ISBN: 978-628-96613-1-6. ISSN: 2414-6390. Digital Object Identifier: https://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2025.1.1.736

Study of resistance and uniformity in the manufacture of artisanal bricks in Piura

Kelmia Isabel Silva Viera[1]; Jorge Eduardo Rosales Ruiz[2]; Leandro Alonso Vallejos More[3]; Dalia Paola Rivera Lindo[4]

[1]Universidad Tecnologica del Perú, Piura Perú, *U20214762@utp.edu.pe,*
[2]Universidad Tecnologica del Perú, Piura Perú, *U20208106@utp.edu.pe,*
[3]Universidad Tecnologica del Perú, Piura Perú, *c21682@utp.edu.pe*,
[4]Universidad Tecnologica del Perú, Piura Perú, *c29098@utp.edu.pe*.

Abstract– ***This research arose from the problem and deficiency in the evaluation of artisanal bricks in order to determine compressive strength and uniformity in the manufacture of artisanal bricks, taking the Chulucanas brick factory as a reference as the supplier of the samples.For this purpose, laboratory tests were carried out on 5 specimens of artisanal bricks for testing in a uniaxial press with the capping included to ensure the uniform distribution of loads and to be able to calculate the compressive strength. This research has quantitative, non-experimental criteria for the evaluation of these results, where it was found that none of the samples obtained met the minimum ranges of dimensions corresponding to 8%, 6% and 4% for length, width and height respectively.In the compression resistance tests it was observed that the minimum requirements were met in 4 of the samples for type 1 brick but the remaining one failed having a resistance of 47.89 kg/cm2 without meeting the minimum standard of 50 kg/cm2. From this it is concluded that the artisanal brick factories still do not have control over the production process for the uniformity of the materials, which affects the performance of the same having a very high standard deviation of the results.***

Keywords-- ***Artisanal brick, compressive strength, uniformity, brick factory, regulations.***

Estudio de resistencia y uniformidad en la fabricación de ladrillos artesanales en Piura

Kelmia Isabel Silva Viera[1]; Jorge Eduardo Rosales Ruiz[2]; Leandro Alonso Vallejos More[3]; Dalia Paola Rivera Lindo[4]

[1]Universidad Tecnologica del Perú, Piura Perú, *U20214762@utp.edu.pe,*
[2]Universidad Tecnologica del Perú, Piura Perú, *U20208106@utp.edu.pe,*
[3]Universidad Tecnologica del Perú, Piura Perú, *c21682@utp.edu.pe*,
[4]Universidad Tecnologica del Perú, Piura Perú, *c29098@utp.edu.pe*.

***Resumen*– La presente investigación surgió por la problemática y deficiencia de evaluación de ladrillos artesanales con el fin de determinar resistencia de compresión y uniformidad en la fabricación de ladrillos artesanales tomándose como referencia la ladrillera de Chulucanas como proveedor de las muestras. Se realizaron ensayos de laboratorio alrededor de 5 espécimen de ladrillos artesanales para las pruebas en una prensa uniaxial con el capeo incluido para asegurar la repartición de cargas de manera uniforme y calcular la resistencia de compresión. Esta investigación tiene criterios cuantitativos, no experimentales para la evaluación de dichos resultados, donde se encontró que ninguna de las muestras obtenidas cumplía los rangos mínimos de dimensiones correspondiente al 8%,6% y 4% para largo ancho y altura respectivamente. En los ensayos de resistencia a compresión se observó que si se logró cumplir con los requerimientos mínimos en 4 de las muestras para ladrillo tipo 1 pero la restante llego al fallo teniendo una resistencia de 47.89 kg/cm2 sin cumplir con el estándar mínimo de 50 kg/cm2.De esto se concluye que las ladrilleras artesanales aun no tienen un control en cuanto a proceso de producción para la uniformidad de los materiales por lo que se afecta al rendimiento del mismo teniendo una desviación estándar de los resultados muy elevada.**

***Palabras clave*-- ladrillo artesanal, resistencia a la compresión, uniformidad, ladrillera, normativa.**

I. INTRODUCCIÓN

La producción de ladrillos artesanales suele tener muchas deficiencias a nivel de calidad y uniformidad. Esto se debe a que, al tener distintos métodos de fabricación, distintos materiales y habilidades de la persona que lo produce genera diferencia entre ellos en cuanto a resistencia o durabilidad. Estos suelen tener estructura irregular y diferencia en forma y tamaño lo que afecta a su uso siendo más susceptibles a los cambios climáticos y ambientales debido a la porosidad.

El objetivo general de la investigación es Determinar resistencia de compresión y uniformidad en la fabricación de ladrillos artesanales en el distrito de Piura, año 2024 en base a los objetivos específicos de analizar la uniformidad de los ladrillos artesanales en el distrito de Piura, año 2024 y medir la resistencia de compresión del ladrillo artesanal en el distrito de Piura, año 2024.

Comprender la resistencia mecánica de los ladrillos artesanales, contribuirá a promover prácticas sostenibles y eficientes en la construcción sobre todo en la población rural y de áreas con difícil acceso a materiales modernos, enfocándose en evaluar la idoneidad en los diferentes tipos de usos que este podría tener, para generar una mayor seguridad estructural en el momento de su aplicación.

El ladrillo artesanal es una unidad de mampostería usada en varios lugares como Europa y América para la creación de obras civiles. En España, por ejemplo, se ha realizado un estudio en la caracterización experimental, específicamente el ladrillo artesanal de adobe. El sentido de las cargas de soporte define la reacción de la disposición y las interacciones mecánicas del muro, simulando desde un fin macro mecánico la mampostería de adobe es continuo y homogéneo [1]. En general, este tipo de unidad termina siendo uno de los principales medios investigativos del articulo mencionado con el fin de entender el comportamiento de este ya incorporado a un muro del mismo material, donde se considera como un solo solido al cual aplicar cargas para obtener reacciones mecánicas como compresión y tracción.

