

# Evaluation of Physical – Mechanical Properties: Lego Brick subjected to firing in a Concave Kiln in the city of Cajamarca

Angie Elizabeth Moreno Silva, Ing.<sup>1</sup>, Saira Daysi Salazar Luna, Ing.<sup>2</sup>, and Lizbeth Milagros Merma Gallardo, Mg.<sup>3</sup> <sup>1,3</sup>Universidad Privada del Norte (UPN), Perú, N00028770@upn.pe, lizbeth.merma@upn.pe  
<sup>2</sup>Universidad Privada del Norte (UPN), Perú, N00033334@upn.pe

*Abstract– The objective of this research was to determine the physical-mechanical properties of Lego bricks and compare them with the physical-mechanical properties of conventional bricks, by making 250 Lego bricks measuring 23.30 cm x 12.70 cm x 8 cm. This research has a quantitative experimental approach.*

*This research applied the regulations stipulated in Standard E.070 Masonry of 2006, carrying out tests of dimensional variation, warping, absorption, suction and compression resistance (masonry unit and piles). The results obtained in the tests were the following: in terms of dimensional variation, the clay bricks showed an increase in Length = +10.14%, Height = +10.80% and Width = +4.43%, while the Lego bricks presented a increase in Length = +5.44%, Height = +11.25% and Width = +4.83%. Regarding warping, in both cases a concavity and convexity  $\geq 1.1$  mm was obtained. The absorption was 19.12% for clay bricks and 18.74% for Lego bricks. Regarding suction, the clay bricks registered 79.46 gr/200cm<sup>2</sup>/min, while the Lego bricks obtained 51.56 gr/200cm<sup>2</sup>/min. Regarding the compressive strength of the masonry units, the clay bricks reached 49.31 kg/cm<sup>2</sup>, while the Lego bricks reached 100.93 kg/cm<sup>2</sup>. On the other hand, the compressive strength of the piles, the clay bricks reached 51.92 kg/cm<sup>2</sup>, while the Lego bricks reached 32.92 kg/cm<sup>2</sup>. In conclusion, it was observed that the Lego bricks showed improvements in all the physical and mechanical properties evaluated, except for the compressive strength of piles.*

*Key word: Lego brick, attachable, self-adjusting, ecological and economical.*

# Evaluación de las Propiedades Físico – Mecánicas: Ladrillo Lego sometido a la cocción en un Horno Cóncono en la ciudad de Cajamarca

Angie Elizabeth Moreno Silva, Ing.<sup>1</sup>, Saira Daysi Salazar Luna, Ing.<sup>2</sup>, and Lizbeth Milagros Merma Gallardo, Mg.<sup>3</sup> <sup>1,3</sup>Universidad Privada del Norte (UPN), Perú, N00028770@upn.pe, lizbeth.merma@upn.pe  
<sup>2</sup>Universidad Privada del Norte (UPN), Perú, N00033334@upn.pe

**Resumen**– La presente investigación tuvo como objetivo determinar las propiedades físico-mecánicas de los ladrillos tipo lego y compararlas con las propiedades físico-mecánicas de los ladrillos convencionales, mediante la elaboración de 250 ladrillos tipo lego de dimensiones 23.30 cm x 12.70 cm x 8 cm. Esta investigación tiene un enfoque cuantitativo de tipo experimental.

Esta investigación aplicó las regulaciones estipuladas en la Norma E.070 Albañilería del 2006, llevándose a cabo pruebas de variación dimensional, alabeo, absorción, succión y resistencia a la compresión (unidad de albañilería y pilas). Los resultados obtenidos en las pruebas fueron los siguientes: en términos de variación dimensional, los ladrillos de arcilla mostraron un aumento de Largo= +10.14%, Alto = +10.80% y Ancho = +4.43%, mientras que los ladrillos tipo lego presentaron un aumento de Largo = +5.44%, Alto = +11.25% y Ancho = +4.83%. En cuanto al alabeo, en ambos casos se obtuvo una concavidad y convexidad  $\geq 1.1$  mm. La absorción fue del 19.12% para los ladrillos de arcilla y del 18.74% para los ladrillos tipo lego. En cuanto a la succión, los ladrillos de arcilla registraron 79.46 gr/200cm<sup>2</sup>/min, mientras que los ladrillos tipo lego obtuvieron 51.56 gr/200cm<sup>2</sup>/min. En cuanto a la resistencia a la compresión de las unidades de albañilería, los ladrillos de arcilla alcanzaron 49.31 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que los ladrillos tipo lego llegaron a 100.93 kg/cm<sup>2</sup>. Por otro lado, la resistencia a la compresión de las pilas, los ladrillos de arcilla alcanzaron 51.92 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que los ladrillos tipo lego llegaron a 32.92 kg/cm<sup>2</sup>. Como conclusión, se observó que los ladrillos tipo lego mostraron mejoras en todas las propiedades físicas y mecánicas evaluadas, excepto en la resistencia a la compresión de pilas.

**Palabras clave**– Ladrillo lego, acoplables, auto ajustables, ecológico y económico.

## I. INTRODUCCIÓN

Este artículo deriva de la tesis “Evaluación de las propiedades físico - mecánicas del ladrillo tipo lego en la ciudad de Cajamarca, 2023...” [1], con la finalidad de presentar una alternativa de solución a la problemática de la región Cajamarca generada por el impacto negativo con respecto al medio ambiente a causa de las ladrilleras informales en el Perú y pueden presentar problemas estructurales por su baja resistencia, además los fabricantes de los ladrillos artesanales desconocen las propiedades físico-mecánicas [2].

La construcción, un sector crucial en la economía global según la REDEM (Red de Estudios de la Economía Mundial), está actualmente enfocándose en la sostenibilidad. Para lograr edificaciones sostenibles, el primer aspecto a considerar son los materiales utilizados. Los ladrillos cerámicos son uno de

los materiales más empleados a nivel mundial debido a sus excelentes propiedades mecánicas y estéticas. Sin embargo, su proceso de producción consume grandes cantidades de arcilla, lo que tiene un impacto negativo en el medio ambiente, manifestándose en un aumento de la contaminación ambiental y emisiones de CO<sub>2</sub> relacionadas con la cocción de estos ladrillos [3].

