

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE PROFESIONAL: INGENIERÍA CIVIL**



**Tesis**

**Análisis de incorporación de vidrio sódico cálcico triturado y aserrín en las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo artesanal en Talavera, Apurímac, 2023**

Asesor:

Dr. Soto Palomino, Wilfredo

Autor:

Kari Roman, Carinne Leydy

Para optar el título profesional de: Ingeniero civil

Abancay – Apurímac – Perú

2025



# Universidad Tecnológica de los Andes

Transformando vidas

FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

Acta N°: 030

En la ciudad de Abancay año 2025 en el mes de marzo día miércoles del 05 siendo las 09:00 am, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 0219-2025-EPIC-FI-UTEA-SA de fecha 25 de febrero del 2025, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería:

Presidente :	MSc. Ing. Maldonado Mendivil, Angel
Dictaminante :	Ing. Moran Moreno, Milson
Replicante :	Ph.D. Vásquez Ramírez, Abbon Alex

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

Tesis       Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

Análisis de incorporación de vidrio sódico cálcico triturado y aserrín en las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo artesanal en Talavera, Apurímac, 2023

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Br: Kari Roman, Carinne Leydy

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) APROBADO (S):

Por: Unanimidad  
(Unanimidad o Mayoría) (\*\*)

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
Kari Roman, Carinne Leydy	Aprobado

Siendo las 10:50 de la mañana concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: MSc. Ing. Maldonado Mendivil, Angel

Dictaminante: Ing. Moran Moreno, Milson

Replicante: Ph.D. Vásquez Ramírez, Abbon Alex

Abancay 08 de marzo del 2025

Se expide, la presente conforme al Libro de Actas de Sustentación de Tesis, consignado en los folios N° 327.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES  
Ciudad Universitaria Av. Perú N° 700, Abancay, Central Telefónica 051 (083) 321559  
Filial Cusco, Av. Grau N° 516, Teléfono (084) 251565  
Filial Andahuaylas, Juan Antonio Trelles N° 513 Teléfono (083) 421752  
www.utea.edu.pe

(\*): Mayoría: Dos integrantes del jurado aprueban o desaprueban; Unanimidad: Todos los integrantes del jurado aprueban o desaprueban, Art. 18 RGGAT.  
(\*\*): 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGGAT.

Análisis de incorporación de vidrio sódico cálcico triturado y aserrín en las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo artesanal en Talavera, Apurímac, 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Tecnológica de los Andes Trabajo del estudiante	7%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	7%
3	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	3%
4	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	3%
5	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	<1%
7	repositorio.upla.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	www.repositorio.unach.edu.pe Fuente de Internet	<1%
9	dokumen.pub Fuente de Internet	<1%
10	Submitted to Universidad Privada del Norte Trabajo del estudiante	<1%
11	rcta.unah.edu.cu Fuente de Internet	<1%
12	repositorio.cuc.edu.co Fuente de Internet	<1%
13	www.revista.ingenieria.uady.mx Fuente de Internet	<1%

## Metadatos

<b>Datos del Autor</b>		
Apellidos y nombres	:	Kari Roman, Carinne Leydy
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Número de Documento de Identidad	:	75834499
URL ORCID	:	<a href="https://orcid.org/0009-0008-9496-2556">https://orcid.org/0009-0008-9496-2556</a>
<b>Datos del Asesor</b>		
Apellidos y nombres	:	Soto Palomino, Wilfredo
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Número de Documento de Identidad	:	41934951
URL ORCID	:	<a href="https://orcid.org/0000-0001-5926-8077">https://orcid.org/0000-0001-5926-8077</a>
<b>Datos de la investigación</b>		
Facultad	:	Ingeniería
Escuela Profesional	:	Ingeniería civil
Línea de Investigación	:	Gestión de la Infraestructura para el Desarrollo Sostenible
Rango de años en que se realizó la investigación	:	1-2 años
Fuente de financiamiento	:	Autofinanciado
Porcentaje de similitud	:	23%
URL de OCDE	:	<a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford# 2.01.01">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford# 2.01.01</a>

## **Dedicatoria**

Este trabajo lo dedico a mis padres:

Kari Achulli Policarpo y Roman Tello

Eusebia, que siempre serán mi inspiración

y sobre todo el motor de mi vida, a

quienes, con su amor, paciencia y fe me

guiaron en cada paso.

A las lecciones del pasado, la inspiración

del presente y los sueños que aún

construimos juntos.

Dedico este logro a ustedes, pilares de mi

vida, con profunda gratitud y la esperanza

de honrar siempre su legado.

## **Agradecimiento**

A Dios, por brindarme salud y darme una linda familia. A mis padres que me formaron con tanta humildad y bondad.

A mi familia, por su amor incondicional; y a mis mentores, por compartir su sabiduría.

A los docentes de la escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Tecnológica de los Andes, por su sabiduría, enseñanzas y experiencias han sido fundamental para mi desarrollo profesional.

A quienes han sido fuente de apoyo y guía en este camino, les expreso mi más sincera gratitud.

A mi asesor Dr. Wilfredo Soto Palomino, por su paciencia y su compromiso en la investigación, porque esta meta alcanzada es un reflejo del esfuerzo y confianza que me han brindado.

## Resumen

El objetivo de la presente investigación es analizar el impacto que produce la adición de vidrio sódico cálcico triturado y aserrín en las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo artesanal destinado a la mampostería no portante. El estudio se clasifica como una investigación aplicada, de enfoque cuantitativo, con método deductivo, nivel descriptivo–correlacional y diseño experimental. La población de estudio estuvo conformada por 160 ladrillos elaborados en el distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas, región Apurímac. Se evaluaron propiedades como variación dimensional, humedad natural, absorción de agua y resistencia a la compresión, comparando distintas proporciones de aditivos. Los resultados indicaron que, al incrementar la cantidad de vidrio y aserrín hasta un 10%, se observó un aumento en la variación dimensional, en la humedad natural (6.18%) y en la absorción de agua (36.11%). Sin embargo, la resistencia a la compresión mostró una disminución significativa, alcanzando 21.80 kg/cm<sup>2</sup> en comparación con los 59.94 kg/cm<sup>2</sup> del ladrillo patrón. En conclusión, la incorporación de materiales reciclados como vidrio triturado y aserrín afecta negativamente la resistencia mecánica y la durabilidad estructural de los ladrillos artesanales, aunque representa una alternativa sostenible para el aprovechamiento de residuos en la industria de la construcción.

Palabras clave: Vidrio reciclado, Aserrín de madera, Ladrillo artesanal, Propiedades mecánicas, Propiedades físicas.

### **Abstract**

The study evaluated the impact of addition crushed soda-lime glass and sawdust on the physical and mechanical properties of handmade bricks for non-load-bearing walls. This explanatory research with an experimental design involved a population of 160 bricks in Talavera, Apurímac. The results revealed that higher proportions of additives (10%) increased dimensional variation, natural moisture (6.18%), and water absorption (36.11%). However, compressive strength significantly decreased, reaching 21.80 kgf/cm<sup>2</sup> at the same additive level, compared to 59.94 kgf/cm<sup>2</sup> for the control bricks. It is concluded, the incorporation of materials such as glass and sawdust into the masonry units has adverse effects on the structural strength of the masonry units.

Key words: recycled glass, sawdust, handmade bricks, mechanical properties, physical properties.

## Índice general

Portada .....	<i>i</i>
Acta de sustentación.....	<i>ii</i>
Reporte de similitud .....	<i>iii</i>
Metadatos .....	<i>iv</i>
Dedicatoria .....	<i>v</i>
Agradecimiento.....	<i>vi</i>
Resumen .....	<i>vii</i>
Abstract.....	<i>viii</i>
Índice general.....	<i>ix</i>
Índice de tabla.....	<i>xi</i>
Índice de figuras .....	<i>xv</i>
Indice de Anexos .....	<i>xvii</i>
<b>I. Introducción .....</b>	<b>18</b>
<b>II.Planteamiento del problema .....</b>	<b>20</b>
2.1. Descripción y formulación del problema .....	20
2.2. Objetivos .....	22
2.2.1. <i>Objetivo General</i> .....	22
2.2.2. <i>Objetivos Específicos</i> .....	22
2.3. Justificación e importancia.....	23
2.4. Hipótesis.....	24
2.5. Variables .....	25
<b>III. Marco Teórico .....</b>	<b>32</b>
3.1. Antecedentes .....	32

3.2. Bases teóricas.....	36
3.3. Definición de términos.....	39
<b>IV. Metodología .....</b>	<b>43</b>
4.1. Tipo y nivel de investigación.....	43
4.2. Ámbito temporal y espacial.....	45
4.3. Población y muestra.....	45
4.4. Instrumentos.....	47
4.5. Procedimientos.....	48
4.6. Análisis de datos.....	49
4.7. Consideraciones éticas.....	49
<b>V. Resultados y discusión.....</b>	<b>51</b>
5.1. Propiedades físicas del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín.....	51
5.2. Propiedades mecánicas del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín.....	77
<b>VI. Conclusiones.....</b>	<b>92</b>
<b>VII. Recomendaciones.....</b>	<b>93</b>
<b>VIII. Referencias .....</b>	<b>94</b>
<b>IX. Anexos .....</b>	<b>98</b>

## Índice de tabla

<b>Tabla 1</b> Operacionalización de Variables .....	25
<b>Tabla 2</b> Datos observados de la Variación dimensional - Largo (cm) del ladrillo hecho a mano con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín.....	51
<b>Tabla 3</b> Análisis de varianza de los promedios de la Variación dimensional - Largo (cm) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín .....	52
<b>Tabla 4:</b> Comparación múltiple de Tukey de los promedios de la Variación dimensional - Largo (cm) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín .....	53
<b>Tabla 5:</b> Datos observados de la Variación dimensional - Alto (cm) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín.....	54
<b>Tabla 6.</b> Análisis de varianza de los promedios de la Variación dimensional - Alto (cm) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín.....	55
<b>Tabla 7.</b> Comparación múltiple de Tukey de los promedios de la Variación dimensional - Alto (cm) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín .....	56
<b>Tabla 8</b> Datos observados de la Variación dimensional - Ancho (cm) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín.....	57
<b>Tabla 9</b> Análisis de varianza de los promedios de la Variación dimensional - Ancho (cm) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín .....	58
<b>Tabla 10.</b> Comparación múltiple de Tukey de los promedios de la Variación dimensional - Ancho (cm) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín .....	59
<b>Tabla 11</b> Datos observados de la Alabeo - Cóncavo (mm) Cara de asiento A Diagonal 1 del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín .....	60
<b>Tabla 12</b> Análisis de varianza de los promedios de la Alabeo - Cóncavo (mm) Cara de asiento A Diagonal 1 del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín.....	62