En América Central, específicamente en México, durante el periodo 2020–2022, se ha considerado el estudio de ladrillos artesanales como objeto de análisis en aspectos ambientales, sociales y de producción. En [2], se aborda un estudio socioambiental del sector ladrillero artesanal. En [3], se logró identificar el proceso productivo de fabricación de ladrillo, mientras que [4] presenta un análisis reciente sobre la contaminación del aire por exposición al humo de las ladrilleras. Estos trabajos, realizados en un lapso de tres años, han permitido indagar en las consecuencias de la elaboración de

ladrillos artesanales, con énfasis en el proceso de producción como base para propuestas de mejora.

En América Latina, el objeto de estudio ha seguido líneas similares a las de Europa, con énfasis en la importancia de la producción artesanal. En Ecuador, la fabricación de ladrillos artesanales constituye una fuente significativa de empleo e ingresos fiscales [5, 6]. En Colombia, el uso de la arcilla como material vernáculo ha sido reconocido en diversos proyectos arquitectónicos, donde también se han desarrollado investigaciones sobre su comportamiento térmico [7, 8]. Una situación similar se observa en Argentina, donde, ante la escasez de estudios locales sobre caracterización mecánica, se ha evaluado la producción de ladrillos en relación con la demanda poblacional, resaltando la necesidad de incorporar materiales adecuados para soportar cargas estructurales y cumplir con parámetros de calidad [9].

En el caso de Perú, la línea de investigación se orienta hacia el análisis químico. Particularmente, se ha sugerido el estudio de la composición química de los ladrillos artesanales como método para determinar la presencia de eflorescencia, como se evidenció en estudios realizados en la región de Cajamarca [10].

La referencia [1] presenta un enfoque experimental en el que se construyeron 7 muestras con el objetivo de examinar ladrillos de adobe de 0.000512 m3 obtenido con corte en seco en los mismos periodos de tiempo, la aplicación de la carga con la maquina mono axial fue la misma tanto en las unidades como en la mampostería. Se enfoco en las consecuencias del impacto ambiental y el proceso de fabricación del ladrillo artesanal.

En México, los estudios relacionados con las ladrilleras han abordado principalmente el impacto social y ambiental. En 2019 se realizaron visitas de campo y entrevistas en las zonas de estudio. Posteriormente, en 2020, se examinó la estructura constructiva del ladrillo mediante monitoreos en sectores específicos, y en 2022 se centró la atención en los artesanos que controlan el proceso de cocción, así como en los efectos que este tiene sobre las comunidades locales [2, 3, 4].

Investigaciones ecuatorianas han buscado determinar las mezclas óptimas de arcilla para lograr una resistencia adecuada en los ladrillos artesanales. En [6], se examinaron muestras mediante rayos X, evaluando cómo las variaciones en el contenido de agua afectan la resistencia del material, mientras que [5] consideró la absorción como variable clave en la calidad del ladrillo. En Colombia, se establecieron parámetros de calidad para distintas tipologías de ladrillo, controlando variables como tamaño, composición química, mineralógica y térmica, además de la forma y porcentaje de aire contenido en cada pieza [7, 8]. En Argentina se utilizó un enfoque similar, aplicando métodos probabilísticos sobre probetas para medir el módulo de elasticidad, la carga de rotura y la relación tensión-deformación [9]. En el caso de Perú, los estudios coincidieron en interés, aunque se enfocaron en aspectos físicos como el alabeo, las dimensiones y la presencia de eflorescencia [10].

Para la evaluación de las muestras se utilizaron metodologías similares a las empleadas en estudios realizados en Europa y América Latina, los cuales combinaron trabajo de campo y análisis descriptivos. Estos estudios incluyen enfoques experimentales y cuantitativos orientados a obtener resultados consistentes en pruebas aplicadas a ladrillos artesanales [3, 5–10]. En América Central, aunque se empleó el mismo objeto de estudio, la atención se centró en analizar las consecuencias de la producción de ladrillos. En México, por ejemplo, se recopilaron estudios no experimentales con enfoques cuantitativos y descriptivos, dirigidos a identificar los factores asociados al impacto ambiental [1, 2, 4].

En un ensayo realizado en España, se evaluó la interacción de la compresión a través de los desplazamientos observados en un muro. En los especímenes se midieron las deformaciones generadas mediante sensores LVDT y el desplazamiento de la máquina de carga, evidenciando un comportamiento frágil del material. La relación entre la carga de compresión y el módulo de Young mostró un comportamiento lineal, con una variación del 7 % [1]

.

En los estudios relacionados con los impactos ambientales y los riesgos para la población derivados de la fabricación de ladrillos artesanales en México, se identificó una percepción negativa generalizada debido a los efectos sobre la salud, el suelo y la producción inestable. En [4], los resultados sobre la concentración de PM2.5 superaron los límites establecidos por la OMS (15 μg/m³). Por otro lado, [3] reportó inestabilidad en la producción, atribuida a la variabilidad de las medidas de los moldes utilizados. En [2], se observó que en cinco localidades productoras se extraen aproximadamente 21 384 000 toneladas métricas de suelo por año, lo que podría dejar extensas áreas de terreno infértil.

Las combinaciones de arcillas utilizadas en la fabricación de ladrillos dependen de la presencia de materia orgánica y del uso de un modelo cuadrático para establecer los porcentajes de diseño, con un nivel de significancia de 0.05. Como resultado, se determinaron proporciones óptimas de 5 % de agua, 85 % de arcilla negra y 10 % de arcilla blanca, para alcanzar una presión requerida de 4.9 MPa. En [6], se indica que la absorción de agua en probetas es regular, con porcentajes superiores al 20 %, y que la resistencia no supera los 140 kg/cm², lo que incumple con la norma NTE INEN 3049-5. En [7], se identifican irregularidades que impiden clasificar las muestras según la norma NTC 4205-2. Por su parte, [8] señala que el análisis

térmico no alcanza los estándares de calidad requeridos para las condiciones constructivas en Colombia.

La referencia [9] señala que la resistencia a compresión presenta una baja dispersión desde el punto de vista geométrico, mientras que, en cuanto a la resistencia a tracción, el material se comporta como un elemento frágil. En la región de Cajamarca se observan comportamientos distintos, dependiendo del lugar de extracción del suelo. Las propiedades fisicoquímicas del terreno se clasificaron como arena limosa, y de acuerdo con el sistema AASHTO, pertenecen al subgrupo A-2-4. Se reportaron humedades que varían entre 5 % y 20 %, un límite líquido entre 14 % y 18 %, y valores de eflorescencia de 5.0 %, 8.5 %, 9.2 %, 21.2 % y 31.1 % [10].