La escasez de materiales de construcción de alta calidad es un desafío actual. Entre ellos, el ladrillo de arcilla, común en las unidades de albañilería, es ampliamente utilizado. Tanto los ladrillos industriales como los artesanales tienen un impacto negativo en el medio ambiente debido a la emisión de gases y contaminación, y a menudo no se gestionan adecuadamente las áreas explotadas [4].

En Perú, en las últimas tres décadas, los ladrillos artesanales han sido el material principal utilizado en la construcción de muros exteriores en áreas urbanas. Es importante destacar que los muros de albañilería, además de las columnas y vigas, cumplen funciones fundamentales, ya que pueden servir como elementos estructurales, muros decorativos tanto en fachadas como en interiores, y también como tabiquería no portante [5].

Las ladrilleras informales en el Perú ocasionan contaminación en el medio ambiente al utilizar combustibles altamente contaminantes al extraer la arcilla degradando los terrenos de cultivo sin contar con planes de cierre y de reparación de sus efectos negativos. Igualmente, una repercusión de ello son las enfermedades bronco-respiratorias, enfermedades estomacales y visuales causadas a la población por la actividad de la elaboración de los ladrillos en los hornos [6].

De acuerdo con ALACEP, solo el 35% de los ladrillos provienen de empresas formales certificadas, mientras que el 65% proviene de empresas informales que carecen de registro RUC, sistemas de control ambiental, certificaciones y no emiten facturas completas. Además, es relevante mencionar que los fabricantes de ladrillos artesanales suelen desconocer las propiedades físico-mecánicas requeridas por la norma E.070 para unidades de albañilería [7].

En la Región de Cajamarca, a pesar de un crecimiento demográfico negativo entre 2007 y 2017, la construcción de viviendas con material noble, como el ladrillo, mostró un crecimiento moderado. Se observa que el ladrillo artesanal es ampliamente utilizado en las edificaciones cajamarquinas debido a su bajo costo, representando el 7.7% de las

construcciones en ese período. Según el INEI en 2018, más del 55% de las viviendas a nivel nacional están construidas principalmente con ladrillo, lo que ha llevado a un aumento en la fabricación de unidades de albañilería [8].

En Cajamarca, según el Programa de prevención y medidas de mitigación ante desastres la mayoría de las construcciones son de al menos dos pisos y están hechas de ladrillos artesanales. Esta zona es sísmicamente vulnerable debido a su ubicación en una región de alta actividad sísmica (zona 3). Por lo tanto, a lo largo de la vida útil de estas edificaciones informales, podrían surgir problemas estructurales, especialmente en tabiquerías, debido a los posibles movimientos sísmicos. La calidad de las unidades de albañilería se evalúa mediante ensayos de laboratorio establecidos en el Reglamento Nacional de Edificaciones E.070, aunque las ladrilleras informales a menudo no garantizan la calidad del producto, es importante destacar que los ladrillos presentan baja resistencia a la tracción y rigidez [9].

El ladrillo tipo lego se utiliza en muros de tabiquería, que son estructuras no portantes utilizadas para dividir espacios o como cerramientos perimetrales. Estos ladrillos tienen un sistema de macho y hembra que permite unir las piezas de manera rígida y resistente, con un consumo de agua un 90% menor en comparación con los ladrillos artesanales convencionales. Mientras que los ladrillos tradicionales requieren 1500 litros de agua por cada 1000 ladrillos debido al mortero de unión, el ladrillo tipo lego se destaca por su peso ligero, lo que ahorra un 70% en cimentación y lo convierte en una construcción sólida y monolítica, adecuada para resistir movimientos sísmicos. Además, la mano de obra y el tiempo de construcción son menores, y no genera escombros durante la construcción. Esto lo convierte en una solución sostenible y ecológica [10].

En Cajamarca, las ladrilleras utilizan hornos con capacidad para 4 a 5 millares, con temperaturas de aproximadamente 700 a 800°C, lo cual no es óptimo. Los ladrillos industriales requieren una temperatura de cocción de al menos 1000°C para alcanzar su máxima resistencia. Por lo tanto, se sugiere la implementación de hornos cónicos o colmena que superen los mil grados centígrados, basándose en la tesis del Ing. Adrián Quispe, quien aboga por estos hornos para la fabricación de ladrillos tipo Lego. Los ladrillos artesanales de arcilla comúnmente son quemados en hornos abiertos, lo que resulta en ladrillos crudos en la parte superior y vitrificados en la parte inferior del horno [11].

Conscientes de los efectos negativos de la producción de ladrillos artesanales, como la informalidad y la falta de conocimiento de las propiedades físico-mecánicas requeridas por la norma E.070, se busca obtener ladrillos con resistencia dentro de los parámetros de esta norma. El objetivo es lograr al menos un ladrillo Tipo I, ya que, según los antecedentes revisados, los ladrillos artesanales no cumplen con los estándares para ser considerados unidades de albañilería aceptables. Para abordar esta investigación, se ha optado por

un enfoque cuantitativo y un diseño experimental con el fin de validar las hipótesis y objetivos establecidos. La motivación y la necesidad de llevar a cabo esta investigación surgen a raíz de las consideraciones mencionadas anteriormente.

La presente investigación trata de determinar las propiedades físico-mecánicas de los ladrillos tipo lego y compararlas con las propiedades físico-mecánicas de los ladrillos artesanales con la finalidad de presentar una alternativa de solución a la problemática de nuestra región Cajamarca.

Ante la problemática expuesta y con la finalidad de contar con un ladrillo tipo lego que este bajo los parámetros de la norma E.070, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Qué diferencia existe con respecto a las propiedades físico - mecánicas entre los ladrillos tipo lego y ladrillo artesanal en la ciudad de Cajamarca - Cerrillo?

El objetivo general de la investigación fue: Determinar las propiedades físico-mecánicas de los ladrillos tipo lego y compararlas con las propiedades de los ladrillos artesanales.

En concordancia con el planteamiento del problema y el objetivo de la investigación se tiene como hipótesis general la siguiente: El ladrillo tipo lego es 12 % más resistente que los ladrillos artesanales elaborados en la ciudad de Cajamarca según sus propiedades físico-mecánicas, por ende, clasificará como una unidad de albañilería según los parámetros de la normativa E 070.

