

Influence of the curing method on the compressive strength of piles built with industrial and artisanal clay bricks

Ruth Mery, Malaver Aguilar¹; Stanlin Jesús, Ruiz Rivera²; Edinson Fernando, Pajares Urteaga³; Miguel Angel, Mosqueira Moreno Dr.⁴; Hermes Roberto Mosqueira Ramírez Dr.⁵

¹Universidad Nacional de Cajamarca (UNC), Cajamarca, Perú. rmalavera_epg15@unc.edu.pe

²Universidad Nacional de Cajamarca (UNC), Cajamarca, Perú. sjruiizr@unc.edu.pe

³Universidad Nacional de Cajamarca (UNC), Cajamarca, Perú. epajaresu_epg15@unc.edu.pe

⁴Universidad Nacional de Cajamarca (UNC), Cajamarca, Perú. mmosqueira@unc.edu.pe

⁵Universidad Nacional de Cajamarca (UNC), Cajamarca, Perú. hmosqueira@unc.edu.pe

Abstract– This study determined the influence of curing methods on the compressive strength of piles constructed with industrial and artisanal clay bricks in the city of Cajamarca, both without curing and with different curing methods. The piles were constructed using King Kong 18H SIPÁN industrial bricks and artisanal bricks from the El Cerrillo community. For this study, 25 piles of each brick type were constructed with 1:4 cement-sand mortar and 1 cm joints. In all cases, the bricks were soaked for 20 minutes before laying. Five piles of each brick type were tested without curing, and five were tested with each curing method (spraying with Sika® Antisol® S, immersion in water, daily spraying, and spraying three times a day). After 28 days of curing, the piles were tested, revealing that the industrial piles showed decreases of 13.17%, 26.21%, and 25.16% compared to the uncured piles. However, the piles sprayed three times a day showed an increase in resistance of 4.85%. The compressive strength of the piles made with handmade bricks showed increases of 12.41%, 35.06%, 14.41%, and 16.73% compared to the uncured but saturated piles before placement. Therefore, it is concluded that curing benefits the strength of brick stacks made with handmade bricks; however, it has a negative influence on most of the curing of stacks made with industrial bricks.

Keywords: masonry, compressive strength, curing, handmade brick, industrial brick.

Influencia del método de curado en la resistencia a compresión de pilas construidas con ladrillos de arcilla industriales y artesanales

Ruth Mery, Malaver Aguilar¹; Stanlin Jesús, Ruiz Rivera²; Edinson Fernando, Pajares Urteaga³;

Miguel Angel, Mosqueira Moreno Dr.⁴; Hermes Roberto Mosqueira Ramírez Dr.⁵

¹Universidad Nacional de Cajamarca (UNC), Cajamarca, Perú. rmalavera_epg15@unc.edu.pe

²Universidad Nacional de Cajamarca (UNC), Cajamarca, Perú. sjruizr@unc.edu.pe

³Universidad Nacional de Cajamarca (UNC), Cajamarca, Perú. epajaresu_epg15@unc.edu.pe

⁴Universidad Nacional de Cajamarca (UNC), Cajamarca, Perú. mmosqueira@unc.edu.pe

⁵Universidad Nacional de Cajamarca (UNC), Cajamarca, Perú. hmosqueira@unc.edu.pe

Resumen– En esta investigación se determinó la influencia de los métodos de curado en la resistencia a la compresión de pilas construidas con ladrillos de arcilla industriales y artesanales para la ciudad de Cajamarca, sin curado y con diferentes métodos de curado. En la construcción de las pilas se usaron ladrillos industriales King Kong 18H SIPÁN y ladrillos artesanales del Centro Poblado “El Cerrillo”. Para esta investigación se construyeron 25 pilas por cada tipo de ladrillo con mortero cemento–arena 1:4 y junta de 1 cm. En todos los casos los ladrillos fueron regados por 20 minutos antes del asentado. Para cada tipo de ladrillo se consideró cinco sin curar, cinco por tipo de curado (rociado con Sika® Antisol® S, inmersión en agua, rociado diario y rociado tres veces al día). A los 28 días de curado las pilas fueron ensayadas obteniendo como resultados que las pilas industriales mostraron disminuciones del 13.17%, 26.21% y 25.16% con respecto a las pilas no curadas, sin embargo, las pilas que fueron rociado tres veces al día su resistencia aumento en 4.85%. La resistencia a compresión de las pilas fabricadas con ladrillo artesanales presentó incrementos de 12.41%, 35.06%, 14.41% y 16.73%, con respecto a las pilas no curadas pero saturadas antes del asentado. Por lo que se concluye que el curado beneficia la resistencia de las pilas de ladrillos fabricadas con ladrillo artesanales, sin embargo, tiene una influencia negativamente en a la mayoría de los curados de las pilas fabricadas con ladrillos industriales.