II. MARCO TEORICO

A. Resistencia a compresión

La resistencia a compresión nos ayudará a identificar la máxima fuerza de compresión que un ladrillo podrá soportar sin llegar a fallar siguiendo el régimen de las Normas NTP 399.613 y 339.604. Se define como la propiedad de un elemento sólido para resistir fuerzas en un plano vertical con el fin de reducir el volumen, siendo un índice de calidad muy usado en la elaboración de elementos de construcción [15].

B. Principios

1) Tensión y Deformación: Es fundamental comprender las propiedades mecánicas del objeto de estudio. En primer lugar, la tensión se define como la fuerza ejercida en un punto específico de un material, aplicada por unidad de superficie sobre un plano de corte, con la tendencia de separar el material en diferentes partes. En segundo lugar, la deformación representa el grado en que el material ha cambiado su forma o volumen como resultado de la aplicación de dicha tensión [16].

Al someter un sólido como el ladrillo artesanal, a una carga de compresión, experimentará una deformación relacionada a la carga aplicada. La relación entre la tensión y la deformación en la zona elástica es llamada la ley de Hooke.

2) Ley de Hooke: Es un modelo lineal y su grafica es una función lineal siendo la pendiente la rigidez del elemento. Consideramos que la ley de Hooke está directamente relacionada con la deformación siendo su fórmula:

$$\sigma = E \times \varepsilon \quad (1)$$

σ=Tensión material
E= Modulo de elasticidad
ε=Deformación

Como se observa en la Ecuación 1, la tensión será igual al módulo de elasticidad por la deformación que el material tenga [16].

3) Límite Elástico: Es el punto por el que el material pueda presentar las deformaciones sea trasversal o longitudinalmente de manera reversible, es decir que durante ese mismo rango pueda regresar a su forma original, una vez se sobrepase este límite se empieza con el comportamiento plástico de un material. Hasta que llega a la resistencia ultima de compresión, donde se desarrolla la tensión del material antes de fallar. Ahí encontramos el módulo de Young para medir el comportamiento con relación al sentido en que se aplica la fuerza teniendo el mismo valor para compresión y tracción [17].

C. Factores que afectan la resistencia

Debemos tener en cuenta que el análisis de la compresión de un material como el ladrillo artesanal puede tener muchos factores de afectación a su desempeño. En primer lugar, tenemos la composición del material y su proceso constructivo, pues su composición física, mineralógica y química está relacionado a la interacción de sus partículas y cómo reaccionan ante la fuerza aplicada.

En segundo lugar, factores como la porosidad juegan un papel importante en el comportamiento del material. Una presencia excesiva de vacíos actúa como punto de fractura, mientras que una mayor densidad contribuye a un mejor desempeño estructural. Finalmente, factores externos como la temperatura pueden afectar significativamente las propiedades mecánicas, ya que provocan una reducción en el rendimiento del material debido a su composición interna [18].

D. Método de ensayo

Existen diversos métodos de ensayo para el estudio de la resistencia a compresión. En este caso, se utilizará el ensayo de compresión uniaxial, que consiste, en términos generales, en colocar el material en una máquina que aplicará una carga de forma medible y controlada hasta que la muestra falle, es decir, se fracture. La resistencia se obtiene dividiendo la carga máxima soportada entre el área transversal de la muestra. Las normas NTP 331.017 y NTP 399.613 consideran distintos aspectos técnicos para este tipo de ensayo [19]. Generalmente, se utiliza una prensa hidráulica o una máquina de compresión axial, y el cálculo de la resistencia se basa en la siguiente ecuación:

$$f'b = P/A \quad (2)$$

f´b=Resistencia de compresión
P=Carga de aplicación
A=Área del elemento en contacto

Donde la resistencia de compresión será igual a la carga de aplicación sobre el área del elemento en contacto [19].

E. Uniformidad dimensional

La uniformidad dimensional del ladrillo, también denominada homogeneidad, hace referencia a que los lados del ladrillo artesanal mantengan proporciones similares dentro de un rango mínimo de tolerancia establecido por la normativa técnica, tomando como base la geometría [20]. Esta disciplina se encarga del estudio de las dimensiones y formas espaciales de los objetos, particularmente en figuras tridimensionales. En este caso, el análisis se centra en identificar las irregularidades en el prisma del ladrillo. Según la normativa peruana, se diferencian dos tipos de dimensiones: las efectivas, que corresponden a las medidas reales obtenidas directamente sobre

el ladrillo, y las nominales, que son las dimensiones establecidas por la Norma Técnica Peruana.

La variación de las dimensiones afecta al desempeño estructural del ladrillo artesanal. En primer lugar, una alineación inadecuada ocasiona puntos débiles en las estructuras por la diferencia de distribución de cargas. En segundo lugar, el desempeño de propiedades como la resistencia y la absorción de agua se ven influenciadas por las expansiones y contracciones diferenciales y en último lugar, las superficies rugosas e imperfectas causan la falta adherencia del mortero entre ladrillos debilitando la unión del muro

F. Ladrillo Artesanal

El ladrillo artesanal es un material ampliamente utilizado en las construcciones del Perú, especialmente en edificaciones de tipo tradicional o de bajo costo. Se caracteriza por su forma de paralelepípedo, producto de un proceso de elaboración manual. Constituye una unidad básica de albañilería empleada tanto con fines estructurales como decorativos. Se clasifica como un componente cerámico, fabricado principalmente a base de arcilla cocida [21], aunque en algunos casos también puede elaborarse con adobe, dependiendo de las condiciones geográficas y los recursos disponibles.

1) *Producción de ladrillos:* La construcción nacional, ha tenido como base a los ladrillos artesanales. Actualmente estas ladrilleras varían en tamaño y capacidad de producción, desde pequeñas unidades familiares hasta grandes instalaciones industriales.