<b>Tabla 13</b> Datos observados de la Alabeo - Cóncavo (mm) Cara de asiento A Diagonal 2 del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín .....	62
<b>Tabla 14</b> Análisis de varianza de los promedios de la Alabeo - Cóncavo (mm) Cara de asiento A Diagonal 2 del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín.....	64
<b>Tabla 15</b> Datos observados de la Alabeo - Cóncavo (mm) Cara de apoyo B Diagonal 1 del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín .....	64
<b>Tabla 16</b> Análisis de varianza de los promedios de la Alabeo - Cóncavo (mm) Cara de apoyo B Diagonal 1 del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín.....	66
<b>Tabla 17.</b> Datos observados de la Alabeo - Cóncavo (mm) Cara de apoyo B Diagonal 2 del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín .....	67
<b>Tabla 18</b> .Análisis de varianza de los promedios de la Alabeo - Cóncavo (mm) Cara de apoyo B Diagonal 2 del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín.....	69
<b>Tabla 19.</b> Datos observados de la Resistencia a la compresión (kgf/cm <sup>2</sup> ) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín .....	69
<b>Tabla 20</b> .Análisis de varianza de los promedios de la Resistencia a la compresión (kgf/cm <sup>2</sup> ) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín .....	71
<b>Tabla 21</b> .Comparación múltiple de Tukey de los promedios de la Resistencia a la compresión (kgf/cm <sup>2</sup> ) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín.....	72
<b>Tabla 22</b> .Datos observados de la Humedad natural (%) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín .....	72
<b>Tabla 23</b> Análisis de varianza de los promedios de la Humedad natural (%) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín .....	74

<b>Tabla 24</b> Datos observados de la Absorción (%) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín .....	75
<b>Tabla 25</b> Análisis de varianza de los promedios de la Absorción (%) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín.....	76
<b>Tabla 26</b> .Comparación múltiple de Tukey de los promedios de la Absorción (%) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín.....	77
<b>Tabla 27</b> .Datos observados de la Resistencia a la compresión axial (kgf/cm <sup>2</sup> ) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín .....	77
<b>Tabla 28</b> .Análisis de varianza de los promedios de la Resistencia a la compresión axial (kgf/cm <sup>2</sup> ) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín .....	79
<b>Tabla 29</b> .Comparación múltiple de Tukey de los promedios de la Resistencia a la compresión axial (kgf/cm <sup>2</sup> ) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín.....	79
<b>Tabla 30</b> Datos observados de la Módulo de elasticidad (Em) (kg/cm <sup>2</sup> ) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín .....	80
<b>Tabla 31</b> Análisis de varianza de los promedios de la Módulo de elasticidad (Em) (kg/cm <sup>2</sup> ) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín .....	81
<b>Tabla 32</b> Datos observados de la Resistencia diagonal (kgf/cm <sup>2</sup> ) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín .....	82
<b>Tabla 33</b> Análisis de varianza de los promedios de la Resistencia diagonal (kgf/cm <sup>2</sup> ) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín.....	83
<b>Tabla 34</b> Datos observados de la Módulo de corte (Gm) (kg/cm <sup>2</sup> ) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín .....	84
<b>Tabla 35</b> Análisis de varianza de los promedios de la Módulo de corte (Gm) (kg/cm <sup>2</sup> ) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín.....	85

<b>Tabla 36</b> Comparación múltiple de Tukey de los promedios de la Módulo de corte (Gm) (kg/cm <sup>2</sup> ) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín .....	86
<b>Tabla 37</b> Matriz de consistência .....	99
<b>Tabla 38</b> Operación de variables.....	102
<b>Tabla 39</b> Clase de unidad de albañilería para fines estructurales.....	106

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b> Promedios de la Variación dimensional - Largo (cm) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín .....	52
<b>Figura 2</b> Promedios de la Variación dimensional - Alto (cm) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín .....	54
<b>Figura 3</b> Promedios de la Variación dimensional - Ancho (cm) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín .....	57
<b>Figura 4</b> Promedios de la Alabeo - Cóncavo (mm) Cara de asiento A Diagonal 1 del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín.....	60
<b>Figura 5</b> Promedios de la Alabeo - Cóncavo (mm) Cara de asiento A Diagonal 2 del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín.....	62
<b>Figura 6</b> Promedios de la Alabeo - Cóncavo (mm) Cara de apoyo B Diagonal 1 del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín .....	64
<b>Figura 7</b> Promedios de la Alabeo - Cóncavo (mm) Cara de apoyo B Diagonal 2 del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín .....	67
<b>Figura 8</b> Promedios de la Resistencia a la compresión (kgf/cm <sup>2</sup> ) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín .....	70
<b>Figura 9</b> Promedios de la Humedad natural (%) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín .....	73
<b>Figura 10</b> Promedios de la Absorción (%) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín .....	75
<b>Figura 11</b> Promedios de la Resistencia a la compresión axial (kgf/cm <sup>2</sup> ) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín .....	78
<b>Figura 12</b> Promedios de la Módulo de elasticidad (Em) (kg/cm <sup>2</sup> ) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín .....	80

<b>Figura 13</b> Promedios de la Resistencia ( $\text{kgf/cm}^2$ ) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín .....	82
<b>Figura 14</b> Promedios de la Módulo de corte (Gm) ( $\text{kg/cm}^2$ ) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín .....	84

## Índice de Anexos

<b>Anexo 1</b> Matriz de consistencia. ....	99
<b>Anexo 2</b> Operacionalización de variables .....	102
<b>Anexo 3</b> Clase de unidad de albañilería para fines estructurales .....	106

## I. Introducción

La fabricación de ladrillos hechos a mano en Talavera, Apurímac, representa una práctica tradicional que, a pesar de su amplia adopción, enfrenta importantes limitaciones en términos de calidad técnica y cumplimiento de estándares. Estas deficiencias, como la falta de control en la mezcla y el proceso de fabricación, generan productos con baja resistencia mecánica y alta variabilidad dimensional, comprometiendo su aplicación en estructuras seguras y duraderas.

El presente estudio se centra en la incorporación de materiales reciclados, específicamente vidrio sódico cálcico triturado y aserrín, en la fabricación de ladrillos de fabricación manual, buscando refinar sus propiedades físicas y mecánicas. Además de abordar un problema técnico, esta investigación ofrece una solución sostenible al aprovechar materiales residuales, contribuyendo al desarrollo de prácticas constructivas más responsables con el medio ambiente.

La investigación está estructurada en los siguientes capítulos:

Capítulo I: Expone la problemática de los ladrillos artesanales en Talavera, justifica la importancia del estudio y plantea los objetivos e hipótesis de la investigación.

Capítulo II: Revisa los antecedentes relevantes, bases teóricas y normativas aplicables a los ladrillos artesanales y el uso de aditivos reciclados.

Capítulo III: Describe el diseño experimental, los procedimientos de muestreo, las técnicas de recopilación y evaluación de datos, así como las pruebas realizadas en laboratorio.

Capítulo IV: Presenta los hallazgos obtenidos respecto a las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos con diferentes distribuciones de aditivos, comparándolos con el ladrillo patrón.

Capítulo V: Resume los principales aportes de la investigación y propone lineamientos para la implementación de esta técnica y futuras investigaciones.

Este documento busca contribuir al desarrollo de la industria de materiales de construcción mediante la innovación en productos más sostenibles y funcionales.

## II. Planteamiento del problema

### 2.1. Descripción y formulación del problema

#### *Descripción*

En el INEI, según los reportes de estadística e informática se ha evidenciado que en el año 2017 en el departamento de Apurímac existen 276.223 viviendas, de las cuales el 80,25% (221.668) son de ladrillo, material que se ha elaborado artesanalmente y que ha tenido algunos impactos negativos respecto a su correcta elaboración de acuerdo a las normativas vigentes, en la provincia de Andahuaylas, en el zona de talavera los ladrillos son hechos por ladrilleros tradicionales y tenemos en cuenta que la elaboración del más del 50% los ladrillos de arcilla, lo realizan sin una elaboración técnica.

De acuerdo con estudio realizado por Gómez (2019), sobre el comité del sector ladrillero afirma que en el País de Colombia en la industria del ladrillo, los factores determinantes de los ladrillos artesanales e industriales, tuvieron como principal resultado el grado de informalidad notable, los factores de productividad fueron: que la mitad del 50.00 % de los ladrillos medidos en toneladas del País de Colombia son producidos por la gran industria en solo un 3.00 % de hornos, mientras que el 75.00 % restante se elaboran en un 97.00 % de hornos manuales, por el cual afirma el nivel de informalidad alto.

De acuerdo al INEI (2018), según el Censo Nacional de Población, Vivienda y de Comunidades indígenas del Instituto Nacional de Estadísticas e Informática, en Perú indica, sobre los factores determinantes se obtuvo en un informe de la rápida tasa de crecimiento de construcción de viviendas en 10 años aumento en 2536,707 viviendas lo cual indica el 35,5 % más que el censo anterior, el material del ladrillo o también los bloques son los numerosos en la construcción representan el 55,8 % y en comparación con el censo anterior muestra un incremento de 43,7 %, que en su mayoría no determina la calidad de dicho material, identificando fallas, construcción de viviendas informales, dando como resultado un diseño de vivienda simple e imperfecto.