## II. METODOLOGÍA

En la presente investigación el tipo que se ha considerado es la aplicada [12]. La investigación aplicada se refiere a la “investigación práctica o empírica”. Será elaborada bajo el planteamiento metodológico del enfoque cuantitativo con un diseño de trabajo experimental. Dicha investigación corresponde al estudio transversal o transeccional que está dentro del diseño experimental.

La muestra que conforma la siguiente investigación son 70 unidades de ladrillos artesanales y 120 unidades de ladrillos tipo lego, que fueron obtenidos de la ladrillera y cantera ubicada en el mismo Cerrillo del Sr. William Rojas. De estos ladrillos tuvimos el criterio de seleccionar al azar muestras representativas para cada ensayo y el mínimo de ladrillos requeridos que están justificados en la E.070 en las pruebas de muestreo, además se consideró el margen de error por cualquier inconveniente con el laboratorio, por eso solo se ensayaron 120 unidades de albañilería y así cumplimos las cantidades mínimas requeridas para realizar los ensayos, dadas por la NTP 399.604.

Los materiales, procedimientos y métodos de cada ensayo que se realizó en el laboratorio de suelos y concreto que se rige bajo las normas que se mencionan:

- Análisis granulométrico por lavado: se realizan en un laboratorio autorizado y cumpliendo la normativa ASTM D6913.

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LACCEI).  
**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LACCEI).  
**DO NOT REMOVE**

- Límites de Atterberg: los ensayos de Límite líquido y plástico nos regimos bajo las normas de NTP 3339130, MTC E111 y ASTM D4318.

- Contenido de humedad: se harán de acuerdo con lo indicado en las Normas MTC E 108, ASTM D2216 y NTP 339.127.

- Mortero: la compresión de morteros de cemento hidráulico se hará de acuerdo con lo indicado en las Normas NTP 334.051, MTC E609 y ASTM C109.

- Alabeo: está indicado en la Norma NTP 399.613.

- Succión: se harán de acuerdo con lo indicado en las Normas NTP 331.017 y 399.613.

- Absorción: está indicado en las Normas NTP 399.613 y 399.604.

- Variabilidad Dimensional: está indicado en las Normas NTP 399.613 y 399.604.

- Resistencia a la compresión: está indicado en las Normas NTP 399.613 y 399.604.

El procedimiento y elaboración del molde para realizar los ladrillos tipo lego, se fabricó de madera caoba. Las medidas son como se indica en la figura 01.

- El molde y la tapa del ladrillo tipo lego se ha forrado de material de pizarra y en los orificios y cilindros se ha colocado masilla para que el barro se pueda desmoldar fácilmente.

- Se ha coloca los apoyos de acero, que se emplean como guías en las esquinas del molde para el proceso del moldeo.

- Para poder realizar el ensayo de resistencia a la compresión de los ladrillos Tipo lego necesitamos varios modelos de moldes para la tapa, la base y el centro, optamos solo por modificar y ayudarnos con los cilindros de Tecnopor de medida 6 cm de diámetro y 3 cm de radio.

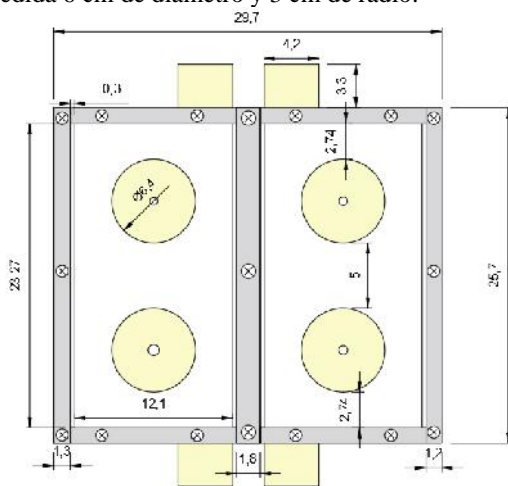


Fig. 1 Medidas del molde.

Nota. Los cilindros tienen una altura de 3.1 cm y la altura del molde 8.4 cm.

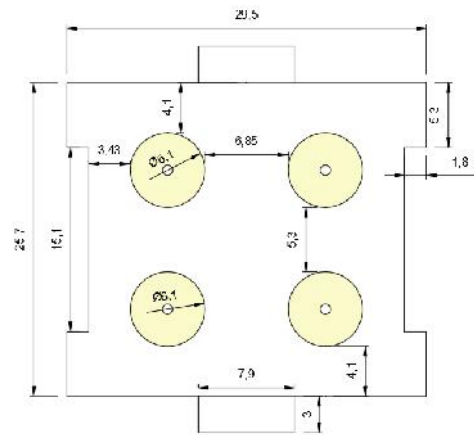


Fig. 2 Medidas de la tapa del molde.

Nota. Los cilindros de la tapa del molde tienen una altura de 3.1 cm.

Para la elaboración del horno donde se quemarán los ladrillos tipo lego, se optó por realizar un horno cóncavo que es una tesis realizada por el Ing. Adrián Quispe, quien asegura que este tipo de hornos sobrepasan los mil grados. El procedimiento se dará a conocer:

- Extracción y preparación del material de la cantera para la realizarán las juntas para el horno cóncavo.

- Preparación del área de terreno y trazo de 1.20 metros de diámetro para el horno y colocamos tres filas de ladrillos industriales, cada una de dos pisos.

- Colocamos el ladrillo para horno (especial sin cocer) alrededor del trazo del círculo.

- Se colocarán 9 filas de dicho ladrillo, pero echado con una junta de 2 cm aproximadamente tomando en cuenta que debemos colocar una base no fija en los orificios que se deja para que se pueda ingresar la leña.

- Colocamos 2 filas más, pero esta vez el ladrillo ira de costado como se muestra en la imagen, tenemos en cuenta que debe haber una abertura para poder ingresar y colocar los ladrillos a quemar, recordando que se tapara cuando esté lleno. Y finalmente colocamos 2 filas más de ladrillo, pero echados y terminamos de realizar el horno cóncavo.

- Colocamos los ladrillos tipo lego secos y cada capa del cubrimos con carbón de piedra, para luego proceder a tapar con ladrillo quemado y barro.

- Vale recalcar que tapamos la abertura que se dejó a un inicio en la elaboración del horno y también la parte superior del horno con desperdicios de ladrillos, sellamos con barro los orificios pequeños para que no salga la calda.