La industria de construcción nacional se afecta por la producción informal de ladrillos artesanales. Según la Asociación Ladrillera de Cerámicos del Perú existen alrededor de 2,000 ladrilleras en el país, pero lamentablemente solo el 20% de ellas están formalizadas, mientras que el 80% restante opera de manera informal. Estas ladrilleras informales ofrecen productos con características limitadas y a precios más bajos, lo que ha llevado a un mayor uso de sus productos en la construcción de viviendas [22].

En Piura hay un total de 116 ladrilleras de las cuales se tomarán de referencia solo las de la provincia de Piura, específicamente del distrito de Piura, dentro del sector Kurt Beer [23]. Esto se tomará en cuenta en la delimitación de método de la investigación.

2) *Fabricación de ladrillos Artesanales:* Toda fábrica que elabora ladrillos artesanales cuenta con una zona asignada para la materia prima, usualmente áreas cercanas a colinas o ríos, pero el principal desafío radica en la selección de porcentaje de agua y arcilla idóneos para su producción. Por ejemplo, si se utiliza una arcilla muy grasa, es necesario agregar materiales desgrasantes como la arena buscando una consistencia plástica. Por lo general, entre un 12% y un 15% de humedad para garantizar la cohesión y obtener una pasta arcillosa uniforme [24].

En la etapa del moldeo, la arcilla obtiene la forma del molde, este debe ser de madera dura y ser cambiados cada cierto tiempo. El moldeado se realiza de forma manual, se coloca una capa muy fina de arena en el molde para que funcione como desmoldante. Se empuja el contenido para evitar que queden vacíos, luego se traslada a la zona de secado y se voltea. Esto para eliminar el agua residual que se forma durante el moldeado. Esta agua libre o agua de poro, influye en el volumen de la pieza. Para evitar la formación de porosidad se elimina a temperaturas cercanas a la ebullición, si se eliminará en la fase de cocción, la alta temperatura superficial y la baja conductividad térmica generarían que la humedad residual se elimine a través de una capa de material ya sinterizado [21].

Finalmente, la etapa de cocción implica exponer los ladrillos a altas temperaturas durante períodos prolongados en hornos, con el objetivo permitir que desarrollen sus características mecánicas, físicas y su apariencia final. El proceso de cocción tiene una secuencia de cuatro etapas. Primero, se produce un precalentamiento a 200° C para eliminar el agua físicamente unida a la arcilla. Luego, se calienta hasta 700° C, donde se elimina el agua químicamente unida. En la tercera etapa, la pieza se madura entre 900° C y 1000° C, y finalmente, se realiza un temple y enfriamiento lento hasta alcanzar 500° C [21].

III. MATERIALES Y METODO

La investigación tiene enfoque cuantitativo, se centra en medir y recolectar los datos de la uniformidad de los ladrillos artesanal y la diferencia entre ellos, así como medir la fuerza de compresión de los mismos para después analizarlos en tablas estadísticas y entender las diferencias entre cada uno de ellos.

Este enfoque es el indicado para designar la investigación dado que busca datos a través de mediciones numéricas, recolección y estadísticas, para entender la variable de las propiedades del objeto de estudio y resolver la pregunta de investigación [11].

A. Diseño o tipo de investigación

La investigación trata de analizar el ladrillo artesanal de manera que se tome en cuenta principios fundamentales del contexto y tiempo.

El diseño de nuestro estudio se clasifica como no experimental trasversal, porque no se altera la composición del ladrillo artesanal ni el contexto que lo rodea en las ladrilleras, además de recolectar datos y describir las características del ladrillo, en un solo momento. Podemos definir los estudios no experimentales como aquellos diseños donde no hay estímulos exteriores en la variable siendo evaluados en su ambiente natural sin alterar algún componente y dentro de ello los trasversales como aquellos que solo se realizan en una sola instancia y una vez [12].

B. Alcance de la investigación

En esa misma línea de análisis, la investigación busca definir las cantidades de diferencia dimensional en el objeto y describir detalladamente la diferencia de resistencia de compresión de los ladrillos artesanales, para identificar si se cumple con la normativa aplicada, por lo que el alcance tiene

fines descriptivos. Especifica las propiedades, del ladrillo artesanal y fundamenta los aspectos para mostrar una visión global de ladrillo artesanal de arcillas. De modo que la investigación es descriptiva-comparativa porque ambas variables se aplicarán a las muestras [12].

C. Población y muestras

La población de la investigación está compuesta por todos los ladrillos artesanales producidos por pequeñas, medianas y grandes empresas ubicadas en el distrito de Piura, Perú.

El muestreo se realizará de manera aleatoria con el fin de mejorar la representatividad de las muestras en cuanto a las técnicas de fabricación y la tipología de los ladrillos artesanales. De acuerdo con la NTP 070 de Albañilería, 2006, para pruebas dimensionales se deben ensayar 10 unidades seleccionadas al azar por cada lote de 50 millares de ladrillos. Asimismo, según la NTP 399.613, 2005, para pruebas de resistencia, por cada lote de hasta 1 000 000 de unidades se deben ensayar 10 ladrillos, y se añadirán 5 unidades adicionales si el lote supera esa cantidad. Las unidades seleccionadas para esta investigación serán extraídas del sector Kurt Beer, ubicado en el distrito de Piura [13].

D. Método

Para determinar la calidad del ladrillo artesanal tomaremos una muestra representativa como espécimen, los cuales serán analizados por sus respectivos métodos que nos permitirán medir la resistencia de los ladrillos hasta el punto de fractura, así como evaluar su uniformidad a través de la comparación de dimensiones y homogeneidad de materiales para compararlos con los resultados habituales de práctica según la normativa peruana.

Para el ensayo de resistencia, se utilizará una prensa uniaxial que cumpla con los estándares habituales de verificación de fuerza, como los establecidos por la norma ASTM E4. La carga se aplicará de forma perpendicular a la superficie del ladrillo, centrando la muestra justo debajo del apoyo esférico. Este soporte debe consistir en un bloque metálico endurecido, capaz de girar libremente en cualquier dirección, dejando un espacio libre de 0,635 cm para acomodar muestras con superficies no paralelas.

La superficie debe tener un diámetro mínimo de 12.7 cm y una dureza mayor de 60 HRC (HB620), con tolerancia de planitud de 0,03 mm. Para asegurar el contacto adecuado con especímenes de menor tamaño, se recomienda usar una plancha de acero maquinada, cuyo espesor sea al menos un tercio de la distancia desde el extremo del apoyo esférico a la esquina más lejana del espécimen [14].