Palabras clave: pilas de ladrillo, resistencia a la compresión, curado, ladrillo artesanal, ladrillo industrial.

I. INTRODUCCIÓN

Esta investigación está basada en la tesis “Comparación de la resistencia a la compresión de las pilas fabricadas con ladrillo industrial y artesanal de arcilla en la ciudad de Cajamarca, curado con agua y otros tipos de curado” del repositorio de la Universidad Nacional de Cajamarca [1].

En esta investigación se busca determinar la influencia de los métodos de curado en la resistencia a la compresión de pilas de ladrillo fabricadas con ladrillo industrial King Kong 18H Sipán de arcilla y artesanal de arcilla de la ladrillera “El Cerrillo” de la ciudad de Cajamarca. Los tipos de curado considerados fueron: rociado con Sika® Antisol® S (curador liquido), inmersión en agua, rociado diario y rociado tres veces al día. Para todos los casos debido a la succión del

ladrillo, antes del asentado y construcción de las pilas fueron regados por 20 minutos logrando una saturación superficial del ladrillo.

La mampostería de ladrillo de arcilla constituye uno de los sistemas constructivos más antiguos y ampliamente utilizados en el mundo debido a su disponibilidad, bajo costo y propiedades térmicas y mecánicas favorables. Sin embargo, las características del ladrillo, especialmente en su resistencia a la compresión dependen significativamente de las condiciones de fabricación, tipo de materia prima, proceso de cocción y curado [2], mientras que la resistencia del muro también depende del tipo de mortero y de su curado.

La mampostería de ladrillo es uno de los sistemas constructivos más utilizados en el Perú, especialmente en ciudades como Cajamarca, donde la mayoría de las viviendas se edifican con ladrillos industriales y artesanales de arcilla. A pesar de su amplio uso, en muchos casos no se considera una adecuada caracterización mecánica del ladrillo, ni el tratamiento del curado de los elementos de mampostería, lo que puede afectar la resistencia estructural de los muros portantes.

La resistencia a la compresión de las pilas de mampostería es un parámetro fundamental para el diseño estructural de edificaciones de albañilería. Sin embargo, en la práctica constructiva local, el curado de las pilas de ladrillo suele omitirse o aplicarse de manera empírica, sin conocer su influencia real sobre la resistencia del conjunto ladrillo–mortero, generando incertidumbre en la capacidad portante de los muros estructurales.

El curado, aunque es un concepto más asociado a materiales como el concreto o el mortero, también afecta la resistencia de los elementos de mampostería. El tipo y duración del curado afectan la hidratación, la adherencia entre mortero y ladrillo y, en consecuencia, la resistencia global de la pila [3]. El curado en la albañilería es un proceso crítico que garantiza la correcta hidratación del mortero o concreto, favoreciendo el desarrollo de sus propiedades mecánicas y

minimizando la aparición de fisuras o grietas en la estructura. Una adecuada conservación de la humedad durante el período de fraguado permite optimizar la resistencia a la compresión y prolongar la vida útil de las edificaciones [4]. El curado adecuado de los ladrillos, especialmente los artesanales de arcilla, es clave para su resistencia mecánica: estudios comparativos muestran que diferentes métodos de curado (por ejemplo, rociado frecuente con agua) pueden aumentar la resistencia a la compresión de ladrillos artesanales en mayor proporción que en los industriales, lo que repercute directamente en la capacidad de la estructura para soportar cargas y deformaciones. [1]

Así mismo, esta investigación busca contribuir a mejorar la seguridad y calidad de las viviendas, considerando que la albañilería de ladrillo es predominante en la autoconstrucción y en proyectos de vivienda económica. Por lo que el conocimiento del comportamiento mecánico de ladrillos industriales y artesanales bajo distintos tipos de curado permite reducir riesgos estructurales y mejorar las condiciones de habitabilidad de la población.