Tal como se muestra en la Guía de buenas prácticas para ladrilleras artesanales, indica que en el proceso de mezcla a mano algunos artesanos incorporan otros agregados que puede ser aserrín, cascara de arroz o de café, cenizas, dejan reposar para que las mezclas se vuelva uniforme y adquiera textura para el moldeado, una vez combinado se moldea para darle la figura de ladrillo requeridos: solidos (King Kong) y huecos (pasteleros, para techos, etc.), al realizar su clasificación y despacho los ladrillos se descargan y se apilan en los alrededores del horno clasificándolos según el resultado de la cocción, cabe resaltar que las ladrilleras artesanales no realizan ensayos de calidad. (GUÍA DE BUENAS PRÁCTICAS PARA LADRILLERAS ARTESANALES, 2010). Se tiene en cuenta que la conformación de la combinación de la variable en las diferentes zonas del país y depende mayormente de la distinción de la arcilla como también de su accesibilidad, por ejemplo, en Arequipa el contenido de arcilla en la mezcla puede ser de 30%, mientras que en cuzco llega hasta el 70%, teniendo así diferentes tipos de resistencias con diferentes mezclas por ejemplo con la arena llega a una resistencia de 75.5 kgf/cm<sup>2</sup>, con aserrín 42.5 kgf/cm<sup>2</sup>, con ceniza 50.5 kgf/cm<sup>2</sup>.

### ***Formulación del problema de investigación***

El INEI (2017), en la provincia de Apurímac existen 276.223 viviendas, de las cuales el 80,25% (221.668) son de ladrillo, material que se ha elaborado artesanalmente y que ha tenido algunos impactos negativos respecto a su correcta elaboración de acuerdo a las normativas vigentes. La situación desfavorable y los antecedentes investigativos presentados han revelado el uso del ladrillo artesanal y el incremento de su productividad así mismo las deficiencias y fallas en su elaboración artesanal que pueden ser causados por distintos factores dentro de la elaboración y a su vez pueden limitad la productividad de la fabricación de los ladrillos tradicionales.

Por tal razón, es importante evaluar de forma científica, la situación problemática de la producción de los ladrillos tradicionales en sus características físicas-mecánicas, por consecuencia, por lo cual se formula los siguientes problemas.

***Problema general***

- ¿De qué manera se analizará el comportamiento de las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo artesanal al incorporar diferentes porcentajes de vidrio sódico cálcico triturado y aserrín para muros no portantes en Talavera, Apurímac, 2023?

***Problema específicos***

- ¿De qué manera se analizará el comportamiento de las propiedades mecánicas del ladrillo artesanal al incorporar diferentes porcentajes de vidrio sódico cálcico triturado y aserrín para muros no portantes en Talavera, Apurímac, 2023?
- ¿De qué manera se analizará el comportamiento de las propiedades físicas del ladrillo artesanal al incorporar diferentes porcentajes de vidrio sódico cálcico triturado y aserrín para muros no portantes en Talavera, Apurímac, 2023?

**2.2. Objetivos*****2.2.1. Objetivo General***

Analizar el comportamiento de las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo artesanal incorporando diferentes porcentajes de vidrio sódico cálcico triturado y aserrín para muros no portantes, en Talavera, Apurímac, 2023

***2.2.2. Objetivos Específicos***

a. Determinar el análisis del comportamiento de las propiedades mecánicas del ladrillo artesanal incorporando diferentes porcentajes de vidrio sódico cálcico triturado y aserrín para muros no portantes, en Talavera, Apurímac, 2023

b. Determinar el análisis del comportamiento de las propiedades físicas del ladrillo artesanal incorporando diferentes porcentajes de vidrio sódico cálcico triturado y aserrín para muros no portantes, en Talavera, Apurímac, 2023

## 2.3. Justificación e importancia

### *Justificación*

Ante la problemática mencionada, esta investigación se centró en el estudio de las unidades de albañilería, particularmente en relación con los ladrillos artesanales empleados en la albañilería no estructural, se planteó utilizar aserrín, teniendo en cuenta que se puede mejorar su uso de la fabricación de ladrillos hechos a mano incorporando en distintos proporción tanto aserrín y vidrio sódico cálcico triturado. La tesis a bordo de forma eficiente y subóptimo en el ámbito de la innovación local y en el sector de la construcción.

El uso del vidrio sódico cálcico triturado puede reforzar la resistencia por su propiedad de la durabilidad, así mismo el utilizar vidrio reciclado en la elaboración de ladrillos contribuye a la reducción de excedentes sólidos, promoviendo la sostenibilidad y la economía.

En este contexto, la tesis tuvo como objetivo principal comprender el comportamiento físico y mecánico del ladrillo artesanal elaborado con diferentes porciones de vidrio sódico cálcico triturado y aserrín, con total concordancia con los estándares mínimos establecidos Norma E.070 Albañilería (2019).

### *Importancia*

El siguiente estudio tiene la importancia a nivel metodológico de esta investigación incluye la realización experimental para fabricar ladrillos artesanales para analizar la inclusión de diversos porcentajes de vidrio sódico cálcico triturado y aserrín en las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo hecho a mano, esta técnica permite una evaluación sistemática y numérica de las posibles mejoras en las eficacia de los elementos constructivos, de tal forma que los resultados de esta investigación podrían emplearse como guía en otros estudios.

## 2.4. Hipótesis

### ***Hipótesis general***

- El análisis del comportamiento incorporando diferentes porcentajes de vidrio sódico cálcico triturado y aserrín influye en las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo artesanal.”

### ***Hipótesis específico***

- El análisis del comportamiento de las propiedades mecánicas del ladrillo artesanal al incorporar diferentes de vidrio sódico cálcico triturado y aserrín para muros no portantes en Talavera, Apurímac,2023
- El análisis del comportamiento de las propiedades físicas del ladrillo artesanal al incorporar diferentes de vidrio sódico cálcico triturado y aserrín para muros no portantes en Talavera, Apurímac,2023

2.5. Variables

Tabla 1

Operacionalización de Variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICE	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTO
<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>							
<b>Propiedades físicas y mecánicas del ladrillo</b>	<b>Propiedades Mecánicas</b> La resistencia a la compresión es una propiedad esencial del ladrillo que determina su calidad estructural. Esta propiedad, que es medible, permite definir el estado de un sistema físico y su nivel de calidad. (NTP 331.017, 1978, p.5).	Se llevaron a cabo pruebas de resistencia a la compresión y ensayos de resistencia a la compresión de prismas para evaluar las propiedades mecánicas de los ladrillos de arcilla artesanal. Estos estudios se realizaron mediante observación y utilizando protocolos en conformidad con la norma (NTP	Propiedades mecánicas	Kg/cm2	Resistencia a la compresión	razón	Fichas de recolección de datos
			Kg/cm2	Resistencia a la compresión axial	razón	Fichas de recolección de datos	
			Kg/cm2	Resistencia a la compresión diagonal	razón	Fichas de recolección de datos	

399.605 y  
399.613)

<b>Propiedades físicas.</b> Es cualquier propiedad que tiene la característica de ser medible, definen el estado de un sistema físico' (Osorio, 2015, párr. 2)	Se evaluaron las características físicas de los ladrillos de arcilla artesanal mediante pruebas de absorción, alabeo y variabilidad dimensional, utilizando la observación como técnica y protocolos en cumplimiento con la Norma Técnica Peruana E.070, y NTP 399.613.	Propiedades físicas	mm	Variación dimensional	razón	Fichas de recolección de datos
			mm	alabeo	razón	Fichas de recolección de datos
			%	absorción	razón	Fichas de recolección de datos

#### VARIABLE INDEPENDIENTE

<b>Ladrillos artesanales a base de vidrio sódico cálcico triturado y aserrín</b>	<b>Vidrio sódico cálcico triturado Reciclado:</b> El vidrio es un material que puede ser reciclado sin ningún límite de restricción, mediante el reciclaje del vidrio puede lograrse una reducción de combustible equivalente a 100 litros de petróleo por 1 tonelada de vidrio. (Careaga,1997, p.28).	Se va a incorporar diferentes porcentajes de vidrio sódico cálcico y aserrín triturado para mejorar las propiedades y características mecánicas y físicas en los ladrillos de arcilla elaborados en la ciudad de Andahuaylas	Porcentaje de vidrio sódico cálcico y aserrín triturado reciclado	Porcentajes ya razón indicados en las limitaciones.	Ficha de recolección de datos
--	--	--	---	---	-------------------------------

---

**Aserrín****reciclado:**

Conocido como aserrín, es un material de desecho que se obtiene del procesamiento de la madera. (Barrera Ochoa, 2016)

---

Nota: Elaboración propia

## **2.5.1. Propiedades del Ladrillo de Arcilla Artesanal**

### **2.5.1.1. Propiedades de variación dimensional, alabeo, resistencia a la compresión, densidad y absorción.**

#### **Variación dimensional**

“Según la Norma E.070 (2019), la variabilidad dimensional consiste en medir la altura de hiladas, también el ancho y largo de cada muestra y colocar los datos en el formato establecido y calculamos mediante la siguiente formula, se seguirá el procedimiento indicado en las NTP 399.613 y 399.604.”

La definición del cambio de tamaño incluye la definición del tamaño medio. Se realiza sobre la muestra que representa entre al menos la décima de unidades. Todas sus dimensiones se logran miden al milímetro más cercano, y los resultados se promedian, luego las medidas se separan por cada tamaño: por un lado, están las personas más grandes que las más pequeñas. Promediando por grupos (Casabonne, 2005).

Según la norma NTP 399.604 y NTP 399.613 (2015), la prueba de variabilidad dimensional consiste en poder medir la altura de las hiladas, también el ancho y largo de cada muestra y colocar los datos en el formato establecido y calculamos mediante la siguiente formula.

$$\%V = \frac{D N - DP * 100}{D N} \dots\dots (Ecuación N^{\circ}01)$$

Donde:

% V: Variación de dimensión en porcentaje

D N: Dimensión nominal

D P: Dimensión promedio de cada dimensión.

#### **Alabeo**

Según Norma E.070 (2019), el ensayo de alabeo, primero se realizara las mediciones de concavidad que tendremos en cuenta algunos puntos: se empleara la regla

en el lado longitudinal o en forma diagonal de las caras las grandes de la unidad se introducirá como el punto correspondiente la cuna hacia la cúspide de la máxima flecha, luego se obtendrá el dato de lectura teniendo en consideración la exactitud de 1 m m y así registrar la lectura obtenida, como segundo pase se realizara la medición de convexidad que tendremos algunos pasos en cuenta: se colocara uno de los bordes del instrumento de medición como regla por encima mediante la diagonal de una de caras más largas de la unidad y luego se introducirá en uno de los vértices una cuña considerando como un punto de apoyo sobre la diagonal, con la finalidad que en ambas cuñas se tendrá el mismo resultado. Luego se coloca la unidad sobre una superficie plana para obtener las mismas medidas en ambas cuñas de la unidad teniendo como apoyo en la diagonal y de acuerdo a estos datos obtenidos se verifica a que clasificación pertenece la unidad de albañilería, según indica procedimiento en las NTP 399,613.