El ensayo de variación dimensional se realizará con una regla graduada al milímetro de 30cm de longitud con divisiones de un milímetro. Para ello, se deberá contar con una muestra de diez unidades, siendo estas la representación de cada lote y deben incluir una inspección visual del cargamento. El proceso consiste en medir cada espécimen el largo, ancho y de los dos extremos y en ambas caras, registrándose las medidas con una aproximación de 1 mm y registrar el promedio de las medidas con una aproximación de 0.5mm [14].

Los datos obtenidos serán analizados utilizando técnicas estadísticas descriptivas y explicativas para identificar medidas de tendencia central y dispersión, explorar relaciones causales y formular conclusiones sobre la calidad de los ladrillos artesanales. Finalmente, se elaborarán conclusiones y recomendaciones para mejorar las prácticas de producción y garantizar la calidad del material utilizado en la construcción.

E. Técnicas e instrumentos

1) Técnica: Observación directa, donde observaremos las diferencias en la muestra para recolectar los datos, pudiendo comprobar cada comportamiento en el ensayo mediante la medición de las dimensiones y la capacidad de compresión.
2) Instrumento de recolección de datos: Fueron mediante fichas de registro para cada ensayo realizado, como se muestra a continuación.

TABLA I
CUADRO DE RELACIÓN DE ENSAYO -INSTRUMENTO

Ensayos	Categoría	Indicador	Normas	Técnicas e Instrumento
Variación Dimensional	Ladrillo de arcilla	Forma Volumen dimensiones	Norma Técnica Peruana 399.613(2017)	Ensayo de laboratorio y observación. Ficha de registro Regla graduada
Resistencia de compresión (f´b)	Ladrillo de arcilla	Calidad Cantidad Resistencia de compresión	Norma Técnica Peruana 399.613(2017)	Ensayo de capacidad de compresión y observación. Ficha de registro Prensa Uniaxial

IV. RESULTADOS

Los resultados de esta investigación serán presentados de forma lógica y secuencial, apoyándose en tablas y figuras sin incurrir en repeticiones innecesarias. Se ha procurado evitar la

duplicación de datos en distintos formatos de representación, manteniendo la claridad y concisión en la exposición. Dado que esta sección describe los hallazgos experimentales, la redacción se realiza en tiempo pasado y sin hacer referencia directa a la literatura. Además, el análisis detallado e interpretación de los resultados se reserva para la sección de discusión.

A. Uniformidad

Para el análisis de la uniformidad de los ladrillos artesanales se tomará en cuenta la norma técnica peruana 0.70 de albañilería confinada, para estos se analizaron los resultados obtenidos desde laboratorio con la siguiente tabla.

TABLA II
MUESTRA DE LADRILLOS CON LOS RESULTADOS DE SUS MEDIDAS

Identificación de Muestra	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)
Unidad de Arcilla 01 - Artesanal - Tipo I	19.27	9.57	8.13
Unidad de Arcilla 02 - Artesanal - Tipo I	19.47	9.6	8.27
Unidad de Arcilla 03 - Artesanal - Tipo I	19.47	9.8	8.3
Unidad de Arcilla 04 - Artesanal - Tipo I	20	10.27	8
Unidad de Arcilla 05 - Artesanal - Tipo I	19.37	9.73	8.33
PROMEDIO	19.516	9.794	8.206
DESVIACIÓN	0.28	0.28	0.13

[a]Resultados de laboratorio Quality Pavements

Esta tabla muestra la información de los 5 especímenes llevados a laboratorio, se identifica el tipo de muestra y las dimensiones recogidas por cada muestra, así como el promedio y desviación estándar de las unidades en las 3 dimensiones para posterior a esto aplicar la normativa planteada según sus condiciones.

TABLA III
TABLA DE RANGO DE UNIDADES

Tabla de rangos para unidades	Promedio corregido	Máximo permitido	Mínimo permitido
Para largo 4%	19.23	20.00	19.20
Para ancho 6%	9.51	10.08	9.68
Para altura 8%	8.07	8.71	8.36

Se verifica a través de la desviación estándar el promedio corregido para después de esto establecer los estándares máximos y mínimos de las medidas evaluadas, como se especifica para 100 mm, 150mm y más de 150 mm.

TABLA IV
TABLA DEL UNIDADES DE ALBANILERÍA

Clase	Variación de la Dimensión			Alabeo (máximo en mm)	Resistencia característica a compresión f' b mínima Mpa (kg/cm2) sobre área bruta
	Hasta 100 mm	Hasta 150 mm	Más de 150 mm		
Ladrillo I	± 8	± 6	± 4	10	4.9(50)
Ladrillo II	± 7	± 6	± 4	8	6.9(70)
Ladrillo III	± 5	± 4	± 3	6	9.3(95)
Ladrillo IV	± 4	± 3	± 2	4	12.7(130)
Ladrillo V	± 3	± 2	± 1	2	17.6(180)

[b]Extraído de NTP 0.70

A partir de la tabla 4 se puede identificar los porcentajes mínimos a tomar en cuenta y hacer la respectiva comparación en los valores obtenidos y los estándares de la norma.

TABLA V
TABLA DE VERIFICACIÓN DE DIMENSIONES

Muestra	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Resultado
Unidad de Arcilla 01 - Artesanal - Tipo I	19.27	9.57	8.13	20 cm-19.20cm	10 cm-9.68cm	8.71 cm-8.36cm	No cumple
Unidad de Arcilla 02 - Artesanal - Tipo I	19.47	9.6	8.27	20 cm-19.20cm	10 cm-9.68cm	8.71cm-8.36cm	No cumple
Unidad de Arcilla 03 - Artesanal - Tipo I	19.47	9.8	8.3	20 cm-19.20cm	10 cm-9.68cm	8.71cm-8.36cm	No cumple
Unidad de Arcilla 04 - Artesanal - Tipo I	20	10.27	8	20 cm-19.20cm	10 cm-9.68cm	8.71cm-8.36cm	No cumple
Unidad de Arcilla 05 - Artesanal - Tipo I	19.37	9.73	8.33	20 cm-19.20cm	10 cm-9.68cm	8.71cm-8.36cm	No cumple

Finalmente se evalúa las cantidades en relación a sus máximos y mínimos permitidos para establecer si cumplen o no con la normativa en cuanto a la uniformad, se puede identificar que la mayoría de las muestras no cumple con los estándares mínimos en el ancho que se espera en ladrillo artesanal tipo 1.