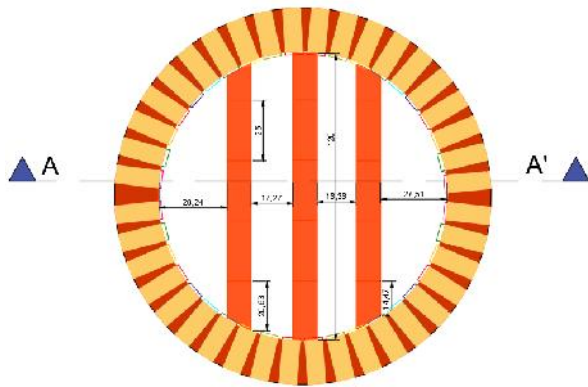


Fig. 3 Plano en planta de horno cóncavo.

Nota. Diseño de la distribución de medidas del horno cóncavo (en planta)

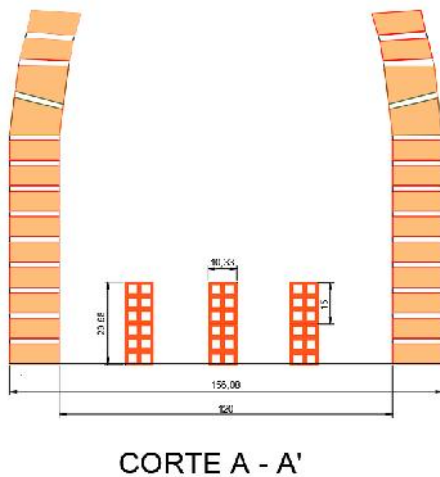


Fig. 4 Corte A - A'.

Nota. Diseño de la distribución de medidas del horno cóncavo (vista del corte A - A')

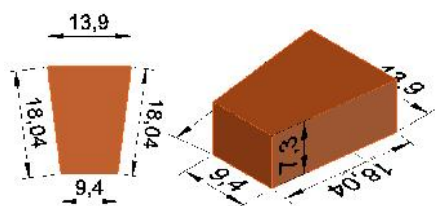


Fig. 5 Ladrillo que se usa para realizar el horno cóncavo.

Nota. Medidas de ladrillo especial para horno cóncavo

En esta investigación se usaron los protocolos como técnicas de recolección de datos, estos nos brindan la Universidad Privada del Norte, así mismo se muestra un diagrama de flujo (Anexo 1) para entender como llegamos armar esta investigación.

Para la realización del análisis respectivo de los datos obtenidos en el laboratorio, nos ayudaremos de gráficos y

tablas que están establecidos en la Norma Técnica Peruana y analizar si estos cumplen con los estándares de la normativa

Los aspectos éticos con respecto a la presente investigación incluyen artículos de revistas indexadas y tesis como antecedentes en relación con ladrillos tipo lego que no requieren mortero para su unión, siendo estas correctamente citadas según el formato APA (7° edición), del mismo modo, a través del portal de la universidad logramos acceder a sitios web para lograr complementar nuestra indagación con fuentes confiables.

### III. RESULTADOS

Realizamos los ensayos de suelos, para poder determinar mediante la clasificación de SUCS Y ASHTO una dosificación para la realización de la mezcla adecuada para le ladrillo tipo lego.

#### A. Análisis Granulométrico

Se muestra los porcentajes que pasan por las mallas N° 4, N° 10, N° 40 y N° 200, según los distintos tipos de suelos ensayados, estos porcentajes son necesarios para la posterior clasificación de suelos de cada material, además se puede observar que tienen una relación proporcional entre sí.

TABLA I  
RESUMEN DE LOS ENSAYOS DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MEDIANTE TAMIZADO POR LAVADO

Código de muestra	Muestra	Porcentaje que pasa			
		N° 4	N° 10	N° 40	N° 200
M-01	Gra. por lavado de la arcilla	99.68%	97.95%	85.38%	64.08%
M-02	Gra. por lavado de la arena	99.99%	96.57%	57.08%	32.36%
M-03	Gra. por lavado de la mezcla 60-40	99.82%	98.12%	83.86%	44.72%
M-04	Gra. por lavado de la mezcla 80-20	99.97%	98.63%	84.01%	58.06%

Nota. Se toman solo los datos de las mallas especificadas en la tabla, porque son valores que se utilizan para la clasificación de suelo de las diferentes muestras.

#### B. Curvas granulométricas

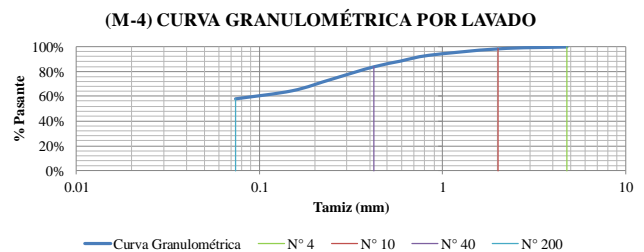


Fig. 6 Curva granulométrica mediante tamizado por lavado de la muestra con un porcentaje de 80-20.

Nota. Esta curva semilogarítmica de la granulometría por lavado es elegida por su buena distribución entre sus partículas.



### C. Límites de Atterberg

Los límites de atterberg se muestran en la Tabla 2, estos muestran relación proporcional con el análisis granulométrico, donde la muestra 2 no contempla los límites de atterberg por ser una arena limosa y no presentar plasticidad (NP), en las figuras 32 al 34 se aprecia la determinación del límite líquido donde todas las muestras están dentro de los 15 a 35 golpes (Copa de Casagrande), según lo estipulado en el ASTM D 4318.

TABLA II  
RESUMEN DE LOS ENSAYOS DE LÍMITES DE ATTERBERG.

Límites e índice	Muestra		
	M-01 Granulometría lavado arcilla	M-03 Granulometría lavado 80-20	M-04 Granulometría lavado 60-40
Límite líquido	33.30	31.42	37.95
Límite plástico	19.25	21.49	19.53
Índice de plasticidad	14.05	9.93	18.42

Nota. El ensayo de límite plástico y líquido e índice de plasticidad de la muestra de la arena (M2) no se encuentra en el cuadro de resumen, esto debido a que no es un suelo plástico.