La autoconstrucción es una práctica habitual, ya que muchas familias al no poder acceder a profesionales o contratar directamente mano de obra especializada, levantan sus viviendas con albañilería artesanal o bajo la dirección de obra con poca supervisión técnica formal. Esto influye en los procesos constructivos incluido el curado de ladrillos y el diseño estructural, no siempre sigan las mejores prácticas recomendadas.

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística e Informática, en la provincia de Cajamarca, el 64.4% del total de viviendas particulares presentan paredes exteriores construidas con material noble, definido como ladrillo, bloque de cemento, piedra o sillar con cal o cemento. Este porcentaje refleja la predominancia de materiales de alta durabilidad y calidad en la estructura habitacional de la capital provincial, indicando un nivel significativo de desarrollo en la infraestructura local. [5]

Dado que Cajamarca se encuentra en una zona de alta sismicidad, las viviendas construidas sin criterios técnicos y con materiales mal curados o ejecutados pueden presentar una mayor vulnerabilidad frente a sismos, sobre todo cuando carecen de refuerzos, buenas juntas o confinamiento estructural adecuado. Por ello, la combinación de un porcentaje considerable de viviendas de ladrillo, la prevalencia de la autoconstrucción y las debilidades en procesos como el curado subraya la importancia de mejorar la seguridad estructural mediante capacitación, supervisión técnica y diseño sismorresistente para minimizar riesgos en eventos sísmicos futuros.

En el ámbito económico y estructural, la investigación aporta criterios técnicos para mejorar la seguridad estructural

de las viviendas en especial de las autoconstruidas que corresponden a las personas de más bajos recursos recordar que según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (2017), Cajamarca está en el primer lugar de pobreza a nivel del Perú, alcanzando alrededor del 43% y que la mayoría por necesidad recurre a la autoconstrucción de viviendas de ladrillo artesanal, el uso de materiales locales y procesos constructivos accesibles, sin incrementar significativamente los costos de edificación [1].

La adecuada caracterización del ladrillo y la identificación del tipo de curado más eficiente permiten mejorar la resistencia de los muros estructurales utilizando materiales locales y técnicas accesibles, promoviendo edificaciones más durables y económicas. De esta manera, la investigación aporta criterios técnicos que facilitan la toma de decisiones en el diseño y construcción de muros de mampostería, fortaleciendo el desarrollo de viviendas sostenibles y estructuralmente adecuadas en la región de Cajamarca. Garantizando una solución rentable que asegura una construcción resistente y de larga duración [1].

II. MARCO REFERENCIAL

Diferentes investigaciones han estudiado el efecto del curado en la resistencia a la compresión de pilas de albañilería. En [6] estudiaron el efecto del curado temprano y la humedad del sustrato en compuestos TRM (morteros reforzados con textiles), para mampostería. Un mayor contenido de agua en el ladrillo mejora la adherencia mortero-sustrato y la resistencia mecánica, aunque el curado en alta humedad reduce la influencia del estado del sustrato. Los ensayos confirman que la hidratación del mortero controla la resistencia del sistema.

Asimismo, en [7] se estudiaron morteros de cemento-cal tras exposición a fuego y curado posterior. Encontraron que, a mayor tiempo de curado post-fuego, disminuyen las propiedades mecánicas y aumenta la deformabilidad, especialmente en morteros con más cal, mostrando un deterioro progresivo y comportamiento más dúctil.

De otro lado, en [8] evaluó cómo el tiempo de exposición al agua afecta la resistencia a la compresión (f'_m) de prismas de albañilería hechos con ladrillos artesanales e industriales de arcilla en Arequipa. Los resultados mostraron que la resistencia disminuye a medida que aumenta el tiempo de exposición al agua.

En [9] se investigó cómo las técnicas de curado y el tipo de bloque no portante afectan la resistencia a la compresión, absorción y densidad de bloques de concreto. Se fabricaron 54 bloques (Tipo I, II y III) y se curaron por inmersión, aspersión o con membrana. Los ensayos mostraron que los bloques Tipo III curados por inmersión en agua presentan las mejores

propiedades mecánicas y físicas, alcanzando mayor resistencia, densidad y menor absorción.

Por otra parte, también se evaluó la influencia de distintos métodos de curado en la resistencia a la compresión de pilas de albañilería con ladrillo de arcilla industrial y mortero 1:4. Se elaboraron 12 pilas, distribuidas en tres grupos de curado: agua por 7 días, curador químico Chema Membranil y curador Sika®Antisol®S. A los 28 días, las pilas fueron sometidas a pruebas de compresión. Los resultados mostraron que el curado con agua alcanzó la mayor resistencia (75.29 kg/cm²), seguido por Sika®Antisol®S (58.50 kg/cm²) y Chema Membranil (56.37 kg/cm²). Se concluye que, en términos de resistencia a la compresión, el método más eficiente es el curado con agua potable [10].