B. Resistencia de Comprensión

Para la comparación a la resistencia de compresión se visualizó la utilización de la tabla anterior extraída de la NTP 0.70 de albañilería para ladrillos artesanales tipo 1 donde se verifica que la resistencia mínima requerida de los ladrillos debe ser de 50 kg/cm2.

TABLA VI
TABLA DE VERIFICACIÓN DE RESISTENCIA DE COMPRESIÓN SEGÚN LA RESISTENCIA MÍNIMA

Identificación de Muestra	Carga Máxima (kg)	Resistencia a Compresión (kg/cm²)	Resistencia a compresión Mínima kg/cm2	verificación
Unidad de Arcilla 01 - Artesanal - Tipo I	11539	62.6	50	Aceptable
Unidad de Arcilla 02 - Artesanal - Tipo I	12514	66.96	50	Aceptable
Unidad de Arcilla 03 - Artesanal - Tipo I	9137	47.89	50	No aceptable
Unidad de Arcilla 04 - Artesanal - Tipo I	15321	74.62	50	Aceptable
Unidad de Arcilla 05 - Artesanal - Tipo I	9617	51.02	50	Aceptable

TABLA VII
TABLA DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO

ANALISIS	RESULTADO
Promedio (kg/cm²)	60.62
Desviación (σ)	11.12
Promedio Corregido (kg/cm²)	49.5
Resistencia Corregida (%)	99.00%

[c]Resultados de laboratorio Quality pavements

Como se puede visualizar el espécimen de unidad de arcilla 1,2,4,5 superaron en valores cercanos a la resistencia mínima requerida para los ladrillos de arcilla tipo I, mientras que el espécimen 3 no logró alcanzar el requisito mínimo para su utilización como producto de construcción. Sin embargo, en un promedio corregido se puede observar que en general el grupo de ladrillos no cumple con los estándares de resistencia a compresión.

V. DISCUSIÓN

Al evaluar el primer objetivo específico, "Analizar la uniformidad de los ladrillos artesanales en el distrito de Piura, año 2024", se observó que la mayoría de las muestras de ladrillos no cumplen con los estándares de uniformidad dimensional según la norma NTP 399.613, registrando desviaciones importantes en sus dimensiones promedio de largo, ancho y altura. Los resultados mostraron que ninguno de los ladrillos evaluados alcanzó los límites permitidos para el ladrillo artesanal tipo I, con variaciones en el ancho y la altura que superan los rangos establecidos. Esto implica una falta de control en la producción del material, debido a un proceso inadecuado de amasado provocando variaciones en la densidad del producto final o un molde sin mantenimiento que puede provocar problemas en el secado y posterior cocción.

Esta falta de uniformidad en los ladrillos artesanales coincide con investigaciones previas mencionadas en el estado del arte. En estudios realizados en Colombia y Argentina, por ejemplo, se destaca cómo las variaciones en las dimensiones de los ladrillos afectan su uso y calidad en la construcción, resaltando la importancia de un control de calidad estricto que permita la mejor homogeneidad de las dimensiones del ladrillo [7, 9].

Asimismo, en Ecuador, demostraron cómo las variaciones en las dimensiones afectan propiedades como la resistencia y la absorción de agua, que puede ser ocasionada por incorrecta dosificación de los materiales, a causa de los porcentajes de agua y homogeneidad de los elementos utilizados ya que de ellos depende la cohesión de las partículas [6].

El uso de técnicas manuales, como el moldeo y secado sin estandarización, es un factor que contribuye a estas irregularidades [1,2]. En [3], se reporta el caso específico de México, donde se identificaron problemas similares derivados de prácticas artesanales no supervisadas. Asimismo, en Perú se ha documentado que la falta de uniformidad incide directamente en las propiedades fisicoquímicas del ladrillo [10].

Por lo tanto, se requiere un control en la selección de materiales que conste de pruebas de humedad para asegurar una mezcla más uniforme, con ello un control de dosificación que permita el pesaje de los elementos, junto con un monitoreo del moldeo y secado. Ajustando los procesos de fabricación para garantizar que las unidades cumplan con las normas técnicas mínimas [5].

Al evaluar el segundo objetivo específico, "Medir la resistencia de compresión del ladrillo artesanal en el distrito de Piura, año 2024", se encontró que cuatro de las cinco muestras evaluadas cumplieron con el mínimo de resistencia a compresión de 50 kg/cm², estipulado por la normativa NTP 399.613. Sin embargo, una de las muestras falló en alcanzar el valor mínimo requerido, mostrando una resistencia de solo

47.89 kg/cm². Este hallazgo indica una variabilidad significativa en las propiedades mecánicas, relacionado con las diferencias en la composición y el proceso de fabricación. Las variaciones en la mezcla de arcilla y los tiempos de cocción son factores determinantes en la resistencia del ladrillo artesanal [21].

La resistencia a compresión es un parámetro crítico para evaluar la calidad del material. Su investigación resalta que las propiedades mecánicas de los ladrillos dependen en gran medida de la homogeneidad en su composición, la cual puede verse afectada por factores como la porosidad y la densidad un problema recurrente en las ladrilleras artesanales. Se sugiere que deben ser controladas con pruebas de absorción de agua y regular la mezcla en el tiempo de compactación durante el moldeo. [15,4]

Además, los valores promedio corregidos (49.5 kg/cm²) en este estudio reflejan una tendencia hacia el incumplimiento de las normas, un problema que fue identificado por estudios realizados en Colombia. Para superar estas limitaciones, sugirieron la implementación de metodologías probabilísticas que permitan caracterizar con mayor precisión las propiedades mecánicas de los ladrillos [7–9].

