 kg	2.60	2.601	<b>72.63</b>
PLI-03 + 5%	31.30	20612 kg	2.57	2.573	<b>57.21</b>
PLI-04 + 5%	31.20	17364 kg	2.53	2.528	<b>46.90</b>
PLI-05 + 5%	31.40	20223 kg	2.59	2.587	<b>56.88</b>
PLI-06 + 5%	31.10	21615 kg	2.55	2.545	<b>59.46</b>

Resistencia Promedio (fb)

**57.81**

Desviación estándar (s)

**8.47**

Resistencia (fb)

**49.34**

Adaptado de Silva [8]

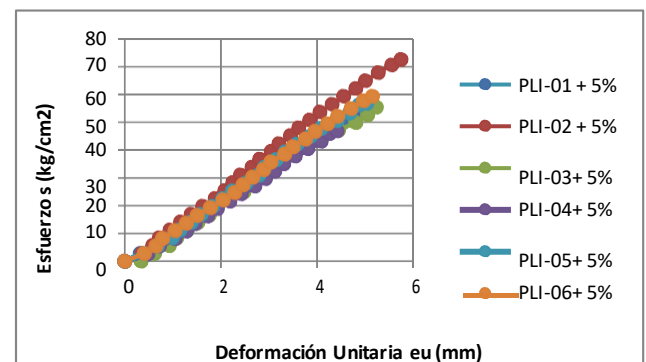


Fig. 5. Esfuerzo vs Deformación (Pilas ladrillo industrial + 5% vidrio)  
Adaptado de Silva [8]

Fuente: <https://hdl.handle.net/11537/27341>

Nota: La figura muestra las gráficas esfuerzo-deformación de las seis pilas de ladrillo industrial con reemplazo del 5% de cemento por vidrio.

De las gráficas mostradas se identifica que la pila PLI-02 + 5% fue la que mayor resistencia obtuvo, dando el valor corregido por esbeltez de 72.63 Kg/cm<sup>2</sup> y el menor valor obtenido fue de la PLI-04 con un valor corregido de 46.90 Kg/cm<sup>2</sup>.

TABLA VIII  
RESISTENCIA DE PILAS DE LADRILLO ARTESANAL +10% DE VIDRIO.

Pila	Alto (cm)	Carga máxima (kg)	Esbeltez (ht/hp)	Coef. de Corr.	f'b (kg/cm <sup>2</sup> )
PLA-01+10%	27.47	9217 kg	2.22	0.739	<b>25.64</b>
PLA-02+10%	26.77	6319 kg	2.12	0.716	<b>16.31</b>
PLA-03+10%	27.07	8773 kg	2.15	0.723	<b>22.97</b>
PLA-04+10%	26.87	8071 kg	2.13	0.719	<b>20.90</b>

PLA-05+10%	26.83	7957 kg	2.16	0.726	<b>21.21</b>
PLA-06+10%	27.03	7587 kg	2.18	0.730	<b>20.41</b>

Resistencia Promedio (fb) **21.24**  
Desviación estándar (s) **3.08**  
Resistencia (fb) **18.16**

Adaptado de Silva [8]

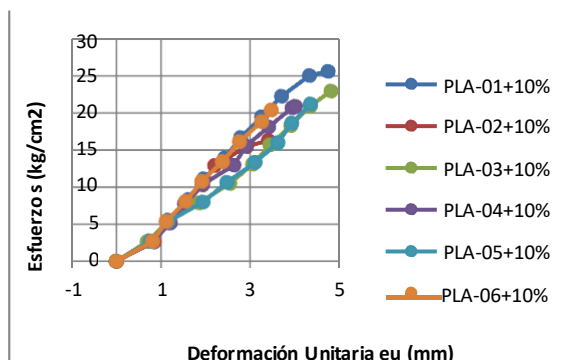


Fig. 6. Esfuerzo vs Deformación (Pilas ladrillo artesanal +10% vidrio)

Adaptado de Silva [8]

Fuente: <https://hdl.handle.net/11537/27341>

Nota: La figura muestra las gráficas esfuerzo-deformación de las seis pilas de ladrillo artesanal con reemplazo del 10% de cemento por vidrio.