Cuanto mayor sea la deformación (cóncava o convexa) de la piedra, mayor será el espesor de la junta. De manera similar, la creación de huecos en las áreas más combadas puede reducir la adherencia con el mortero. (San Bartolomé, 2018).

### **Resistencia a la compresión**

Según la Norma E.070 (2019), Se realizan las pruebas de laboratorio pertinentes según las especificaciones de las NTP 399.613 y 399.604 para hallar la capacidad de soportar a la compresión de los ladrillos.

Los ensayos de compresión generalmente se realizan en muestras secas de media unidad, pero algunos estándares recomiendan o aceptan la prueba de una unidad completa o unidades medias de dos con una carga a compresión aplicada a 90 grados a la superficie de apoyo (Casabonne, 2005)

### **Absorción**

Según Norma E.070 (2019), la absorción se coloca en el agua la unidad a una temperatura promedio que varía de 15.5% a 30°C, este espécimen se sumergirá por un

periodo de 24 horas, pasado el tiempo de 24 horas se extrae el agua en muestra y es procedido a secar con un paño húmedo toda el agua que se encuentra sobre la superficie del espécimen y luego se procede a pesar el espécimen con un aproximado de 1 gr. Tener en consideración de realizar el peso dentro de 5 min, se realizara los ensayos según NTP 399.604 y 399.613.

Según la norma NTE INEN 3040, (2016) el ensayo de la absorción se sumerge las probetas en agua a una temperatura aproximada de  $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ , hasta logras una masa contante (M1) .se aparta las probetas como mínimo de 15mm y verificando que las probetas tengan agua sobre ellas un mínimo de altura de 20mm.se tiene que sumergir como mínimo de 3 días. antes de realizar los siguientes pasos se tiene que secar la probeta 20 con un trapo humedecido y se verifica cuando la superficie del hormigón aparenta un color mate, luego se coloca cada una de las probetas encima de estufa considerando una separación de 15mm como mínimo, la temperatura aproximada será de  $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ , hasta que se logre una masa constante (M2).Se tendrá que considerar como mínimo de 3 días de secado y cuando las masa de las dos probetas sea inferior a al 0.1% y luego se tienes que dejar secar a una temperatura ambiente antes de realizar el siguiente pesado.

#### **2.5.1.2. Incorporación de vidrio sódico cálcico triturado y aserrín.**

Para Saumell (2014), data que: “el vidrio es duro, frágil y transparente o translúcido, sin estructura cristalina, obtenido por la fusión de arena silícea con potasa, que es moldeable a altas temperaturas” (p. 25). Conformado mediante una combinación de óxido de metal, cuyo principal compuesto es el dióxido de silicio, denominado silicio ( $\text{SiO}_4$ ).

Se le llama aserrín o aserrín; Son los residuos que se obtienen del proceso de conversión de la madera, y así se obtiene el aserrín (Barrera Ochoa, 2016).

### III. Marco Teórico

#### 3.1. Antecedentes

Como antecedentes internacionales citamos a Bolaños, (2015). En su tesis de posgrado en la Universidad Estatal Autónoma del país de México, el maestrando investiga sobre “alternativas de reciclaje de residuos de la construcción para la fabricación de ladrillos”, con dicha investigación se propuso buscar las alternativas sostenibles al reutilizar restos de las edificaciones, centrándose en esta investigación ante la producción de ladrillos como materia. En el estudio, se empleó una metodología tanto cuantitativa como descriptiva, logrando obtener los siguientes hallazgos: se ha determinado dentro del ámbito nacional y global, dentro de más de 81 naciones evaluadas, los restos excavados determinan el mayor índice de concepción, el segundo son los residuos de hormigón, los ladrillos son elaborados con una adición de remanentes de exploración, remanentes del podado, agregados reciclados y limo acuoso de la tunera, conformando una opción sostenible al beneficio de la construcción y residuos de construcción respetan con los factores de calidad situados en el reglamento de resistencias de 30 a 80 kg/cm<sup>2</sup>.

Se tiene antecedentes internacionales como es el caso de los autores (Ayala Navas, 2018) En su estudio sobre “producción de ladrillos utilizando vidrio reciclado y bio-ceniza hecho de plantas de procesamiento de aguas residuales”<sup>2</sup> (tesis de título). Universidad Santo Tomas Sede Tunja, teniendo la finalidad de evaluar el impacto de la combinación del vidrio reciclado y cenizas de bio escoria en una mezcla cerámica (arcilla - agua) sobre las características mecánicas de la producción de ladrillos macizos, se aplicó una metodología de carácter comparativo. En una población de los ladrillos de la zona. Y de muestra se analizó 127 muestras cocidas a 950°C, 1000°C y 1050°C, y 70, logrando los siguientes resultados de mayor durabilidad a la compresión; conformidad en los niveles (10 % y 20 %) con las exigencias de la norma técnica (NTC 4205). El efecto es muy positivo porque es la condición más fundamental se determinó la excelencia de los ladrillos y se

concluyó que la ceniza biosólida y el vidrio reutilizado es un componente que pueden sustituir parcialmente a la arcilla.

Se tiene antecedentes internacionales como es el caso de los autores González (González García & Lizárraga Mendiola, , 2015) . En su estudio sobre “la evaluación de las propiedades físico mecánicas de ladrillos de arcilla recocida elaborados con incorporación de residuos agrícolas, caso Chiapas, México”, (Artículo científico). De la Universidad Autónoma de Yucatán, teniendo como objetivo evaluar el soporte a la absorción y compresión del ladrillo estructural, para desarrollar se optó por una metodología experimental. Teniendo como población y muestra 50 kg de suelo arcilloso definido por el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.) por tamaño de grano, peso aparente y límite de plasticidad. Teniendo los siguientes resultados: El análisis estadístico se efectuó de manera similar a la resistencia a la compresión, antes de confirmarse que el número de ladrillos analizados era adecuado para lograr una confianza de 95°, con un error de comparación del 4%. Y concluyendo que puede agregar subproductos agrícolas en la producción de ladrillos. Esto es siempre alcanzable que la calidad de la arcilla lo permita. alcanzar la resistencia a la compresión de los ladrillos estructurales a base de arcilla utilizados en este trabajo, fue necesario aumentar la temperatura de cocción a aproximadamente 1000°C. En el caso de ladrillos no estructurados, la temperatura debe aumentarse a 900°C; este último permite la adición de monodosis y mazorcas de café hasta un 4% en peso.

(Mohamad, 2015), en su disertación “I production of fired red clay brick with sawdust additive” desarrollada en la Universidad Kuala Lumpur – Malasia. Con el fin de evaluar los efectos del aserrín como aditivo en la producción de ladrillos de arcilla cocida, se llevó a cabo un estudio experimental en el que se fabricaron unidades de ladrillo de arcilla cocida con los siguientes porcentajes de aserrín: 0%, 5% y 10%. Además, las muestras fueron quemadas a 3 temperaturas: 750°C, 850°C y 1000°C durante 3 horas en un horno. Finalmente, se realizaron pruebas de resistencia a la compresión en unidades, pruebas de

conductividad térmica y pruebas de absorción, obteniendo los siguientes resultados. En la prueba de resistencia a la compresión, las muestras con 0% de aserrín quemadas a 750°C lograron 1.6N/mm<sup>2</sup>, las muestras quemadas a 850°C alcanzaron 3.05N/mm<sup>2</sup> y las muestras quemadas a 1000°C consiguieron 6.15N/mm<sup>2</sup>. Estos resultados disminuyeron conforme aumentaba el porcentaje de aserrín, alcanzando para un 10% de aserrín 0.6N/mm<sup>2</sup>, 2.1N/mm<sup>2</sup> y 3N/mm<sup>2</sup> para las temperaturas de 750°C, 850°C y 1000°C respectivamente. El análisis de la conductividad térmica de las muestras revela que con un 0% de aserrín se alcanza la mayor conductividad térmica, obteniendo 0.55W/mK a 1000°C, mientras que con un 10% de aserrín se logra la menor conductividad térmica, alcanzando 0.24W/mK a 850°C. Los resultados de la prueba de absorción indican que con un 10% de aserrín se consigue una absorción del 32% en las muestras quemadas a 1000°C, mientras que la menor absorción se obtiene en las muestras con un 0% de aserrín quemadas a 750°C, logrando un 14.9% de absorción. El estudio concluye que la temperatura de quema de los ladrillos tiene una influencia directa en los resultados de las pruebas físicas y mecánicas, y que el porcentaje de aserrín añadido disminuye la resistencia, pero incrementa la absorción de los elementos fabricados

(Olave Cortez, 2017), en su estudio experimental, "Influencia del aserrín en la resistencia a la compresión y variación dimensional de ladrillos de arcilla cocida elaborados artesanalmente" llevado a cabo en la Universidad Cesar Vallejo. El objetivo del estudio fue determinar la resistencia axial y la variación dimensional de unidades producidas de manera artesanal. Se crearon 20 unidades siguiendo un proceso completamente artesanal, añadiendo diferentes proporciones de aserrín en su composición: 0%, 3%, 5% y 7%. El tipo de investigación realizada fue Experimental - Correlacional, obteniendo los siguientes resultados. Las muestras con 0% de aserrín alcanzaron una resistencia axial ( $f'_{b}$ ) de 62.77 Kg/cm<sup>2</sup> y la variación dimensional registrada fue: longitud = 1.5 mm, ancho = 1.6 mm, altura = 1.9 mm. Las muestras con 3% de aserrín obtuvieron una resistencia axial ( $f'_{b}$ ) de 62.54

Kg/cm<sup>2</sup> y la variación dimensional registrada fue: longitud = 1.9 mm, ancho = 2.1 mm, altura = 2.1 mm. Las muestras con 5% de aserrín mostraron una resistencia axial ( $f'_{b}$ ) de 62.07 Kg/cm<sup>2</sup> y la variación dimensional registrada fue: longitud = 2 mm, ancho = 2.9 mm, altura = 2.3 mm. Finalmente, las muestras con 7% de aserrín lograron una resistencia axial ( $f'_{b}$ ) de 61.43 Kg/cm<sup>2</sup> y la variación dimensional registrada fue: longitud = 2.4 mm, ancho = 3.6 mm, altura = 3.2 mm.