Este hallazgo también guarda relación con investigaciones en el estado del arte. En estudios realizados en México, se ha señalado que la producción artesanal de ladrillos a menudo resulta en productos con resistencia variable debido a prácticas de fabricación inconsistente y falta de supervisión [4]. En Perú, se encontró que la falta de uniformidad en los ladrillos de Cajamarca afecta sus propiedades mecánicas, lo cual es un problema recurrente en las ladrilleras artesanales. Estos antecedentes destacan la importancia de implementar procedimientos estandarizados en las ladrilleras de Piura para asegurar que todos los productos alcanzan los requisitos de resistencia a compresión [10].

En relación con el objetivo general, "Determinar la resistencia de compresión y la uniformidad en la fabricación de ladrillos artesanales en el distrito de Piura, año 2024", los resultados obtenidos evidencian que la producción actual en esta región presenta deficiencias en ambas dimensiones. El incumplimiento de las normas técnicas tanto en resistencia como en uniformidad sugiere que las prácticas de fabricación utilizadas actualmente no han sido suficientemente estandarizadas, lo cual coincide con los problemas reportados en otras regiones [3, 5, 27].

En particular, los resultados del presente estudio destacan la necesidad de mejorar los procesos de control de calidad, para el caso de ladrillos de adobe. Estos hallazgos también refuerzan las propuestas sobre la importancia de considerar factores como la densidad y la resistencia al aplicar cargas, asegurando que el material sea apto para fines estructurales [1–15].

Durante el desarrollo de la investigación, una limitación significativa fue la falta de acceso a la información de algunas ladrilleras, ya que varias no otorgaron el consentimiento para que sus productos fueran evaluados en el estudio. Esto restringió la representatividad de las muestras y podría haber afectado la comparación general. Asimismo, se observó que los ladrillos de las muestras no cumplían con los parámetros de resistencia y uniformidad establecidos en las normas NTP 399.613 y 339.604, lo cual sugiere que estos parámetros no se están cumpliendo en la producción local, afectando los resultados de resistencia y uniformidad. Esta falta de acceso y los incumplimientos normativos limitan el alcance de las conclusiones y subrayan la necesidad de una mayor colaboración con las ladrilleras.

Los resultados obtenidos en este estudio tienen implicaciones directas en la mejora de las prácticas de producción de ladrillos artesanales. La evidencia de deficiencias tanto en uniformidad dimensional como en resistencia a compresión revela la necesidad urgente de adoptar medidas que permitan estandarizar y controlar mejor el proceso productivo. En este sentido, los hallazgos pueden orientar a los productores hacia la implementación de protocolos técnicos más rigurosos, tales como el uso de moldes calibrados, control de humedad y temperatura en el secado, y procedimientos de mezcla y compactación más homogéneos. Asimismo, se vuelve fundamental establecer rutinas de control de calidad dentro de las mismas ladrilleras, incluyendo evaluaciones periódicas de resistencia mediante ensayos simples, verificación dimensional sistemática y registros de producción. Estas acciones permitirían reducir la variabilidad observada en los productos finales, asegurar el cumplimiento de normativas como la NTP 399.613, y mejorar la confiabilidad estructural de las edificaciones construidas con este tipo de ladrillos. Además, al profesionalizar progresivamente la producción artesanal sin perder su esencia local, se abre la posibilidad de que estos materiales puedan emplearse de manera más segura y efectiva en proyectos de vivienda rural, contribuyendo así a soluciones constructivas más sostenibles y de mayor calidad para poblaciones vulnerables.

Finalmente, el aporte de esta investigación radica en brindar una comprensión más clara de la resistencia mecánica y uniformidad de los ladrillos artesanales producidos en Piura, contribuyendo a promover prácticas sostenibles y eficientes en la construcción, especialmente en áreas rurales y de difícil acceso a materiales modernos. Este trabajo no solo destaca la importancia de mejorar la calidad en la producción artesanal, sino que también establece una base para desarrollar nuevas propuestas de diseño que maximicen el rendimiento y la durabilidad de las construcciones con ladrillos artesanales. La información obtenida en este estudio llena un vacío en las investigaciones sobre este material en la región, proporcionando datos que pueden ser útiles para el diseño de políticas y prácticas que apoyen a las comunidades locales en la creación de estructuras más seguras y sostenibles.

VI. CONCLUSIONES

El análisis de datos nos dio como resultados que la muestra número 1 de ladrillo artesanal de 19.27x9.57x 8.13 no cumple con los estándares de uniformidad pues no cumple con el parámetro promedio establecido de ancho 10 a 9.68 cm ni el de altura de 8.71 a 8.36 cm. El espécimen número 2 de dimensiones 19.47x9.6x8.27 si bien cumple con el estándar de largo en los parámetros de ancho 10 a 9.68 cm ni el de altura de 8.71 a 8.36 cm. En el espécimen 3 de dimensiones de 19.47x9.8x8.3 pasa lo mismo pues no cumple con los parámetros de ancho 10 a 9.68 cm ni el de altura de 8.71 a 8.36 cm. El espécimen 4 de 20x10.27x8 no cumple con el ancho 10 a 9.68 cm ni el de altura de 8.71 a 8.36 cm y el espécimen número 5 logra cumplir con los estándares de largo y ancho, pero en el parámetro de altura no logra estar en el rango de 8.71 a 8.36 cm.

En primer lugar en el análisis de uniformidad del ladrillo artesanal en las 5 muestras implicadas se puede concluir que estas no llegaron a los estándares mínimos de NTP 0.70 de albañilería , debido a las desviaciones notables en el parámetro del largo del espécimen por lo que se sugiere viabilidad en la producción de los ladrillos, pues todas las medidas tomadas a estas muestras están fuera de los límites permitidos lo que implica afectaciones en su desempeño como unidad de albañilería, además de posibles afectaciones a la capacidades estructurales y de revestimiento .

En segundo lugar, el indicador de la resistencia de compresión 4 de las 5 muestras superaron la resistencia mínima requerida de 50 kg/cm2 lo que indica que son aptas pues sus indicadores fueron altos, sin embargo, una de ellas no alcanzó el valor mínimo requerido pues obtuvo 47,89kg/cm2 esto indica la necesidad de buscar la causa de la baja resistencia.