De las gráficas mostradas se identifica que la pila PLA-01 + 10% fue la que mayor resistencia obtuvo, dando el valor corregido por esbeltez de 25.64 Kg/cm<sup>2</sup> y el menor valor obtenido fue de la PLA-02 + 10% con un valor corregido de 16.31 Kg/cm<sup>2</sup>.

TABLA IX  
RESISTENCIA DE PILAS DE LADRILLO INDUSTRIAL +10% DE VIDRIO.

Pila	Alto (cm)	Carga máxima (kg)	Esbeltez (ht/hp)	Coef. de Corr.	f'b (kg/cm <sup>2</sup> )
PLI01+10%	31.27	22302 kg	2.60	0.822	<b>64.52</b>
PLI02+10%	31.73	16629 kg	2.66	0.835	<b>49.58</b>
PLI03+10%	31.37	20390 kg	2.58	0.817	<b>58.11</b>
PLI04+10%	31.03	23670 kg	2.57	0.816	<b>68.00</b>
PLI05+10%	30.97	20745 kg	2.48	0.796	<b>54.17</b>
PLI06+10%	31.20	24121 kg	2.59	0.820	<b>68.71</b>
Resistencia Promedio (fb)					<b>60.51</b>
Desviación estándar (s)					<b>7.81</b>
Resistencia (fb)					<b>52.70</b>

Adaptado de Silva [8]

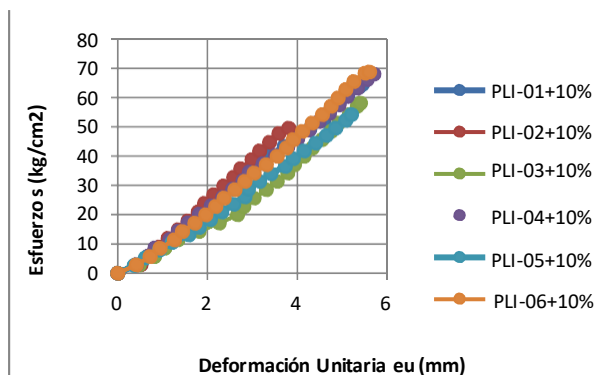


Fig. 7. Esfuerzo vs Deformación (Pilas ladrillo industrial +10% vidrio)

Adaptado de Silva [8]

Fuente: <https://hdl.handle.net/11537/27341>

Nota: La figura muestra las gráficas esfuerzo-deformación de las seis pilas de ladrillo industrial con reemplazo del 10% de cemento por vidrio.

De las gráficas mostradas se identifica que la pila PLI-06 + 10% fue la que mayor resistencia obtuvo, dando el valor corregido por esbeltez de 68.71 Kg/cm<sup>2</sup> y el menor valor obtenido fue de la PLI-02 + 10% con un valor corregido de 49.58 Kg/cm<sup>2</sup>.

TABLA X  
RESISTENCIA DE PILAS DE LADRILLO ARTESANAL +15% DE VIDRIO.

Pila	Alto (cm)	Carga máxima (kg)	Esbeltez (ht/hp)	Coef. de Corr.	f'b (kg/cm <sup>2</sup> )
PLA-01+15%	27.33	6099 kg	2.22	0.738	<b>17.10</b>
PLA-02+15%	26.90	5133 kg	2.16	0.726	<b>13.98</b>
PLA-03+15%	27.60	6186 kg	2.20	0.733	<b>16.61</b>
PLA-04+15%	26.87	6760 kg	2.14	0.720	<b>17.72</b>
PLA-05+15%	27.33	4644 kg	2.21	0.736	<b>12.88</b>
PLA-06+15%	26.70	5742 kg	2.13	0.718	<b>15.13</b>
Resistencia Promedio (fb)					<b>15.57</b>
Desviación estándar (s)					<b>1.90</b>
Resistencia (fb)					<b>13.67</b>

Adaptado de Silva [8]