### D. Límite líquido

(M-4) DETERMINACIÓN LÍMITE LÍQUIDO

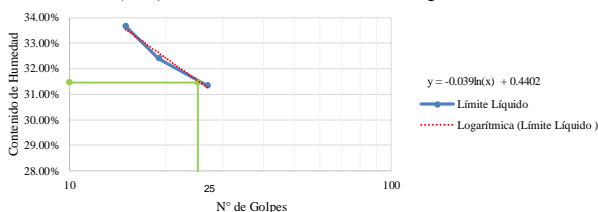


Fig. 7 Líquido de la muestra con un porcentaje de 80-20.

Nota. Este gráfico de limite liquido es elegida por su conveniente consistencia de la mezcla.

### E. Clasificación de suelos

Para la clasificación de suelos de las muestras ensayadas a partir las dos tablas antes presentadas podemos definir que la M-01 según la clasificación por A.A.S.H.T.O viene a ser un suelo arcilloso y según SUCS es un suelo arcilloso inorgánico de baja o media plasticidad, para la M-02 según A.A.S.H.T.O viene a ser un material arena limosa y según SUCS es una arena arcillosa, sabiendo qué tipo de suelos tenemos, procedimos a mezclarlo en distintos porcentajes una muestra de 60% - 40% y otra muestra de 80% - 20%, donde la primera muestra según A.A.S.H.T.O viene a ser un suelo arcilloso y según SUCS es una arena arcillosa, por otro lado la segunda muestra según A.A.S.H.T.O viene a ser un suelo limoso y según SUCS es una arcilla inorgánica de baja o media plasticidad.

TABLA III  
CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN A.A.S.H.T.O.

Clasificación	Muestra			
	M-01 Granulometría por lavado de arcilla	M-02 Granulometría lavado de la arena	M-03 Granulometría lavado 40	M-04 Granulometría lavado 20

Índice de Grupo	8	3	5	5
Tipo de suelo	Material limo arcilloso	Material granular	Material limo arcilloso	Material limo arcilloso
Clasificación de suelo	A - 6	A - 2 - 6	A - 6	A - 4
Tipo de material	Suelo arcilloso	Gravas, arenas limosas y arcillosas	Suelo arcilloso	Suelo limoso
Terreno de fundación	Regular a Malo	Regular	Regular a Malo	Regular a Malo

TABLA IV  
CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN SUCS

Clasificación	Muestra			
	M-01 Granulometría por lavado de arcilla	M-02 Granulometría lavado de la arena	M-03 Granulometría lavado 40	M-04 Granulometría lavado 80-20
Tipo de suelo según su granulometría	Suelo fino (baja plasticidad)	Suelo grueso (arena)	Suelo grueso (arena)	Suelo fino (baja plasticidad)
Tipo de simbología	Simbología normal	Simbología normal	Simbología normal	Simbología normal
Tipo de suelo	CL, ML, OL	SM, SC	SM, SC	CL, ML, OL
Suelo	CL	SC	SC	CL
Características de suelo	Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.	Arenas arcillosas, mezcla de arena y arcilla.	Arenas arcillosas, mezcla de arena y arcilla.	Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.

### F. Contenido de humedad

Después de haber elegido nuestra dosificación de 80% - 20% procedemos a realizar el ensayo de contenido de humedad natural de dicha muestra.

TABLA V  
CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA CON UN PORCENTAJE DE 80-20

CONTENIDO DE HUMEDAD					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
W%	Porcentaje de humedad	%	6.44	9.95	8.58
G	Promedio Porcentaje Humedad	%	8.32		

### G. Morteros

Se prepararon 12 muestras de mortero cemento, arena y agua, según la norma ASTM C 1329, con una dosificación estándar. Se utilizó cemento Tipo 1 Portland de Pacasmayo y arena estándar y graduada. Las muestras fueron evaluadas para su resistencia a la compresión a diferentes intervalos de tiempo (24 horas, 3 días, 7 días y 28 días) según especificaciones de la metodología.

TABLA VI  
DESVIACIÓN ESTÁNDAR Y COEFICIENTE DE VARIACIÓN DEL ENSAYO DE MORTEROS

Muestras de Morteros	M-01	M-02	M-03	Promedio	Coef. De variación
1 día	89.71	85.19	97.74	90.880	6.99%
3 días	140.27	138.51	149.55	142.777	4.15%
7 días	171.55	190.45	186.63	182.877	5.46%
28 días	211.41	178.98	204.00	198.130	8.58%

H. Resultados de la comparación del ladrillo artesanal con los ladrillos tipo lego.

#### 1) Alabeo:

El efecto corresponde a un cambio de tamaño. Para determinar la deformación de elementos de mampostería.

TABLA VII  
COMPARACIÓN DEL ENSAYO DE ALABEO DEL LADRILLO TIPO LEGO Y CONVENCIONAL.

Muestra	Alabeo de la Unidad		Clasificación por norma
Ladrillos	Concavidad (mm)	Convexidad (mm)	
Ladrillo Lego	1.1	1.1	Tipo III
Ladrillo Convencional	1	1.1	Sin clasificación

#### 2) Succión:

Es una de las propiedades básicas que determinan la relación entre el mortero y la unidad en la superficie de contacto para succiones superiores a 40 gramos por minuto sobre un área de 200 cm<sup>2</sup>, se considera como requisitos básicos del proceso de aplicación la humectación del ladrillo.

TABLA XIII  
COMPARACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN DEL ENSAYO DE SUCCIÓN SEGÚN NORMA ITINTEC 331.017 DEL LADRILLO TIPO LEGO Y CONVENCIONAL

Muestra	Succión	Clasificación por norma
Ladrillos	Succión (g/min/200 cm <sup>2</sup> )	
Ladrillo Lego	51.56	Tipo III
Ladrillo Convencional	79.456	Tipo II

#### 3) Absorción:

Es referente a la capacidad de retención de un líquido en las unidades de albañilería.

TABLA IX  
COMPARACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN DEL ENSAYO DE ABSORCIÓN SEGÚN NORMA ITINTEC 331.017 DEL LADRILLO TIPO LEGO Y CONVENCIONAL

Muestra	Absorción	Clasificación por norma
Ladrillos	Absorción promedio (%)	
Ladrillo Lego	18.74	TIPO IV Ó V
Ladrillo Convencional	19.12	TIPO IV Ó V

#### 4) Variación dimensional:

Determinan la altura de las hiladas de un muro, ya que se manifiesta en mayores variaciones en la necesidad de incrementar el espesor de las juntas de mortero.