Estas investigaciones resaltan la importancia del tipo de curado y su influencia en la resistencia a compresión de las pilas o prismas de albañilería.

Definiciones Esenciales

- Albañilería o mampostería: material estructural compuesto por “unidades de albañilería” asentadas con mortero o por “unidades de albañilería” apiladas, en cuyo caso son integradas con concreto líquido [11].
- Curado: Medidas adoptadas para mantener las condiciones de humedad y temperatura en una mezcla cementosa recién colocada para permitir la hidratación del cemento hidráulico y (si es necesario) las reacciones puzolánicas, de modo que se puedan desarrollar las propiedades potenciales de la mezcla [1].
- Mortero: El mortero estará constituido por una mezcla de aglomerantes y agregado fino, a los cuales se añadirá la máxima cantidad de agua que proporcione una mezcla trabajable, adhesiva y sin segregación del agregado. [11].
- Resistencia a la compresión: La resistencia a la compresión del espécimen se determina dividiendo la carga máxima registrada durante el ensayo de compresión uniaxial entre el área de su sección transversal [1].

III. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Materiales, equipos, personal:

Este estudio se llevó a cabo en el distrito, departamento y provincia de Cajamarca, Perú. Los ensayos se realizaron en el laboratorio de materiales de la facultad de Ingeniería Civil de

la Universidad Nacional de Cajamarca “Carlos Esparza Díaz”. Las pilas que forman parte de la presente investigación, son de ladrillo industrial King Kong 18H Sipán de arcilla de 23.08x11.82x8.78cm. (25 unidades) y ladrillo artesanal de arcilla de la ladrillera “El Cerrillo” de 20.90x11.83x7.56cm. (25 unidades), de la ciudad de Cajamarca. Por lo cual se elaboraron un total de 50 pilas, con un espesor de mortero de 1cm, utilizando Cemento Portland Tipo I, y una dosificación de mortero c/a (1:4); al presentar los ladrillos alta succión, fueron regados con agua por 20 minutos, antes de proceder a elaborar las pilas. Así mismo, se utilizó diferentes tipos de curado como rociado con Sika® Antisol® S, inmersión en agua, rociado diario y rociado tres veces al día. Los cuales fueron ensayadas a compresión axial utilizando una máquina universal de compresión, aplicando una carga puntual creciente hasta la falla, conforme a procedimientos estandarizados para unidades de albañilería.

Los análisis y experimentos realizados en el laboratorio durante la investigación, se desarrollaron mediante el uso de equipamiento y materiales, garantizando la precisión y reproductividad de los resultados, en la que tenemos la máquina de compresión universal, balanzas de precisión, vernier, horno para secado, reglas metálicas graduadas, computadora portátil para registrar y procesar los datos obtenidos y diversas herramientas manuales que nos permitieron realizar un trabajo de investigación experimental eficiente.

Esta investigación tuvo un diseño experimental, de tipo aplicada y de un nivel de investigación descriptiva, teniendo un enfoque cuantitativo, puesto que cuantifica fenómenos mediante datos numéricos para describir características de un grupo de estudio.

B. Muestras en estudio:

Se calculó el tamaño de muestra usando la siguiente fórmula estadística:

$$n = \frac{Z^2 \cdot p \cdot q}{e^2} \quad (1)$$

Donde Z es el valor del nivel de confianza, n es el tamaño de muestra, p es la probabilidad de que ocurra el evento estudiado (éxito), $q = 1 - p$ e la probabilidad de que no ocurra el evento estudiado, e es el error de estimación.

En la que se consideró 90% de nivel de confianza, 12% de error y se consideró que no se tiene conocimiento de la variabilidad del parámetro que se desea estudiar y se consideró un 50% ($q=p=0.50$). Teniendo un total de muestra de 47 pilas de albañilería, pero se edificaron 50 unidades de pilas, 25 de ladrillo artesanal y 25 de ladrillo industrial de

arcilla. De las cuales cada 5 pilas se sometieron a diversos tipos de curado, tanto las pilas de ladrillo artesanal como industrial de arcilla. A continuación, tenemos las tablas correspondientes a las muestras para este estudio.