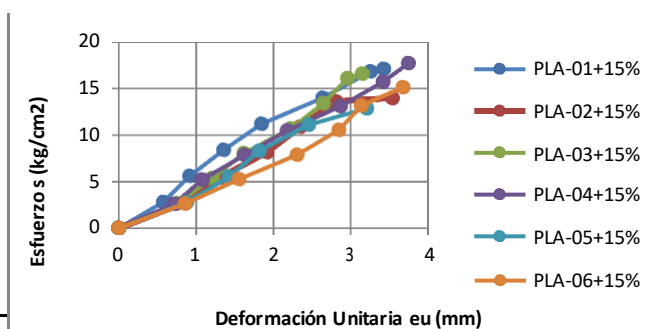


Fig. 8. Esfuerzo vs Deformación (Pilas ladrillo artesanal +15% vidrio)

Adaptado de Silva [8]

Fuente: <https://hdl.handle.net/11537/27341>

Nota: La figura muestra las gráficas esfuerzo-deformación de las seis pilas de ladrillo artesanal con reemplazo del 15% de cemento por vidrio.

De las gráficas mostradas se identifica que la pila PLA-04 + 15% fue la que mayor resistencia obtuvo, dando el valor corregido por esbeltez de 17.72 Kg/cm<sup>2</sup> y el menor valor obtenido fue de la PLA-05 + 15% con un valor corregido de 12.88 Kg/cm<sup>2</sup>.

TABLA XI  
RESISTENCIA DE PILAS DE LADRILLO INDUSTRIAL +15% DE VIDRIO.

Pila	Alto (cm)	Carga máxima (kg)	Esbeltez (ht/hp)	Coef. de Corr.	f'b (kg/cm <sup>2</sup> )
PLI01+15%	31.03	24756 kg	2.59	0.819	<b>70.20</b>
PLI02+15%	30.93	16700 kg	2.52	0.805	<b>45.66</b>
PLI03+15%	31.17	23558 kg	2.48	0.796	<b>61.89</b>
PLI04+15%	31.47	19644 kg	2.53	0.807	<b>53.04</b>
PLI05+15%	31.33	22138 kg	2.52	0.804	<b>60.95</b>
PLI06+15%	31.27	22383 kg	2.50	0.799	<b>59.20</b>
Resistencia Promedio (fb)					<b>58.49</b>
Desviación estándar (s)					<b>8.36</b>
Resistencia (fb)					<b>50.13</b>

Adaptado de Silva [8]

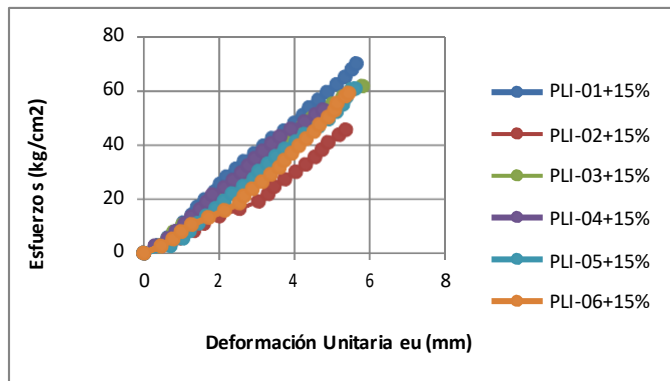


Fig. 9. Esfuerzo vs Deformación (Pilas ladrillo industrial +15% vidrio)  
Adaptado de Silva [8]

Fuente: <https://hdl.handle.net/11537/27341>

Nota: La figura muestra las gráficas esfuerzo- deformación de las seis pilas de ladrillo industrial con reemplazo del 15% de cemento por vidrio.

De las gráficas mostradas se identifica que la pila PLI-01 + 15% fue la que mayor resistencia obtuvo, dando el valor corregido por esbeltez de 70.20 Kg/cm<sup>2</sup> y el menor valor obtenido fue de la PLI-04 + 15% con un valor corregido de 45.66 Kg/cm<sup>2</sup>.