TABLA X

COMPARACIÓN DEL ENSAYO DE VARIACIÓN DIMENSIONAL Y SU CLASIFICACIÓN POR NORMA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SEGÚN EL RNE E.070 DEL LADRILLO TIPO LEGO Y CONVENCIONAL

Muestra	Variación dimensional			Clasificación por norma de la resistencia a la compresión
Ladrillos	Largo (mm)	Ancho(mm)	Alto (mm)	
Ladrillo Lego	5.444	4.289	11.249	Tipo III
Ladrillo Convencional	10.136	4.431	10.800	Sin clasificación

#### 5) Resistencia a la compresión:

Los valores altos de resistencia a la compresión indican buena calidad para todos los fines de construcción y exhibición. Vale recalcar que la resistencia varía de acuerdo al tipo de unidad de albañilería según su clasificación.

##### a. Unidad de albañilería:

TABLA XI  
COMPARACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SEGÚN NORMA REN E.070 DEL LADRILLO TIPO LEGO Y CONVENCIONAL.

Muestra	Resistencia a la compresión promedio		Clasificación por norma
Ladrillo Convencional	Kg/cm <sup>2</sup>	Mpa	
Ladrillo Lego	100.93	9.90	Tipo III
Ladrillo Convencional	49.312	4.84	Sin clasificación

##### b. Pilas

TABLA XII  
COMPARACIÓN DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PILAS DEL LADRILLO TIPO LEGO Y CONVENCIONAL.

Muestra	Resistencia a la compresión promedio de pilas	
Pilas de ladrillos	Kg/cm <sup>2</sup>	Mpa
Ladrillo Lego	32.92	3.23
Ladrillo Convencional	51.72	5.07

## IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### A. Discusión

Tuvimos como primera limitación mejorar la resistencia a compresión de los ladrillos tipo lego en base a investigaciones previas sobre ladrillos convencionales en la zona de Cerrillo (Cajamarca-Otuzco) que no cumplían con los estándares. Las opciones eran mejorar la dosificación del material o la cocción. Se construyó un horno cóncavo para elevar la temperatura para el proceso de cocción.

Se enfrentaron desafíos al desmoldar los ladrillos debido a que la mezcla se pegaba al molde, lo que se resolvió forrando el molde con fornicia y usando Tecnopor para mantener la forma de los cilindros inferiores. Se realizaron pruebas para ajustar las dimensiones del molde y el Tecnopor.

El secado de los ladrillos llevó 21 días debido a condiciones climáticas. Se realizaron ensayos de alabeo y resistencia a la compresión, pero se tuvo que cortar los cilindros superiores para los ensayos debido a problemas. No

se realizaron ensayos de muretes o tripletes debido a la falta de implementación del laboratorio con los equipos requeridos.

Entre los estudios similares se vio que no presentaban mínimos requeridos por la Norma E.070. del 2006 para su respectiva interpretación comparativa con nuestros resultados. Se limitó el uso de los ladrillos tipo lego a muros no portantes, ya que no se realizaron ensayos de muretes, tripletes, para ver el comportamiento estructural. La resistencia a la compresión individual fue de 100.93 kg/cm<sup>2</sup> (Tipo III), pero la resistencia a la compresión de pilas fue de solo 32.92 kg/cm<sup>2</sup>, esto da cavidad a que se pueda realizar mejoras en la investigación, así mismo todos los resultados presentados pueden servir de referencia y de base para futuras investigaciones. Además, los ladrillos tipo lego hechos de arcilla experimentan contracción al perder humedad durante el secado.

El ladrillo lego se ensaya sin mortero debido a su sistema de interconexión macho-hembra que forma una estructura rígida y resistente. Esto contribuye a la sostenibilidad al reducir el impacto ambiental, optimizar el uso de agua y materiales, disminuir el peso de la estructura, reducir la mano de obra y brindar una construcción sólida y monolítica con excelente resistencia a sismos. La investigación es cuantitativa y experimental, incluyendo ensayos que revelan una alta resistencia a la compresión de 100.93 kg/cm<sup>2</sup>, comparable a ladrillos industriales, debido a la presencia de arcilla con alto contenido de alúmina y sílice, lo que mejora su refractariedad y resistencia estructural.

Se llevaron a cabo análisis granulométricos de cuatro tipos de muestras, incluyendo arena y arcilla individualmente, así como dos mezclas: 80% de arcilla y 20% de arena, y 60% de arcilla y 40% de arena. Estos análisis proporcionaron información sobre los porcentajes de partículas que pasaron por las mallas N° 4, N° 10, N° 40 y N° 200, para la posterior clasificación de suelos de cada material, además se puede observar que tienen una relación proporcional entre sí.

Se realizaron curvas granulométricas para cuatro muestras, con dos de ellas mostrando una buena distribución de partículas en gráficos semilogarítmicos. Los límites de Atterberg se representan en la Tabla 2, donde la muestra 2 no tiene límites de Atterberg debido a su naturaleza arenosa sin plasticidad.

Se llevó a cabo una clasificación donde se eligió una dosificación de ladrillos que consiste en un 80% de suelo arcilloso y un 20% de suelo arenoso limoso, lo que dio como resultado un suelo arcilloso inorgánico de media plasticidad, que es plástico y trabajable. El contenido de humedad natural de esta mezcla fue del 8.323%, lo que concuerda con la clasificación del suelo como limoso.

Se prepararon 12 especímenes de mortero cemento/arena/agua de acuerdo con la norma ASTM C 1329, usando una dosificación específica. Los resultados mostraron un aumento progresivo de la resistencia con el tiempo, y los datos fueron considerados aceptables debido a su bajo coeficiente de variación.