VII. RECOMENDACIONES

Se recomienda el implementar un control en la producción de ladrillos artesanales sobre todo en la verificación de las dimensiones para que estas cumplan con los estándares de la norma y monitoreo continuo que implique la medición de la unidad en la etapa de producción.

El uso de capacitaciones en la fábrica sobre la vitalidad de la calidad en los ladrillos y como estos afectan a las construcciones puede ayudar a la aplicación correcta de la norma.

AGRADECIMIENTO/RECONOCIMIENTO

Agradecemos a la Universidad Tecnológica del Perú por el respaldo institucional brindado en el desarrollo de esta investigación.

REFERENCIAS

[1] M. Rodríguez y M. Solís, "Hacia una metodología para la caracterización experimental del comportamiento a compresión de la mampostería de adobe"**,** *Informes de la Construcción*, vol. 72, núm. 557, 2020.

[2] M. Bahena, A. Corral, L. Juárez, A. Rosas, U. Reyes y S. Bedolla, "Estudio socioambiental del sector ladrillero artesanal en el municipio de Coyuca de Benítez, Guerrero," *Ciencia en la frontera*, vol. 16, no. 1, 2019.https://erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/cienciafrontera/article/view/3596

[3] E. Navarro, V. Tova y M. Rivera, "Aplicación de metodología DMAIC en el proceso productivo de fabricación de ladrillo artesanal," *JTIP*, vol. 4, no. 10, pp. 1–10, 2020.https://doi.org/10.35429/JTIP.2020.10.4.1.1

[4] A. Martínez, A. Sánchez, M. Orozco y M. Figueroa, "Contaminación del aire y percepción por exposición al humo de ladrilleras en Tonalá Jalisco, México," *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, vol. 10, no. 19, 2022.https://doi.org/10.29057/icbi.v10i19.8691

[5] G. Barreiro, "Puesta en valor del ladrillo artesanal fabricado en la ciudad de Santa Ana de Vuelta Larga, Provincia de Manabí, Ecuador," *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, vol. 8, no. 1, pp. 5023–5042, 2024. https://doi.org/10.37811/CL_RCM.V8I1.9839

[6] L. D. Guamán, A. Rodríguez Pinos, C. Santiana y B. Yuquilema, "Diseño experimental para la optimización de ladrillos cerámicos prensados en seco (Dry-Press)," *Revista Ingeniería de Construcción*, vol. 37, no. 3, pp. 316–323, 2022. https://doi.org/10.7764/RIC.00036.21

[7] G. Crespo *et al*., "Caracterización de materia prima utilizada para fabricación artesanal de unidades de mampostería en ladrilleras El Cielo y Las Casitas (Valledupar, Colombia)," *Revista Agunkuyâa*, vol. 10, no. 2, 2020.https://doi.org/10.33132/27114260.1908

[8] M. S. N. Ortega, J. V. S. Zúñiga y J. S. Molina, "Comportamiento térmico de diferentes tipologías de ladrillo producidos por el clúster cerámico de Norte de Santander," *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada (RCTA)*, vol. 2, no. 40, pp. 47–52, 2022.https://doi.org/10.24054/RCTA.V2I40.2351

[9] J. A. Duarte, A. Seufert, A. E. M. Boni, A. E. Ares y O. Möller, "Caracterización probabilística de cerámicas para mamposterías de ladrillos cerámicos huecos en Misiones, Argentina," *+Ingenio*, vol. 4, no. 2, 2023.https://doi.org/10.36995/j.masingenio.2023.11.21.005

[10] F. Guevara, "Nivel de sales, cloruros y sulfatos y su relación con la eflorescencia en ladrillos de cinco ladrilleras en Cajamarca, Perú," *Revista Nor@ndina*, vol. 6, no. 1, pp. 81–93, 2023.https://doi.org/10.37518/2663-6360X2023V6N1P81

[11] M. Sánchez y G. Murillo, "Enfoques metodológicos en la investigación histórica: cuantitativa, cualitativa y comparativa," *Debates por la historia*, vol. 9, no. 2, pp. 147–181, 2021.

[12] G. Arias, *Diseño y metodología de la investigación*, EIRL, 2021.

[13] INACAL, *Normas Técnicas Peruanas 399.613*, vol. 1ra edición, 2005.

[14] INACAL, *Norma Técnica Peruana 399.613*, 2017.

[15] R. Cárdenas y N. Panduro, "Estudio de la calidad y resistencia del ladrillo tubular de arcilla en las ladrilleras Icaro, Murrieta, Sagitario, RyG y en Buenavista San Juan 2018," Universidad Científica del Perú, 2020.

[16] L. Corrazíín, E. Devece, L. Feloy, P. Torroba y M. Trípoli, "Ley de Hooke: un punto de encuentro entre Matemática A, Física I y Materiales," *VII Jornadas de Investigación, Transferencia y Extensión de la Facultad de Ingeniería*, pp. 257–264, 2023.

[17] D. Ortiz y A. Cruz, "Determinación del módulo de Young," *Ingenio y Conciencia Boletín Científico de la Escuela Superior Ciudad Sahagún*, vol. 9, no. 17, pp. 52–63, 2022.

[18] C. Olave, "Influencia del aserrín en la resistencia a la compresión y variación dimensional de ladrillos de arcilla cocida elaborados artesanalmente," Universidad César Vallejo, 2017.

[19] M. Alcalde, "Resistencia a la compresión uniaxial de ladrillos ecológicos tipo lego variando los porcentajes de tierra, cemento y yeso 2022," Universidad Privada del Norte, 2023.

[20] RAE, "Geometría," *Real Academia Española*, 2024.

[21] S. Chicchón y S. Rivasplata, "Características físicas y mecánicas del ladrillo artesanal de arcilla King Kong del distrito de Monsefú, provincia de Chiclayo, región de Lambayeque," 2020.

[22] ALACEP, "Asociación Ladrillera de Cerámicos del Perú inicia sus actividades gremiales y presenta sus objetivos," *Gestión*, 2020.

[23] G. Soriano, "Diagnóstico Nacional del Sector Ladrillero Artesanal (Piura)," 2024.

[24] A. Quijano, "Estudio del mejoramiento de propiedades físicas y mecánicas del adobe agregando adiciones naturales en su proceso de fabricación," 2022.