Milla, (2020) tuvo el objetivo principal es examinar las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo artesanal de arcilla con diferentes porcentajes de vidrio molido reciclado. La metodología empleada fue de diseño no experimental, con una población y muestra de 100 ladrillos. Se recolectaron datos mediante instrumentos como protocolos, que ayudaron en la evaluación de ensayos de resistencia a la compresión, resistencia a compresión por prisma, variabilidad dimensional, alabeo, densidad y absorción. Los ladrillos evaluados cumplían con la norma técnica E.070 Albañilería, NTP (399.613, 399.604, 331.040) ITINTEC (331.017, 331.019). Los resultados mostraron que al añadir un 10% de vidrio molido reciclado, la resistencia a compresión y a compresión por prisma aumentaban, superando al ladrillo patrón de arcilla. Esto indicaba que el vidrio molido reciclado mejoraba las propiedades mecánicas y físicas del ladrillo de arcilla, convirtiéndolo en una alternativa recomendada para construcciones con sistemas de albañilería confinada. Se concluyó que las unidades de albañilería cumplen con el requisito mínimo establecido por la NTP 331.017. Sin embargo, se debe tener en cuenta que el exceso de aserrín puede afectar negativamente las propiedades mecánicas y físicas del ladrillo de arcilla cocida.

Chávez, (2021) "El objetivo de su estudio fue analizar las características mecánicas de los bloques de concreto que incorporan vidrio triturado, utilizando una metodología con enfoque cuantitativo, tipos de aplicación y diseño cuasiexperimental. Se observó que al aumentar la cantidad de vidrio triturado en los bloques (5%, 10%, 15%, 20%), la absorción

disminuyó en un 3,3%, 7,4%, 15,4% y 19,9%, respectivamente, mientras que la succión se redujo en un 11,8%, 22,4%, 27,1% y 36,5%, respectivamente. Hubo una disminución en la resistencia a la compresión del ladrillo de concreto en un 3,0%, 7,8% y 15,9%, respectivamente, pero se notó un incremento del 19,1% en la resistencia a la compresión axial. Además, la resistencia a la compresión axial aumentó en un 6,7%, 13,4%, 29,1% y 35,2%, respectivamente, en relación con el ensayo del prisma de mampostería. Los resultados obtenidos mostraron un aumento en la resistencia a la flexión del 11,8%, 20,4%, 24,4% y 31,0%, respectivamente. En general, la inclusión de vidrio triturado tuvo un efecto positivo en las propiedades mecánicas tanto del prisma de ladrillo como de la mampostería.

### ***Con respecto a nivel local***

En el transcurso de la investigación, se llevó a cabo una exhaustiva revisión de antecedentes locales relacionados con el estudio estructural de mampostería confinada en ladrillo para viviendas emergentes en la zona de Pedernales. Sin embargo, lamentablemente, no se encontraron registros previos que abordaran específicamente este tema en el contexto local. Este vacío en la literatura existente resalta la relevancia y la necesidad de llevar a cabo este estudio para comprender mejor el comportamiento estructural de este tipo de viviendas en esta área específica.

## **3.2. Bases teóricas**

### ***Variación dimensional***

Según la Norma E070 (2016), la variabilidad dimensional consiste en medir la altura de hiladas, también el ancho y largo de cada muestra y colocar los datos en el formato establecido y calculamos mediante la siguiente fórmula, se seguirá el procedimiento indicado en las NTP 399.613 y 399.604.

La definición para cambio del tamaño incluye la definición del tamaño medio. Se realiza sobre la muestra que representa entre al menos la décima de unidades. Todas sus

dimensiones se logran miden al milímetro más cercano, y los resultados se promedian, luego las medidas se separan por cada tamaño: por un lado están las personas más grandes que las más pequeñas. Promediando por grupos (Gallegos & Casabonne, 2005).

Según la norma NTP 399.604 y NTP 399.613 (2015), la prueba de variabilidad dimensional consiste en poder medir la altura de las hiladas, también el ancho y largo de cada muestra y colocar los datos en el formato establecido y calculamos mediante la siguiente formula:

$$\%V = \frac{D N - DP * 100}{D N} \dots\dots\dots (\text{Ecuación N}^\circ 02)$$

Donde:

% V: Variación de dimensión en porcentaje

D N: Dimensión nominal

D P: Dimensión promedio de cada dimensión.

### ***Alabeo***

Según E070 (2016) el ensayo de alabeo, primero se realizara las mediciones de concavidad que tendremos en cuenta algunos puntos: se empleara la regla en el lado longitudinal o en forma diagonal de las caras las grandes de la unidad se introducirá como el punto correspondiente la cuna hacia la cúspide de la máxima flecha, luego se obtendrá el dato de lectura teniendo en consideración la exactitud de 1 m m y así registrar la lectura obtenida, como segundo pase se realizara la medición de convexidad que tendremos algunos pasos en cuenta: se colocara uno de los bordes del instrumento de medición como regla por encima mediante la diagonal de una de caras más largas de la unidad y luego se introducirá en uno de los vértices una cuña considerando como un punto de apoyo sobre la diagonal, con la finalidad que en ambas cuñas se tendrá el mismo resultado. Luego se coloca la unidad sobre una superficie plana para obtener las mismas medidas en ambas cuñas de la unidad teniendo como apoyo en la diagonal y de acuerdo a estos datos

obtenidos se verifica a que clasificación pertenece la unidad de albañilería, según indica procedimiento en las NTP 399,613.

Cuanto mayor sea la deformación (cóncava o convexa) de la piedra, mayor será el espesor de la junta. De manera similar, la creación de huecos en las áreas más combadas puede reducir la adherencia con el mortero, (San Bartolomé, 1994).

### ***Propiedades mecánicas del ladrillo de arcilla***

Propiedades mecánicas de resistencia a la compresión, resistencia a la compresión axial, resistencia a la compresión diagonal y absorción.

### ***Resistencia a la compresión***

Según la E070 (2016), Se realizan los ensayos de laboratorio correspondientes según las especificaciones de las NTP 399.613 y 399.604 para hallar la capacidad de soportar a la compresión de los ladrillos.

Las pruebas de compresión generalmente se realizan en muestras secas de media unidad, pero algunos estándares recomiendan o aceptan la prueba de una unidad completa o unidades medias de dos con una carga a compresión aplicada a 90 grados a la superficie de apoyo (Gallegos & Casabonne, 2005)

### ***Absorción***

Según E070 (2016), la absorción se coloca en el agua la unidad a una temperatura promedio que varía de 15.5% a 30°C, este espécimen se sumergirá por un periodo de 24 horas, pasado el tiempo de 24 horas se extrae el agua en muestra y es procedido a secar con un paño húmedo toda el agua que se encuentra sobre la superficie del espécimen y luego se procede a pesar el espécimen con un aproximado de 1 gr. Tener en consideración de realizar el peso dentro de 5 min, se realizara los ensayos según NTP 399.604 y 399.613.

Según la norma NTE INEN 3040, (2016) el ensayo de la absorción se sumerge las probetas en agua a una temperatura aproximada de  $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ , hasta logras una masa

contante (M1) .se aparta las probetas como mínimo de 15mm y verificando que las probetas tengan agua sobre ellas un mínimo de altura de 20mm.se tiene que sumergir como mínimo de 3 días. antes de realizar los siguientes pasos se tiene que secar la probeta 20 con un trapo humedecido y se verifica cuando la superficie del hormigón aparenta un color mate, luego se coloca cada una de las probetas encima de estufa considerando una separación de 15mm como mínimo, la temperatura aproximada será de  $(105 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ , hasta que se logre una masa constante (M2).Se tendrá que considerar como mínimo de 3 días de secado y cuando las masa de las dos probetas sea inferior a al 0.1% y luego se tienes que dejar secar a una temperatura ambiente antes de realizar el siguiente pesado.

### ***Vidrio sódico cálcico triturado y aserrín***

Para Saumell Saumell (2014), data que: “el vidrio es duro, frágil y transparente o translúcido, sin estructura cristalina, obtenido por la fusión de arena silícea con potasa, que es moldeable a altas temperaturas” (p. 25). Conformado por una combinación de compuestos metálicos, cuyo principal compuesto es el dióxido de silicio, denominado silicio ( $\text{SiO}_4$ ).

Se le llama aserrín o aserrín; Son los residuos que se obtienen del proceso de conversión de la madera, y así se obtiene el aserrín (Barrera Ochoa, 2016).

### **3.3. Definición de términos**

Arcilla: El material que se utiliza para fabricar ladrillos es la arcilla que se encuentra en el suelo, lo que hace que su extracción sea fácil y económica.(Chávez, 2017, pág. 20).

Ladrillo de arcilla: Se llaman cerámicos. Producidos bloques de cerámica, aunque en menor cantidad (Gallegos & Casabonne, 2005).

Características generales del ladrillo de arcilla: El ladrillo de arcilla suelen ser cerámicos. Son llamados o nombrados así por la cantidad de arcilla que conforman su

composición, en su mayoría son obtenidos al cocer en hornos artesanales en cantidades variables, para uso en muros de albañilería estructural y no estructural (Barranzuela, 2014).

Normatividad: Requisitos mínimos de investigación, contención, instrumentación, producción, gestión. En primer lugar, se define la inspección de calidad y seguimiento de las estructuras de albañilería. Apto para muros cerrados y muros armados (RNE, 2019).

Normas Técnicas Peruana: Las normas NTP 399604 y 399613 tienen por objeto especificar los procedimientos de muestreo y ensayo sobre las características físicas y mecánicas de los ladrillos de arcilla cocida empleados en albañilería.

Clasificación del ladrillo de arcilla: Se clasifican con la intención de optimizar su uso (Gallegos & Casabonne, 2005).

Una instrucción debe basarse en el rendimiento y las estructuras de poder. Debido características disponibles de gran variedad y los numerosos requisitos para cumplir con las condiciones locales, no es posible brindar un consejo general que se aplique a su totalidad de situaciones (Gallegos & Casabonne, 2005).