En el ensayo de alabeo y variabilidad dimensional aplicado al ladrillo convencional se basó en su resistencia a la

compresión de Tipo I supuestamente para determinar su clasificación de alabeo y variación. En el ensayo de alabeo y variabilidad, tanto el ladrillo convencional como el ladrillo lego muestran baja concavidad y convexidad, y estos resultados se encuentran dentro de los parámetros de clasificación por resistencia a la compresión y para el ensayo de variabilidad dimensional entre el ladrillo lego y el artesanal es sobresaliente el ladrillo lego tiene un menor índice de variación entre sus medidas. La variabilidad dimensional y el alabeo son parámetros importantes, ya que desviaciones en estas dimensiones pueden causar fallas de tracción por flexión en las unidades y un acoplamiento deficiente entre ellas, además de una menor resistencia en la albañilería.

Para el ensayo de succión, se aplicó la norma ITINTEC 331.017, ambos tipos de ladrillo presentaron coeficientes de variación menores al 40%, lo que hace que sus datos sean aceptables. La superioridad del ladrillo lego en comparación con el ladrillo artesanal se evidencia en la Tabla 8.

En los ensayos de absorción, tanto el ladrillo artesanal como el ladrillo lego mostraron una absorción inferior al 22%, con coeficientes de variación por debajo del 40%. Además, se observa que el ladrillo lego tiene una absorción menor que la del ladrillo artesanal, como se muestra en la figura 50.

En el análisis de la resistencia a la compresión por unidad, para el ladrillo artesanal, el promedio no llega al nivel mínimo especificado como Tipo I, en el caso del ladrillo lego, la tapa y la base alcanzan ser un Tipo III, y el centro llega a ser un Tipo II. Los valores de resistencia a la compresión fueron corregidos por la resta entre el valor promedio de la muestra y la desviación estándar. En cuanto al ensayo de resistencia a la compresión por pilas, para el ladrillo artesanal, se observa que la resistencia aumenta gradualmente a medida que pasan los días. En el caso del ladrillo lego, se trabajó con 25 ladrillos, y estos se ensayaron continuamente debido a su capacidad de encajar sin necesidad de mortero. Además, en ambas muestras se observa que las pilas presentaron la misma falla, que consiste en grietas verticales, una falla típica en este tipo de ensayos.

## B. Conclusiones

Se determinó las propiedades físico-mecánicas de los ladrillos tipo lego en comparación con los ladrillos artesanales. A partir de ello se concluyó que los ladrillos legos presentaron mejores propiedades en la mayoría de los ensayos, a excepción de resistencia a la compresión de pilas.

Se determinó la dosificación para el ladrillo lego con 80% de suelo arcilloso y 20% de arena limosa.

En los límites de Atterberg concluimos que nuestro límite líquido es 31.42% y límite plástico 21.49% teniendo como resultado un índice de plasticidad de 9.93%. La mezcla 80% y 20% es un suelo limoso (A-4) según AASHTO y una arcilla inorgánica de baja o media plasticidad según SUCS, se mejoró sus propiedades con el horno cóncavo que llega a mantener el calor de 1000°C.



El ladrillo lego presentó una concavidad y convexidad por debajo de los 6 mm, con un promedio de 1.1 mm en los dos ámbitos siendo así mejor al ladrillo artesanal.

El ladrillo tipo lego obtuvo una succión de 51.56 gr/200cm<sup>2</sup>/min, el ladrillo artesanal 79.46 gr/200cm<sup>2</sup>/min; con una variación entre ambos de 35.11% cumpliendo con lo descrito en la hipótesis.

El ladrillo tipo lego obtuvo una absorción de 18.74%, el ladrillo artesanal 19.12%; con una variación entre ambos de 1.99% cumpliendo con lo descrito en la hipótesis.

El ladrillo tipo lego presentó una menor variabilidad dimensional en el largo 5.44% y ancho 4.83% a excepción del alto con 11.25% en comparación al ladrillo artesanal largo 10.14%, ancho 4.43% y alto 10.80%, se cumple parcialmente con lo estipulado en la hipótesis.

En la propiedad mecánica el ladrillo tipo lego tuvo una resistencia a la compresión de 100.93 kg/cm<sup>2</sup>, el ladrillo artesanal de 49.31 kg/cm<sup>2</sup> una variación entre ambos de 51.14% a favor del ladrillo tipo lego, demostrando que el horno cóncavo sí llega a los 1000 °C para obtener un ladrillo en promedio Tipo III.

Las pilas del ladrillo tipo lego tuvieron una resistencia a la compresión de 32.92 kg/cm<sup>2</sup>, el ladrillo artesanal con una resistencia de 51.72 kg/cm<sup>2</sup> una variación entre ambos de 36.35% a favor del ladrillo artesanal.

El ladrillo lego es aceptado como unidad de albañilería según la E.070 del 2006 debido a que cumple con los ensayos de alabeo, absorción, variación dimensional y resistencia a la compresión de la unidad de albañilería; los únicos ensayos requeridos para la aceptación de esta.

La presente investigación experimental puede servir de base para futuras investigaciones dando a conocer tecnologías innovadoras, siendo el ladrillo lego una alternativa sostenible el cual reducirá el impacto Ambiental.

## REFERENCES

- [1] Moreno Silva, A & Salazar Luna, S (2023). EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DEL LADRILLO TIPO LEGO EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA, 2023 [Cuantitativo-experimental, Universidad Privada del Norte]. [https://comunidadupnedu-my.sharepoint.com/:w:/g/personal/n00028770\\_upn\\_pe/EXacwm3afjRDnfBB60q4P-4BM1BoPN1osUYePZmUJwV-w?rttime=nx7KSnrS20g](https://comunidadupnedu-my.sharepoint.com/:w:/g/personal/n00028770_upn_pe/EXacwm3afjRDnfBB60q4P-4BM1BoPN1osUYePZmUJwV-w?rttime=nx7KSnrS20g)
- [2] Tripathi, M., & Chauhan, V. (2021). Evaluation of waste glass powder to replace the clay in fired brick manufacturing as a construction material. *Innovative Infrastructure Solutions*, 6, 1-16. <https://doi.org/10.1007/s41062-021-00492-2>
- [3] Muñoz Velasco, P., Morales Ortíz, M. P., Mendívil Giró, M. A., & Muñoz Velasco, L. (2014). Fired clay bricks manufactured by adding wastes as sustainable construction material – A review. *Construction and Building Materials*, 63, 97-107. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.03.045>
- [4] Muñoz Pérez, S., Sánchez, J., & Peña, L. (2021). Elaboración de ladrillos ecológicos en muros no estructurales: Una revisión. *Cultura Científica y Tecnológica*, 18, 1-9. <https://doi.org/10.20983/culcyt.2021.1.3.1>
- [5] Ruiz, N., & Alberto, K. (2019). Propiedades físicas y mecánicas de ladrillos artesanales fabricados con arcilla y concreto. Universidad Privada del Norte. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/14775>
- [6] Chavez Anyosa, A. L. (2017). Análisis de las Propiedades Físico Mecánicas de Ladrillos de Arcilla Calcinada en las Principales Ladrilleras