TABLA I

POBLACIÓN Y MUESTRA DE LADRILLO ARTESANAL DE LA LADRILLERA “EL CERRILLO”

PILAS A ENSAYAR PARA f_m' - LADRILLO ARTESANAL				
Tipo de curado	Frecuencia al día	Cantidad de tipo de ensayos	Cantidad de especímenes por ensayo	Total
Pilas sin curado	-	1	5	5
Pilas rociadas con agua	1 vez al día	1	5	5
	3 vez al día	1	5	5
Pilas inmersas en agua	-	1	5	5
Pilas rociadas con Sika® Antisol® S	1 vez al día	1	5	5
TOTAL				25

Nota: “Comparación de la resistencia a la compresión de las pilas fabricadas con ladrillo industrial y artesanal de arcilla en la ciudad de Cajamarca, curadas con agua y otros tipos de curado” [1].

TABLA II

POBLACIÓN Y MUESTRA DE LADRILLO INDUSTRIAL KING KONG 18H SIPÁN

PILAS A ENSAYAR PARA f_m' - LADRILLO INDUSTRIAL				
Tipo de curado	Frecuencia al día	Cantidad de tipo de ensayos	Cantidad de especímenes por ensayo	Total
Pilas sin curado	-	1	5	5
Pilas rociadas con agua	1 vez al día	1	5	5
	3 vez al día	1	5	5
Pilas inmersas en agua	-	1	5	5
Pilas rociadas con Sika® Antisol® S	1 vez al día	1	5	5
TOTAL				25

Nota: “Comparación de la resistencia a la compresión de las pilas fabricadas con ladrillo industrial y artesanal de arcilla en la ciudad de Cajamarca, curadas con agua y otros tipos de curado” [1].

C. Técnicas e instrumentos de recopilación de información:

Se utilizó la observación directa, los resultados obtenidos de los ensayos fueron registrado en fichas y protocolos establecidos por el laboratorio de la Universidad, protocolos que cumplen con las normativas peruanas.

Se hizo uso de la normativa respectiva para cada uno de los ensayos, como son:

- NTP 399.613 – 399.604. Resistencia a la compresión de las unidades de albañilería [12].
- NTP 399.613. Absorción de la unidad de albañilería [12].
- NTP 399.613 – 399.604. Variación dimensional de las unidades de ladrillo [12].

D. Técnicas e instrumentos de análisis de información:

Se realizó el análisis de información haciendo uso de Microsoft Excel, para obtener las tablas y figuras que se muestran en el apartado de resultados.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los ensayos experimentales de los ensayos de la resistencia a la compresión de las pilas de albañilería elaboradas con ladrillo industrial y artesanal de arcilla, permitieron determinar la resistencia promedio.

TABLA III

RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LAS UNIDADES DE ALBAÑILERÍA

Ladrilleras	Resistencia a la Compresión (fb) (kg/cm ²)
Ladrillo Industrial King Kong 18H SIPÁN	82.95
Ladrillo artesanal del Centro Poblado "El Cerrillo"	73.96

Nota: “Comparación de la resistencia a la compresión de las pilas fabricadas con ladrillo industrial y artesanal de arcilla en la ciudad de Cajamarca, curadas con agua y otros tipos de curado” [1].

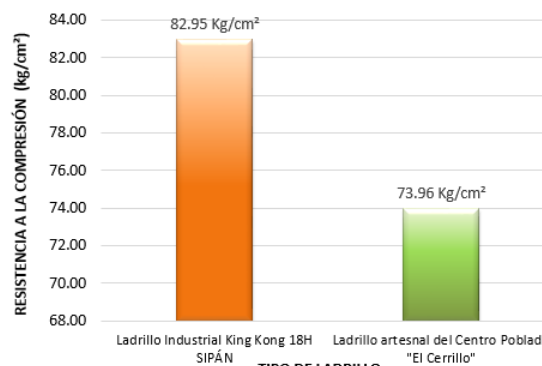


Fig. 1. Comparación de la resistencia a la compresión de pilas de albañilería artesanal e industrial [1].

En la tabla III, Fig.1, se muestran la resistencia a compresión obtenida de un total de 10 unidades, obteniendo como el promedio de los resultados menos la desviación estándar según lo indicado en la norma E070. Se observa que los ladrillos industriales de arcilla King Kong 18H Sipán, las cuales alcanzaron una resistencia promedio de 82.95 kg/cm²; mientras que los ladrillos artesanales de arcilla del Centro Poblado “El Cerrillo” registraron una resistencia de

73.96 kg/cm², mostrando una diferencia porcentual significativa del 12.1 % a favor del material industrial.