#### C. EFECTO DEL VIDRIO MOLIDO EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LAS PILAS DE ALBAÑILERÍA DE LADRILLO ARTESANAL

Una vez ensayados todas las pilas de ladrillo artesanal se obtuvieron los valores de la resistencia a compresión para cada reemplazo de vidrio molido, mostrándose en la siguiente tabla:

PILA	0%	5%	10%	15%
PLA-01	15.95	21.74	25.64	17.10
PLA-02	16.24	26.10	16.31	13.98
PLA-03	20.50	15.70	22.97	16.61
PLA-04	15.13	17.75	20.90	17.72
PLA-05	15.02	25.37	21.21	12.88
PLA-06	16.34	16.90	20.41	15.13
RESISTENCIA PROMEDIO (F <sub>M</sub> )	16.53	20.59	21.24	15.57
MEDIANA (ME)	16.09	19.75	21.06	15.87
VARIANZA (S <sup>2</sup> )	4.09	20.03	9.50	3.60
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (S)	2.02	4.48	3.08	1.90

Adaptado de Silva [28]

De la tabla XII, se puede observar que la resistencia promedio para pilas de ladrillo artesanal alcanzada fue de 16.53 kg/cm<sup>2</sup> con 0% de reemplazo; 20.59 kg/cm<sup>2</sup> al reemplazar un 5% de cemento por vidrio molido, 21.24 kg/cm<sup>2</sup> al reemplazar un 10% y 15.57 kg/cm<sup>2</sup> reemplazando un 15%.

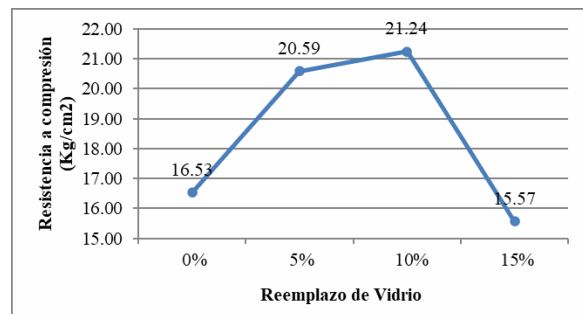


Fig. 10. Variación de la resistencia de pilas de ladrillo artesanal  
Adaptado de Silva [8]

Fuente: <https://hdl.handle.net/11537/27341>

Como se verifica en la Fig. 10, se logró un aumento significativo de la resistencia en los reemplazos del 5 y 10% de cemento por vidrio molido, mientras que para el reemplazo del 15% se produjo una leve disminución de la resistencia.

Efecto del vidrio molido en la resistencia a compresión de las pilas de albañilería de ladrillo artesanal

Del mismo modo se realizó el ensayo de resistencia a compresión para cada una de las pilas elaboradas con ladrillo industrial y con los diferentes porcentajes de reemplazo de cemento por vidrio molido, tal como se muestra en la tabla a continuación:

PILA	0%	5%	10%	15%
PLA-01	50.81	53.78	64.52	70.20
PLA-02	51.52	72.63	49.58	45.66
PLA-03	52.99	57.21	58.11	61.89
PLA-04	46.60	46.90	68.00	53.04
PLA-05	46.00	56.88	54.17	60.95
PLA-06	45.07	59.46	68.71	59.20
RESISTENCIA PROMEDIO (F <sub>M</sub> )	48.83	57.81	60.51	58.49
MEDIANA (ME)	48.70	57.04	61.31	60.07
VARIANZA (S <sup>2</sup> )	11.10	71.80	60.98	69.91
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (S)	3.33	8.47	7.81	8.36

Adaptado de Silva [8]

De los resultados obtenidos, se puede observar que la resistencia alcanzada fue de 48.83 kg/cm<sup>2</sup> con 0% de reemplazo de cemento; 57.81 kg/cm<sup>2</sup> al reemplazar un 5% de cemento por vidrio molido, 60.51 kg/cm<sup>2</sup> al reemplazar un 10% y 58.49 kg/cm<sup>2</sup> reemplazando un 15%.