Para ladrillos secados al sol. Según sus características, el Reglamento Nacional de Edificación, Norma Técnica E.070 Albañilería, clasifica los ladrillos en cinco tipos.

- Tipo I: De durabilidad muy bajas y resistencia. Apto para aplicaciones de albañilería con requerimientos limitados (INACAL, NTP 331.017, 2015).
- Tipo II: De durabilidad bajas y resistencia. Es adecuado en edificios laborados en piedra con condiciones de funcionamiento moderadas. (INACAL, NTP 331.017, 2015).
- Tipo III: Fuerza media y resistencia al desgaste. Es adecuado para edificios de piedra normales. (INACAL, NTP 331.017, 2015)
- Tipo IV: Durabilidad altas y resistencia. Apto para construcciones de piedra en zonas secas (INACAL, NTP 331.017, 2015).

- Tipo V: Durabilidad muy altas y Resistencia. Es adecuado EN estructuras de piedra en situaciones de trabajo muy difíciles. (INACAL, NTP 331.017, 2015).

Propiedades físicas: Data la Norma E-070(2006), esta propiedad nos permite identificar y determinar a qué tipo de unidad pertenece, y esta característica se refiere específicamente a la resistencia que posee la unidad de mampostería: el alaveo, variabilidad dimensional de acuerdo a estas propiedades se identificara la resistencia de la unidad de trabajo (p. 15).

Propiedades mecánicas: Según la norma E-070 (2006), esta característica nos permite clasificar e identificar el tipo de unidad al que pertenece, y se refiere específicamente a su durabilidad que tiene la unidad de albañilería como: resistencia a la compresión, absorción, resistencia a la compresión Axial y resistencia a la compresión diagonal.

Unidades de albañilería: Según la norma E-070 (2006), el elemento de mampostería se identifica como un componente utilizado en la construcción, elaborado con arcillas y concreto simple, moldeado, comprimido y sometido a procesos de fabricación.

Resistencia: La resistencia es la capacidad física que tiene un elemento de tolerar y resistir una fuerza externa aplicada durante un tiempo definido, finalmente produciendo una pérdida de rendimiento y posteriormente recuperarse debido a la fuerza externa según el autor (Navarro, 1998).

Variación dimensional: Según la Norma E-070 (2006), define como variación dimensional el cálculo de la altura de las hiladas, el cual se manifiesta, el aumento del espesor de acuerdo a las necesidades el cual será de mayores variaciones y la junta del mortero por encima de la adhesión que varía de 9 a 12cm, obteniendo una unidad de albañilería de menor capacidad de resistencia.

Alabeo: Según la norma E-070 (2006), conocido como la concavidad y convexidad del bloque de concreto el cual determina el espesor de la junta, y esta determina la reducción del área de contacto entre el mortero que al formarse espacios vacíos en las partes más alabeadas. De la misma manera existe la probabilidad que ocurra fallas de flexión y tracción en la unidad de albañilería en la parte superior de la hilada

Absorción: Según la Norma E-070 (2006), el objetivo de este es dar a conocer la capacidad de absorción de las unidades que se ensayan alcanzando su estado de mayor saturación, donde se determinara la capacidad de absorción durante un periodo de 24 horas sumergido la muestra

El vidrio reciclado: Se puede ahorrar combustible a partir de 100 litros de aceite por tonelada de vidrio. Este ahorro energético se compensa con el transporte del vidrio al lugar de elaboración. Un 26% menos, reduciendo los gases contaminantes. (Careaga, 1997, p.28).

## **IV. Metodología**

### **4.1. Tipo y nivel de investigación**

En esta investigación, se analiza la adición de vidrio sódico cálcico triturado y aserrín en las características físicas y mecánicas del ladrillo artesanal, a través de los resultados obtenidos en laboratorio. Para ello, se emplea el método deductivo.

En el desarrollo de una investigación, se utilizan varios métodos, siendo lo más conocido el método deductivo inductivo. Estos dos enfoques ofrecen diferentes maneras de adquirir conocimientos y formular conclusiones. En el método deductivo, se parte de premisas generales o teorías establecidas, utilizando la lógica para llegar a conclusiones específicas. Este enfoque es predominante en estudios teóricos y en la formulación de hipótesis (Quezada, 2010)

El enfoque inductivo se fundamenta en la observación de casos específicos para derivar conclusiones generales. La inducción se centra en recopilar datos particulares, analizar patrones y extraer conclusiones generales basadas en la evidencia observada (Quezada, 2010). En relación con lo mencionado, la presente investigación emplea el enfoque deductivo, utilizando premisas válidas extraídas de investigaciones, libros y normas de albañilería que fueron aplicadas experimentalmente. El propósito es evaluar el comportamiento físico y mecánico de los ladrillos artesanales con diferentes porcentajes de vidrio sódico cálcico triturado y aserrín, obteniendo resultados que contribuyan al desarrollo de estos ladrillos.

La investigación cae dentro del tipo aplicada, ya que se centra en identificar, a través de la aplicación del conocimiento científico, los procedimientos, herramientas y técnicas que puedan satisfacer una necesidad específica y práctica. En este caso, se evaluaron los aspectos físicos y mecánicos de un material de construcción (ladrillos artesanales) con diferentes porcentajes de incorporación de vidrio sódico cálcico triturado y aserrín. (Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2014)

En el trabajo de investigación se desarrollará la recolección de datos numéricos pertenecientes al campo de la ingeniería, de esa forma se permitirá obtener porcentajes adecuados para la añadidura de vidrio sódico cálcico triturado y aserrín al ladrillo artesanal, considerándose de esta manera un enfoque cuantitativo.

Según el método de trabajo esta investigación es cuantitativa, la cual según Hernandez y otros (2014). Esta investigación trata de enfocarse en una serie de procesos sistemáticos, donde parte de la idea es establecer los límites y llegar a la meta, establecer hipótesis y variables, y usar métodos estadísticos y numéricos para probar la investigación, lo que hace que sea fácil de probar su problema.

El grado de estudio adoptado es de estudio descriptivo - correlacional, según Navales (2014), la investigación tiene relación descriptiva, de tal manera que se busca determinar las propiedades, características y los perfiles del fenómeno que se estudiará.

En esta investigación será de nivel descriptivo y relacional porque habrá una relación entre las dos variables en la influencia en las propiedades físicas y mecánicas en el ladrillo de arcilla incorporado con vidrio sódico cálcico triturado y aserrín reciclado.

#### Diseño de la investigación

La finalidad de este proyecto de investigación será estudiar la incorporación del vidrio sódico cálcico triturado y aserrín en las propiedades físicas mecánicas del ladrillo artesanal.

Según Hernandez y otros (2014), "Este trabajo de investigación utiliza un diseño experimental. Los diseños experimentales se utilizan cuando el investigador intenta determinar el posible impacto de una causa que se manipula. Para establecer esta influencia, es necesario manipular intencionalmente una o más variables independientes. La variable independiente se considera como la causa supuesta en una relación entre variables; es la condición antecedente, y el efecto causado por esta se denomina variable dependiente." (p.130).

En el trabajo de investigación de considerar los ensayos de laboratorio, según Rúa y Alzate (2012), el ensayo de laboratorios promueve la implementación de informes en donde se especifica el problema que se plantea, las hipótesis determinadas, y las variables que se están considerando como experimental para poder obtener resultados y respectivamente las conclusiones para posteriormente realizar una evaluación y poder dar respuesta al problema y utilizando criterios respecto al trabajo de investigación.

Como parte de este trabajo de investigación, se realizarán estudios de laboratorio sobre el efecto de los ladrillos de arcilla con la adición de vidrios rotos y aserrín reciclado, así como las pruebas necesarias para obtener las propiedades físicas y eléctricas de uso de herramientas adecuadas y equipamiento de ser capaz de intentar establecer objetivos.

#### **4.2. Ámbito temporal y espacial**

##### ***Ámbito temporal***

El presente trabajo de investigación se ejecutó en el año 2024, con un tiempo de ejecución, desde marzo del 2024 a agosto del 2024.

##### ***Ámbito espacial***

La investigación se llevó a cabo en la ciudad de Andahuaylas, región de Apurímac. Se centro la investigación en ladrillos artesanales. Se elaboro ladrillos artesanales con diferentes porcentajes de incorporación de vidrio sódico cálcico triturado y aserrín, con el fin de realizar un análisis comparativo con la muestra patrón, utilizando la NTP E-070.

#### **4.3. Población y muestra**

Sobre la población Chaudhuri (2018), debido a las restricciones de tiempo y recursos, frecuentemente no es viable evaluar a toda la población, por lo que es necesario trabajar con una muestra de la población. Esta consiste en un grupo de instancias que comparten ciertos criterios y están ubicadas en un lugar específico.

En esta investigación, la muestra de estudio estará compuesta por 160 unidades de albañilería, las cuales serán sometidas a pruebas para determinar sus propiedades físicas y mecánicas. Estos ladrillos artesanales, que incorporan vidrio sódico cálcico triturado y aserrín, provienen de la ciudad de Andahuaylas - Talavera, ubicada en la provincia de Andahuaylas, región de Apurímac.

Para Hernandez & Baptista (2014): “todos los elementos de la población tienen la misma posibilidad de ser escogidos para la muestra y se obtienen definiendo las características de la población y el tamaño de la muestra, y por medio de una selección aleatoria o mecánica de las unidades de muestreo/análisis” (p.175).

En la siguiente investigación la muestra es probabilística, porque se quiere precisar el tamaño de nuestra muestra:

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q} \dots\dots\dots \text{(Ecuación N°03)}$$

Donde:

n = Tamaño de muestra buscado.

N=150 = Tamaño de población.

Z= 1.96 = Parámetro estadístico de acuerdo a nivel de confianza de 95%

e = 3% = Error de estimación aceptado a máximo.

p= 50% = Probabilidad que ocurra el evento

q= (1-p) = 50% = Probabilidad que un no ocurra.

Al realizar el remplazo a la ecuación anterior el resultado es n=109, por lo cual se trabajó con el total de la población 160 ladrillos.