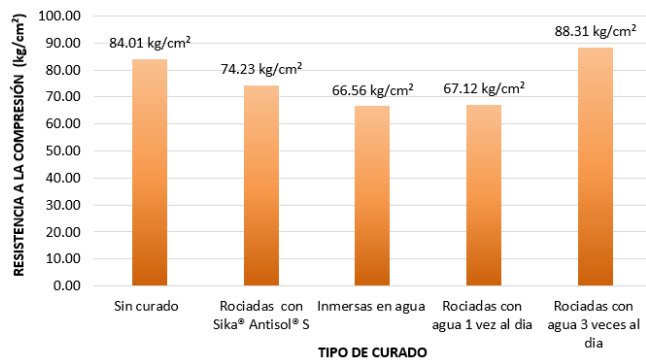


Fig. 2. Resistencia a la compresión de pilas fabricadas con ladrillo industrial de arcilla [1].

En la Fig. 2, observamos las resistencias a compresión que presentan los ladrillos industriales sin curado y las curadas con diferentes tipos de curado; El ladrillo sin curado alcanza una resistencia de 84.01 kg/cm², mientras que el curado mediante rociado con agua y Sika® Antisol® S reduce la resistencia a 74.23 kg/cm², lo que indica un efecto desfavorable de este tratamiento en las condiciones estudiadas. La inmersión en agua registra el valor mínimo (66.56 kg/cm²), posiblemente debido a una saturación excesiva que afecta la integridad de la microestructura del material. Un comportamiento similar se observa en el rociado con agua una vez al día (67.12 kg/cm²). En contraste, el rociado con agua tres veces al día presenta la mayor resistencia a la compresión (88.31 kg/cm²), superando incluso al espécimen sin curado. Este resultado sugiere que un curado controlado y frecuente favorece el desarrollo de la resistencia mecánica.

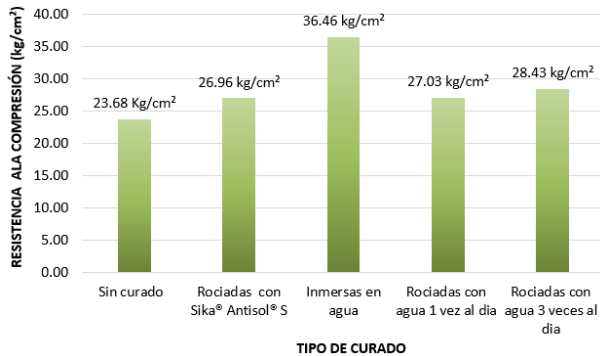


Fig. 3. Resistencia a la compresión de pilas fabricadas con ladrillo artesanal de arcilla [1].

En la Fig. 3, presenta la resistencia a la compresión del ladrillo artesanal de arcilla en función del método de curado aplicado. Los resultados evidencian una influencia significativa del régimen de curado sobre el comportamiento mecánico del material.

El espécimen sin curado registra una resistencia de 23,68 kg/cm². El rociado con agua y Sika® Antisol® S incrementa ligeramente este valor (26.96 kg/cm²), mientras que el curado

por inmersión en agua alcanza la mayor resistencia a la compresión (36.46 kg/cm²). Por su parte, el rociado con agua una vez al día muestra un valor similar (27.03 kg/cm²), y el rociado tres veces al día presenta una mejora moderada (28.43 kg/cm²).

TABLA IV
PORCENTAJE DE VARIACIÓN DE PILAS DE LADRILLO INDUSTRIAL RESPECTO A LAS PILAS PATRÓN

Tipo de curado	Ladrillo industrial King Kong 18H SIPÁN kg/cm²	% Variación
Sin Curado (Saturado)	84.01	0.00%
Sika® Antisol® S	74.23	-13.17%
Inmersas en agua	66.56	-26.21%
Rociadas con agua 1 vez al día	67.12	-25.16%
Rociadas con agua 3 veces al día	88.31	4.85%

Nota: * En la construcción de las pilas sin curado, los ladrillos fueron saturados mediante regado por 20 minutos antes de ser asentados. Ref. [1].