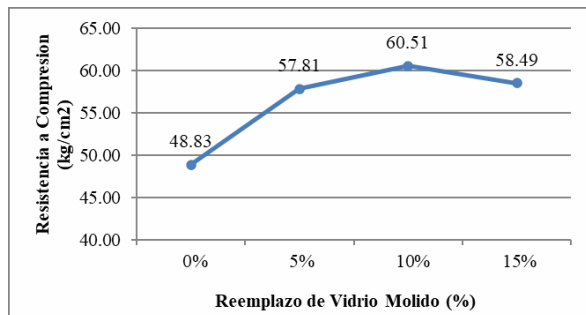


Fig. 11. Variación de la resistencia de pilas de ladrillo industrial Adaptado de Silva[8]

Fuente: <https://hdl.handle.net/11537/27341>

Como se observa en la Fig. 11, se obtuvo un aumento de la resistencia en los reemplazos del 5, 10 y 15% de cemento por vidrio molido, siendo el porcentaje de mayor aumento el del reemplazo del 10%

#### IV. CONCLUSIONES

Se calculó apropiadamente las propiedades físicas del agregado fino a utilizar en la elaboración del mortero, tales como: módulo de finura es 2.85, gravedad específica 2.35 gr/cm<sup>3</sup>, absorción 2.33 %, peso unitario suelto 1315.51 Kg/m<sup>3</sup>, peso unitario compactado 1396.97 Kg/m<sup>3</sup> y contenido de humedad 5.95 %.

Se determinó las propiedades del ladrillo artesanal a utilizar, realizando ensayos clasificatorios como, variación dimensional, clasificando a la unidad como tipo II; alabeo, clasificándola como Tipo III y resistencia a la compresión como Tipo I, obteniendo finalmente la clasificación del ladrillo como Tipo I. A la vez se realizaron ensayos no clasificatorios como absorción 7.05 % y succión 110.75/200gcm<sup>2</sup>

Se determinó las propiedades del ladrillo industrial obteniendo en sus ensayos clasificatorios de, variación dimensional, Tipo IV; alabeo, Tipo IV y resistencia a la compresión, Tipo III, obteniendo finalmente la clasificación del ladrillo como Tipo III. Y en ensayos no clasificatorios de absorción 11.61 % y succión 15.33/200gcm<sup>2</sup>

Se obtuvo que una resistencia a compresión de pilas de arcilla artesanal con un mortero de 1:4 fue de 16.53 Kg/cm<sup>2</sup>, añadiendo 5% de vidrio molido de 20.59 Kg/cm<sup>2</sup>, añadiendo 10% de vidrio molido de 21.24 Kg/cm<sup>2</sup> y añadiendo 15% de vidrio molido de 15.57 Kg/cm<sup>2</sup>

Se obtuvo que una resistencia a compresión de pilas de arcilla industrial con un mortero de 1:4 fue de 48.83 Kg/cm<sup>2</sup>, añadiendo 5% de vidrio molido de 57.81 Kg/cm<sup>2</sup>, añadiendo 10% de vidrio molido de 60.51 Kg/cm<sup>2</sup> y añadiendo 15% de vidrio molido de 58.49 Kg/cm<sup>2</sup>

- [1] Zavala, C., Gibu P., Honma, C., Anicama O., Gallardo, J., Chang, L., Huaco, G., Bautista G., Cárdenas, L. 2005. La construcción de la vivienda de la albañilería.
- [2] Barranzuela, J. 2014. Proceso productivo de los ladrillos de arcilla producidos en la Región Piura
- [3] Rodríguez, M., Ruiz, M., 2016. Evaluación del desempeño de un hormigón con incorporación de vidrio reciclado finamente molido en reemplazo de cemento mediante ensayos de laboratorio.
- [4] Shi, C., & Zheng, K. 2007. A review on the use of waste glass in the production of cement and concrete.
- [5] Becerra, J., 2018. Gestión ambiental de residuos sólidos en la universidad nacional de Cajamarca.
- [6] Meyer, C. 2009. The greening of the concrete industry. Cement and Concrete Composites
- [7] Vijayakumar, G., Vishaliny, H. and Govindarajulu, D. 2013. Studies on Glass Powder as Partial Replacement of Cement in Concrete Production. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering.
- [8] Silva, P., 2019. "Resistencia a la compresión de pilas de ladrillo artesanal e industrial con mortero cemento - arena 1:4 mejorado con vidrio molido". Tesis de Licenciatura, Universidad Privada del Norte, <https://hdl.handle.net/11537/27341>.