Según Ayala Navas & Lagos Pirajan (2018), teniendo en cuenta su análisis microscopia electrónica de barrido (SEM), que consiste en el análisis químico por medio de la

tecnica de fluorescencia de rayos x, una analisis mineralogico usando la difraccion de rayos x y como complemento se realizó un analisis físico el cual comprende un analisis granulométrico y analisis de plasticidad, en la evaluación técnica da el mejor resultado(70% arcilla, 10% ceniza de biosolido y 20% de vidrio) y para lo cual se propuso porcentaje de inclusion combinadas(0%, 10%, 20%), lo cual se empleará en la muestra,teniendo en cuenta que el 70% de arcilla no puede ser menos solo en ese rango.

Nuestro trabajo de investigación es de muestreo probabilístico-aleatorio simple porque se entiende que el principio de todas las unidades de población posee las mismas probabilidades de ser seleccionados para integrar una muestra, el muestreo aleatorio simple es el método que consiste extraer una parte de la población, de tal forma que la muestra de tamaño "n" poseen las mismas probabilidades de ser seleccionadas.

Según Arias (2006, p. 83) el muestreo probabilístico es aquel donde se conoce la probabilidad de cada elemento para integrar la muestra.

#### **4.4. Instrumentos**

Según Rivero, (2008) indica que una investigación no tiene sentido sin la técnica de recolección de datos, estas técnicas conducen a la verificación del problema planteado y recopilación de evidencias, utilizará la técnica de la observación que se aplica dentro de una investigación, cualquiera sea el método, esta técnica consiste en el registro sistemático, válido y confiable del comportamiento que se produce en los elementos de observación, ya que son técnicas no obstructivas debido a que el dispositivo de medición no influye en el comportamiento de los sujetos, ya que únicamente registra algo que fue provocado por otros factores externos al dispositivo de medición.

En este trabajo, se trabajó en contacto directo con los ladrillos de arcilla, objeto de estudio. Se utilizaron formatos para registrar los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio con ladrillos de arcilla que incorporan vidrio sódico cálcico triturado y aserrín.

Se observó cómo el vidrio sódico cálcico triturado y el aserrín reciclado influyen en las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo de arcilla.

Los resultados o datos que se obtendrán serán registrados en los siguientes formatos según la norma E-070 unidad de albañilería y NTP 399.604:

ENSAYO DE VARIACION DIMENSIONAL (Y NTP 399.613)

ENSAYO DE ALABEO (NTP 399.613)

ENSAYO DE ABSORCION (NTP 399.604 Y NTP 399.613)

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION (NTP 399.061)

#### **4.5. Procedimientos**

**Recopilación de datos:** Se recolecto datos experimentales relacionados con las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo artesanal. Estos datos pueden incluir resistencia a la compresión, absorción de agua, densidad, entre otros. **Organización de datos:** Organiza los datos recopilados en una tabla o base de datos. Asegúrate de etiquetar adecuadamente cada variable y observación.

**Análisis descriptivo:** Realiza un análisis descriptivo para resumir y presentar los datos de manera significativa. Esto puede incluir medidas de tendencia central (como la media, mediana y moda) y medidas de dispersión (como la desviación estándar y el rango). En el análisis de correlación se examina la relación entre las diferentes propiedades físicas y mecánicas del ladrillo. Se pueden emplear técnicas de correlación estadística para determinar si existe una relación lineal entre estas variables.

**Pruebas de hipótesis:** Si es relevante para tu investigación, puedes realizar pruebas de hipótesis para comparar las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo hecho a mano con las de otros materiales tradicionales o alternativos. **Modelado estadístico:** Si tienes suficientes datos y quieres explorar relaciones más complejas, puedes realizar análisis de

regresión para modelar la influencia de diferentes variables en las características del ladrillo.

Interpretación de resultados: Finalmente, interpreta los resultados obtenidos y saca conclusiones sobre el comportamiento del ladrillo artesanal a base de vidrio sódico cálcico triturado y aserrín para muros no portantes. Discute las implicaciones de tus hallazgos y sugiere posibles aplicaciones o mejoras en el proceso de fabricación, (Hernández, 2018)

#### **4.6. Análisis de datos**

(Rubín, 2016), describen que los análisis de datos son técnicas estadísticas que nos permiten comprender e inferir sobre una muestra o población, basándonos en el análisis de esta. En la presente investigación, los datos fueron procesados mediante gráficos y tablas estadísticas utilizando software Excel, lo cual facilitará la comprensión de los resultados en función de los objetivos planteados.

#### **4.7. Consideraciones éticas**

El comité de ética de investigación de la universidad tecnológica de los andes describe en la resolución del consejo universitario (2018), su finalidad es proteger la privacidad de la persona, la salud, el bienestar de las personas y su dignidad y entre otros, quienes participan en la presente investigación considerando la normativa y la ética a nivel nacional e internacional donde se considera como fundamental salvaguardar los derechos e intereses de las personas, sin dejar de considerar la excelencia de la investigación científica. Considerando los principios éticos del que esta investigación que se reflejan la norma o reglamento, actuando con toda sinceridad en el proceso de la investigación, respetando la privacidad de la persona, su bienestar, salud de las individuos implicadas en la investigación.

Esta investigación es realizada por mi persona Carinne Leydy Kari Román, estudiante de la carrera de ingeniería civil, en la universidad ya descrita en la portada del

trabajo de investigación realizaré el trabajo de investigación cumpliendo con la ética que manda la universidad y cumpliendo con mis principios éticos, respetando todo lo que rige el comité de ética de la investigación usadas durante el desarrollo de la investigación.

## V. Resultados y discusión

### 5.1. Propiedades físicas del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín

#### a) Variación dimensional - Largo (cm)

**Tabla 2**

*Datos observados de la Variación dimensional - Largo (cm) del ladrillo hecho a mano con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín*

Largo (cm)	Patrón	Vidrio al 2.5% + aserrín 2.5%	Vidrio al 5% + aserrín 5%	Vidrio al 10% + aserrín 10%
M1	19.93	20.05	20.08	20.10
M2	20.00	19.95	20.03	20.08
M3	19.95	20.03	19.98	20.18
M4	19.93	20.05	20.03	20.13
M5	20.00	20.03	20.10	20.20
M6	19.95	19.95	20.18	20.08
M7	19.98	20.03	20.08	20.23
M8	19.93	19.98	19.98	20.28
M9	19.98	20.00	20.08	20.13
M10	19.95	20.00	20.00	20.05
Suma	199.60	200.07	200.54	201.46
Promedio	19.96	20.01	20.05	20.15
Desv. Est.	0.028	0.037	0.062	0.074

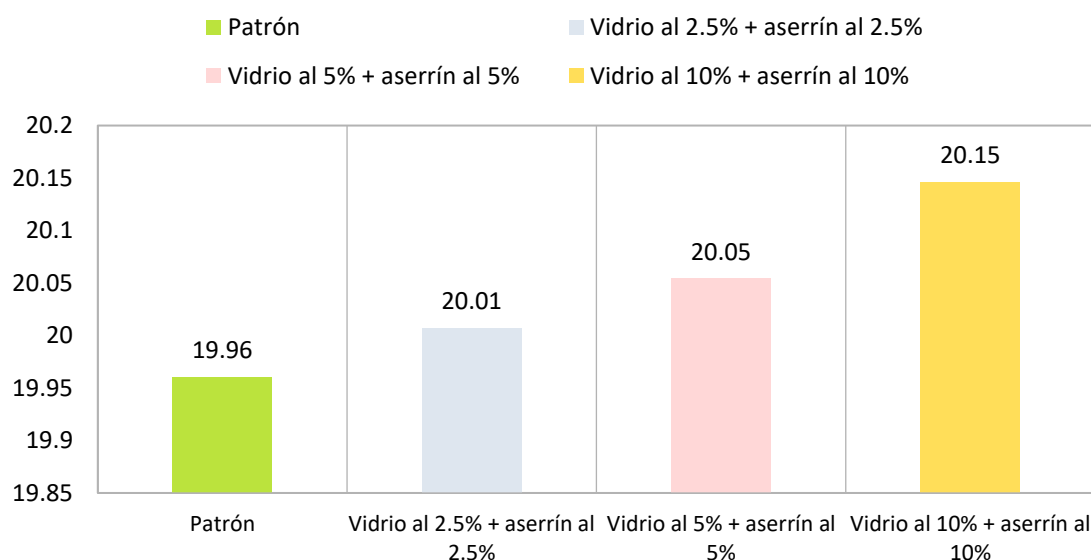
Nota: Elaboración propia

La tabla (2) y figura (1) La incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín en los ladrillos artesanales muestra un claro impacto en la variación dimensional del largo. Comparando los tratamientos, se observa que el patrón sin aditivos tiene un promedio de largo de 19.96 cm y una desviación estándar baja de 0.028, lo cual indica uniformidad y estabilidad en las dimensiones de los ladrillos producidos sin estos materiales adicionales. Al añadir vidrio y aserrín en una proporción del 2.5%, el largo promedio aumenta levemente a 20.01 cm, con una ligera elevación en la desviación estándar a 0.037. Este incremento sugiere una ligera expansión en las dimensiones de los ladrillos, aunque la variabilidad sigue siendo baja, lo que demuestra que la fabricación mantiene un buen grado de uniformidad en este nivel de adición. Con una proporción de 5% de vidrio y aserrín, el promedio del largo de los ladrillos sube a 20.05 cm, y la desviación estándar aumenta a 0.062. Esta tendencia sugiere que, además de incrementar el largo promedio, la adición de una mayor cantidad de vidrio y aserrín también incrementa la variabilidad en las dimensiones. Esto podría indicar que los materiales añadidos están comenzando a afectar

la estructura interna del ladrillo de manera más significativa. Finalmente, en el tratamiento con 10% de vidrio y aserrín, el promedio del largo alcanza su valor máximo de 20.15 cm, con la desviación estándar también más alta en 0.074. Este resultado señala que, al aumentar la proporción de vidrio y aserrín, no solo se incrementa el tamaño promedio de los ladrillos, sino que también se eleva la inestabilidad dimensional, sugiriendo una expansión menos uniforme.