En la tabla IV, presenta los resultados de resistencia a la compresión de las pilas construidas con ladrillo industrial, donde se observa que los métodos de curado mediante Sika® Antisol® S, inmersión en agua y rociado diario generaron reducciones significativas en la resistencia. En contraste, el curado por rociado tres veces al día produjo una leve mejora, con un incremento del 4.85 %. Esta tendencia sugiere que el ladrillo industrial, debido a su menor porosidad y capacidad de absorción, presenta una limitada retención de humedad, lo que reduce la efectividad del curado húmedo.

Asimismo, un aporte excesivo de agua podría afectar negativamente la adherencia entre el ladrillo y el mortero, influyendo en la resistencia mecánica del conjunto.

TABLA V
PORCENTAJE DE VARIACIÓN DE PILAS DE LADRILLO ARTESANAL RESPECTO A LAS PILAS PATRÓN

Tipo de curado	Ladrillo artesanal del Centro Poblado "El Cerrillo" kg/cm²	% Variación
Sin Curado (saturado)*	23.68	0%
Sika® Antisol® S	26.96	12.18%
Inmersas en agua	36.46	35.06%
Rociadas con agua 1 vez al día	27.03	12.41%
Rociadas con agua 3 veces al día	28.43	16.73%

Nota: * En la construcción de las pilas sin curado, los ladrillos fueron saturados mediante regado por 20 minutos antes de ser asentados. Ref. [1].

En la tabla V, se observa que, a diferencia del ladrillo industrial, las pilas elaboradas con ladrillo artesanal presentaron incrementos significativos en la resistencia a la compresión. Este efecto fue particularmente notable en las muestras curadas por inmersión en agua, las cuales registraron un aumento del 35.06 %.

Este comportamiento se explica por la elevada porosidad y absorción del ladrillo artesanal, que favorecen la retención de humedad y una hidratación más eficiente del mortero; el curado con Sika® Antisol® S también fue beneficioso, aunque en menor proporción.

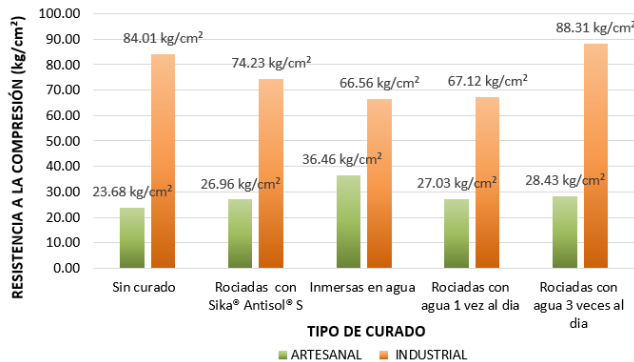


Fig. 4. Comparación de la resistencia a la compresión de pilas de ladrillo fabricadas con ladrillo artesanal e industrial de arcilla [1].

En la Fig. 4, se observa que, la resistencia a compresión de las pilas de albañilería fabricadas con ladrillo industrial es mayor en todos los casos de curado en comparación a las pilas fabricadas con ladrillos artesanales. Además, se aprecia que en las pilas fabricadas con ladrillo industrial el tipo de curado más efectivo es el rociado con agua 3 veces al día; en cambio el curado más efectivo para las pilas fabricadas con ladrillo artesanal es el sumergido en agua. Esto se debe principalmente a la succión del ladrillo, y debido a que los ladrillos antes de ser asentados fueron regados por 20 minutos en todos los casos.

V. CONCLUSIONES

Los resultados analizados evidencian que el método de curado influye de manera significativa en la resistencia a la compresión de las pilas de ladrillo de arcilla en la ciudad de Cajamarca. Las pilas de ladrillo artesanal mostraron incrementos superiores al 10%, mientras que las de ladrillo industrial experimentaron disminuciones mayores al 10%, excepto en el caso del curado con agua tres veces al día, que presentó un incremento de 4,87%. Estos hallazgos resaltan la importancia de seleccionar métodos de curado adecuados según el tipo de ladrillo, proporcionando criterios prácticos para mejorar la calidad estructural en las construcciones locales.

El análisis comparativo de la resistencia a la compresión (f'_{b}) mostró que el ladrillo industrial King Kong 18H SIPÁN presentó un valor promedio de 82.95 kg/cm², superior al ladrillo artesanal del Centro Poblado "El Cerrillo", que registró 73.96 kg/cm². Esta diferencia, de aproximadamente 12.10 %, evidencia que el ladrillo industrial posee una mayor capacidad estructural para soportar cargas de compresión, lo

que lo hace más adecuado para aplicaciones constructivas que requieren resistencia y durabilidad.