- de la Región Arequipa y su Capacidad Máxima en una Edificación. <https://core.ac.uk/reader/198131942>
- [7] Mercado del ladrillo: «Una lucha imparables contra la informalidad» - PerúConstruye. (2019, noviembre 14). Perú Construye. <https://peruconstruye.net/2019/11/14/mercado-del-ladrillo-una-lucha-imparables-contra-la-informalidad/>
  - [8] BANCO CENTRAL DE RESERVA DEL PERÚ. (2019). Informe Económico y Social—Región Cajamarca. <https://www.bcrp.gob.pe/publicaciones2/glosario/42-transparencia/comunicaciones3/357-informe-economico-y-social-region-cajamarca.html>
  - [9] Corteze, L., Ribeiro, R., Souza, A., & Taguchi, S. (2020). ANÁLISE DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE TIJOLOS ECOLÓGICOS A PARTIR DA PROTOTIPAGEM RÁPIDA / ANALYSIS OF THE MECHANICAL RESISTANCE OF ECOLOGICAL BRICKS FROM RAPID PROTOTYPING. *Brazilian Journal of Development*, 6, 94710-94717. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n12-088>
  - [10] Newconex. (2020, abril 20). HomeCell | Newconex [Constructora]. NEWCONEX. <https://newconex.co/homecell/>
  - [11] Montenegro Ramírez, A. R. (2014). Análisis del proceso de fabricación de las empresas ladrilleras de las localidades de Santa Cruz y Santa Rosa de Chanango del distrito de Bella Vista—Jaén—Cajamarca. Universidad Nacional de Cajamarca. <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/624>
  - [12] Vargas Cordero, Z. R. (2009). La Investigación aplicada: Una forma de conocer las realidades con evidencia científica. *Revista Educación*, 33(1), 155. <https://doi.org/10.15517/revedu.v33i1.538>

ANEXOS

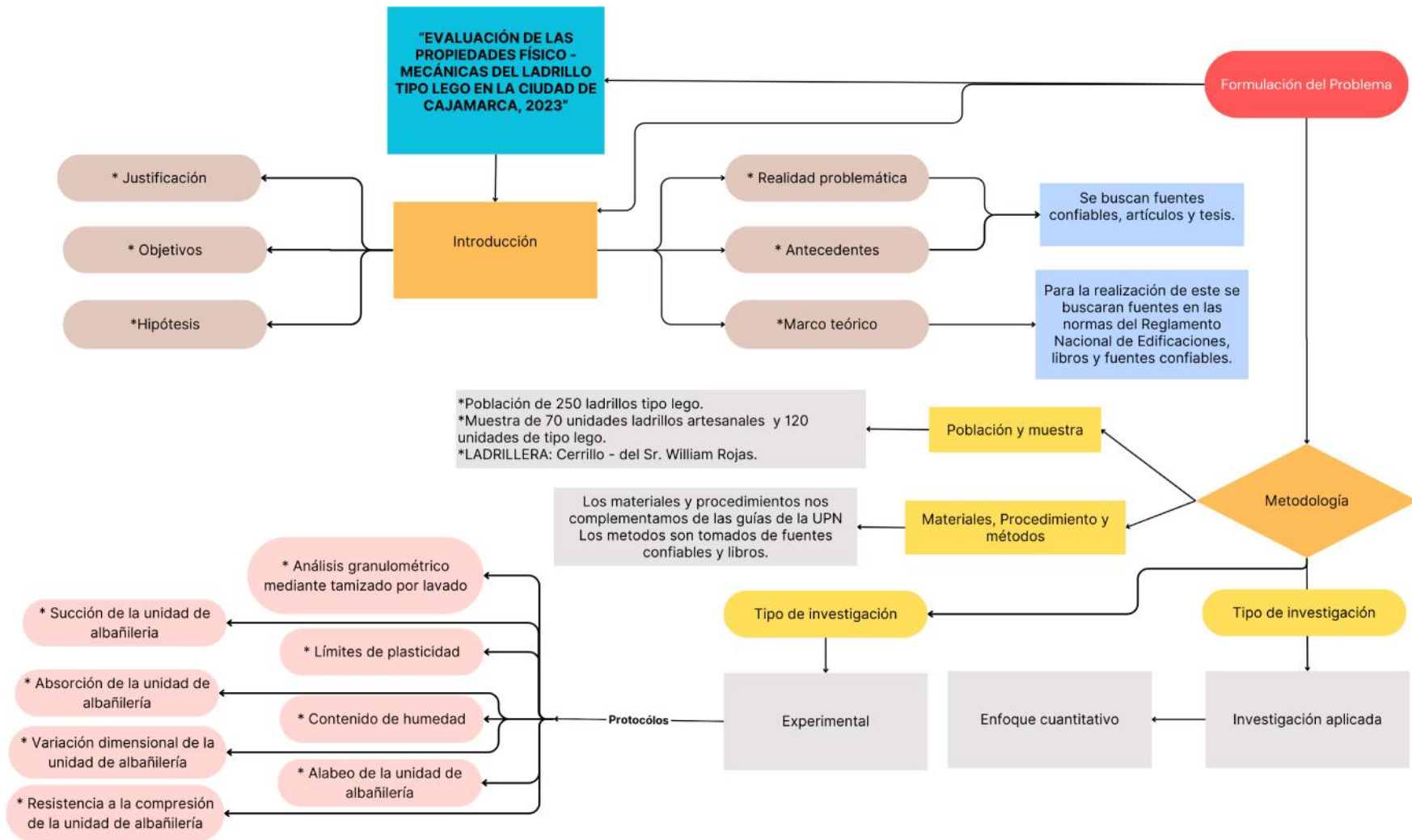


Fig. 8 Diagrama de flujo.

Nota. Resumen del presente artículo descrito mediante un diagrama de flujo.