Los resultados muestran que las pilas construidas con ladrillo industrial presentan variaciones en la resistencia a la compresión según el tipo de curado aplicado. Los métodos de rociado con Sika® Antisol®S, inmersión en agua y rociado diario una vez al día provocaron disminuciones en la resistencia del 13.17%, 26.21% y 25.16%, respectivamente. En contraste, el rociado tres veces al día produjo un ligero incremento del 4.85%. Estos hallazgos indican que un curado hídrico frecuente y controlado es determinante para optimizar la resistencia a la compresión del ladrillo industrial de arcilla.

Así mismo, se evidencia que las pilas construidas con ladrillo artesanal presentan incrementos significativos en su resistencia a la compresión al aplicar distintos métodos de curado. En particular, se observaron mejoras del 12,41 % con Sika® Antisol®S, del 35,06 % mediante inmersión en agua, del 12,41 % con rociado de agua una vez al día y del 16,73 % con rociado tres veces al día. Evidenciando el curado por inmersión en agua es el método más eficaz para mejorar la resistencia a la compresión del ladrillo artesanal de arcilla, probablemente debido a su mayor porosidad y a la necesidad de una hidratación continua para el adecuado desarrollo de su microestructura.

REFERENCIAS

- [1] R. M. Malaver Aguilar, "Comparación de la resistencia a la compresión de las pilas fabricadas con ladrillo industrial y artesanal de arcilla en la ciudad de Cajamarca, curado con agua y otros tipos de curado", Tesis de maestría, Universidad Nacional de Cajamarca, 2025. [Online]. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/9091>
- [2] P. Stepień, E. Spychal, y K. Skowera, "A comparative study on hygric properties and compressive strength of ceramic bricks," *Materials*, vol. 15, art. 2178, 2022. Doi: <https://doi.org/10.3390/ma15217820>
- [3] J. A. Oke y H. Abuel-Naga, "Compressive strength properties of green bricks cured with hydration and accelerated carbonation curing," *Emergent Materials*, 2025. Doi: <https://doi.org/10.1007/s42247-025-01220-7>
- [4] J. Y. Luna Tejada, "Influencia de los tipos de curadores en concretos con plastificante, retardante y acelerante; sobre la compresión y soportividad," Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte, 2020. [Online]. Doi: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/24548>
- [5] Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2017). Material predominante en las paredes a nivel local. En Encuesta Nacional de Hogares: Vivienda, Hogares y Condiciones de Vida (Cap. 4). https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib0838/Libro19/cap04.pdf?utm_source=chatgpt.com
- [6] A. Dalalbashi, G. Bahman y D. Oliveira, "Effect of early curing and substrate preparation conditions on the physical and mechanical properties of TRM-masonry composites", *Materials*, Art. 128733, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128733>
- [7] Fernandes, J., Sombra, T., Guilherme, H., & Correa, M. (2022). Effects of post-fire curing on the residual mechanical behavior of cement-lime masonry mortars. *Construction and Building Materials*, 330, 127613. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126613>
- [8] M. I. Ramírez Huamán, "Influencia del tiempo de exposición al agua en la resistencia a la compresión (f'_{m}) de prismas de albañilería fabricados con ladrillos artesanales e industriales de arcilla en la ciudad de

- Arequipa”, Tesis de pregrado, Universidad Católica de Santa María, 2018. p. 135. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/8381>
- [9] S. Gutiérrez, “Influencia de las técnicas de curado y tipos de bloque no portante sobre la resistencia a la compresión, absorción y densidad de unidades de albañilería”, Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Trujillo, 2019, 202 p. <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/12028>
- [10] J. E. Rimarachin Mori, 2022). Variación de la resistencia a la compresión de prismas de albañilería con ladrillo de arcilla industrial con mortero 1:4, utilizando un curado convencional y curadores químicos: Chema Membranil y Sikacem Curador” Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte, 2022. [Online]. <https://hdl.handle.net/11537/35716>
- [11] Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción – SENCICO. (2019). *Norma Técnica E.070 – Albañilería* (Reglamento Nacional de Edificaciones). Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- [12] Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales no Arancelarias - INDECOPI, "Norma Técnica Peruana NTP 399.613: Agregados. Especificaciones normalizadas para agregados en concreto," 1ª ed., Lima, Perú, 2005.