### Figura 1:

*Promedios de la Variación dimensional - Largo (cm) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín*



Nota: Elaboración propia

### Tabla 3

*Análisis de varianza de los promedios de la Variación dimensional - Largo (cm) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín*

Origen de variaciones	SC	GL	CM	Fc	Valor P	Sig.
Tratamientos	0.19	3	0.06	21.76	0.000	**
Error	0.10	36	0.00			
Total	0.29	39				

Nota: Elaboración propia

La tabla (3) presenta el Análisis de Varianza (ANOVA) para la Variación Dimensional - Largo (cm) de los ladrillos hechos a mano con diferentes proporciones de incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín. Los resultados muestran que la suma de cuadrados de los tratamientos es 0.19 con 3 grados de libertad (GL), resultando

en un cuadrado medio (CM) de 0.06. El F calculado ( $F_c$ ) es 21.76 y el valor P es 0.000, lo que indica una alta significancia estadística (Sig. = \*\*). Dado que el valor P es menor que 0.05, se concluye que las diferentes proporciones de vidrio y aserrín tienen un efecto significativamente diferente en la variación dimensional del largo de los ladrillos hechos a mano. Dado que las proporciones de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín afectan significativamente la variación dimensional en el largo de los ladrillos, se recomienda limitar la incorporación de estos aditivos a no más del 2.5% cada uno. Esta proporción ayuda a mantener una consistencia dimensional adecuada, esencial para garantizar la condición y uniformidad de los ladrillos en aplicaciones constructivas.

**Tabla 4:**

*Comparación múltiple de Tukey de los promedios de la Variación dimensional - Largo (cm) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín*

Tratamiento	Promedio	Grupo
Vidrio al 10% + aserrín 10%	20.146	a
Vidrio al 5% + aserrín 5%	20.054	b
Vidrio al 2.5% + aserrín 2.5%	20.007	bc
Patrón	19.960	c

Nota: Elaboración propia

La tabla (4) muestra los resultados de la comparación múltiple de Tukey en la que se indican que el tratamiento con 10% de vidrio y 10% de aserrín presenta un promedio de 20.146 cm y pertenece al Grupo "a", lo que significa que este tratamiento es significativamente diferente del Patrón (promedio de 19.960 cm, Grupo "c"). Asimismo, el tratamiento con 5% de vidrio y 5% de aserrín tiene un promedio de 20.054 cm y pertenece al Grupo "b", también mostrando una diferencia significativa respecto al patrón. Por otro lado, el tratamiento con 2.5% de vidrio y 2.5% de aserrín presenta un promedio de 20.007 cm y se encuentra en el Grupo "bc", lo que indica que no es significativamente diferente ni del grupo "b" ni del grupo "c". Esto sugiere que a menores proporciones de aditivos, la variación dimensional del largo de los ladrillos se mantiene cercana al patrón original sin diferencias estadísticamente significativas.

**b) variación dimensional - Alto (cm)**

**Tabla 5:**

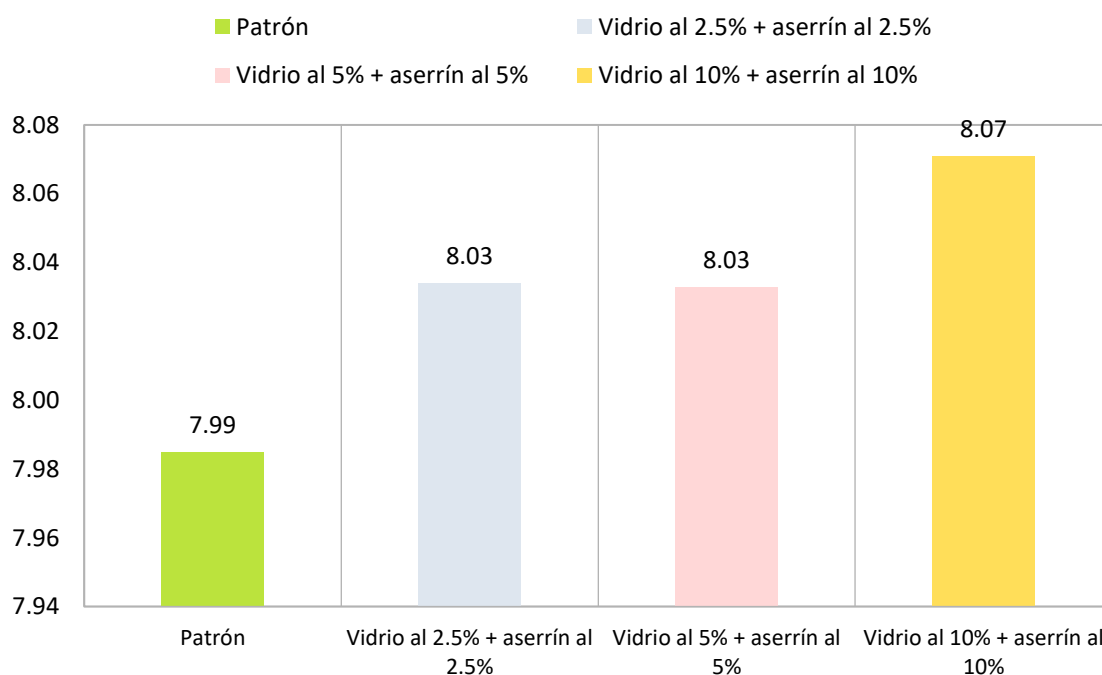
*Datos observados de la Variación dimensional - Alto (cm) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín*

Alto (cm)	Patrón	Vidrio al 2.5% + aserrín 2.5%	Vidrio al 5% + aserrín 5%	Vidrio al 10% + aserrín 10%
M-1	7.98	8.00	8.05	8.00
M-2	7.98	8.03	8.00	8.10
M-3	8.00	8.00	7.98	8.00
M-4	8.03	8.00	8.03	8.00
M-5	8.03	8.05	8.03	8.15
M-6	8.00	8.08	8.03	8.10
M-7	8.00	8.03	8.05	8.05
M-8	7.95	8.05	8.13	8.08
M-9	7.95	8.05	8.00	8.18
M-10	7.93	8.05	8.03	8.05
Suma	79.85	80.34	80.33	80.71
Promedio	7.99	8.03	8.03	8.07
Desv. Est.	0.034	0.027	0.041	0.063

Nota: Elaboración propia

**Figura 2:**

Promedios de la Variación dimensional - Alto (cm) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín



Nota: Elaboración propia

La tabla (5) y figura (2) muestran El ladrillo patrón presenta una altura promedio de 7.99 cm, mientras que las mezclas con aditivos alcanzan promedios de 8.03 cm para las

proporciones de 2.5% vidrio + 2.5% aserrín y 5% vidrio + 5% aserrín, y un promedio de 8.07 cm para la mezcla con 10% vidrio + 10% aserrín. Este incremento progresivo en la altura sugiere que la inclusión de los materiales contribuye a un ligero aumento en el volumen de los ladrillos, probablemente debido a la interacción de los elementos en el proceso de secado y cocción.

En términos de uniformidad, las desviaciones estándar indican que las mezclas con menor proporción de aditivos (especialmente la de 2.5% vidrio + 2.5% aserrín) presentan una mayor consistencia en la altura, con una desviación estándar de 0.027 cm, la más baja registrada. Por el contrario, la mezcla con 10% vidrio + 10% aserrín muestra la mayor variabilidad en las dimensiones, con una desviación estándar de 0.063 cm, lo que refleja una menor uniformidad. Este comportamiento podría estar relacionado con una distribución menos homogénea de los aditivos a mayor proporción o con alteraciones en la estructura del ladrillo durante el proceso de fabricación.

Es importante destacar que, aunque la mezcla con 10% vidrio + 10% aserrín logra el mayor promedio de altura, la dispersión en sus dimensiones podría representar un desafío en términos de calidad del producto final. Las mezclas con 2.5% y 5% de aditivos, en cambio, no solo mantienen promedios de altura estables, sino que también exhiben menor variabilidad, lo que las hace más confiables para una producción uniforme.

**Tabla 6.**

*Análisis de varianza de los promedios de la Variación dimensional - Alto (cm) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín*

Origen de variaciones	SC	GL	CM	Fc	Valor P	Sig.
Tratamientos	0.04	3	0.01	6.60	0.001	**
Error	0.07	36	0.00			
Total	0.11	39				

Nota: Elaboración propia

La tabla (6) muestra el Análisis de Varianza (ANOVA) de los promedios de la Variación Dimensional - Alto (cm) de los ladrillos hechos a mano con diferentes proporciones de incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín. Los resultados

muestran que la suma de cuadrados de los tratamientos es 0.04 con 3 grados de libertad (GL), lo que resulta en un cuadrado medio (CM) de 0.01. El F calculado ( $F_c$ ) es 6.60, y el valor P asociado es 0.001, representado con un nivel de significancia (Sig.) de \*\*, indicando que las diferencias observadas son altamente significativas estadísticamente, ya que el valor P es menor que 0.01, lo que confirma que las variaciones en las proporciones de vidrio y aserrín tienen un impacto significativo en la variación dimensional de la altura de los ladrillos artesanales.

**Tabla 7.**

*Comparación múltiple de Tukey de los promedios de la Variación dimensional - Alto (cm) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín*

Tratamiento	Promedio	Grupo
Vidrio al 10% + aserrín 10%	8.071	a
Vidrio al 2.5% + aserrín 2.5%	8.034	ab
Vidrio al 5% + aserrín 5%	8.033	ab
Patrón	7.985	b

Nota: Elaboración propia

La tabla (7) presenta los resultados de la Comparación Múltiple de Tukey para los promedios de la Variación Dimensional - Alto (cm) de los ladrillos hechos a mano con diferentes proporciones de incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín. Los resultados indican que el tratamiento con 10% de vidrio y 10% de aserrín tiene un promedio de 8.071 cm y pertenece al Grupo "a", lo que significa que este tratamiento es significativamente diferente del Patrón, que tiene un promedio de 7.985 cm y pertenece al Grupo "b". Por otro lado, los tratamientos con 2.5% + 2.5% y 5% + 5% de vidrio y aserrín presentan promedios de 8.034 cm y 8.033 cm respectivamente, y ambos pertenecen al Grupo "ab". Esto indica que estos tratamientos no son significativamente diferentes ni del Grupo "a" ni del Grupo "b", lo que sugiere que mantienen una variación dimensional en la altura similar al patrón original.

### c) Variación dimensional - Ancho (cm)

**Tabla 8**

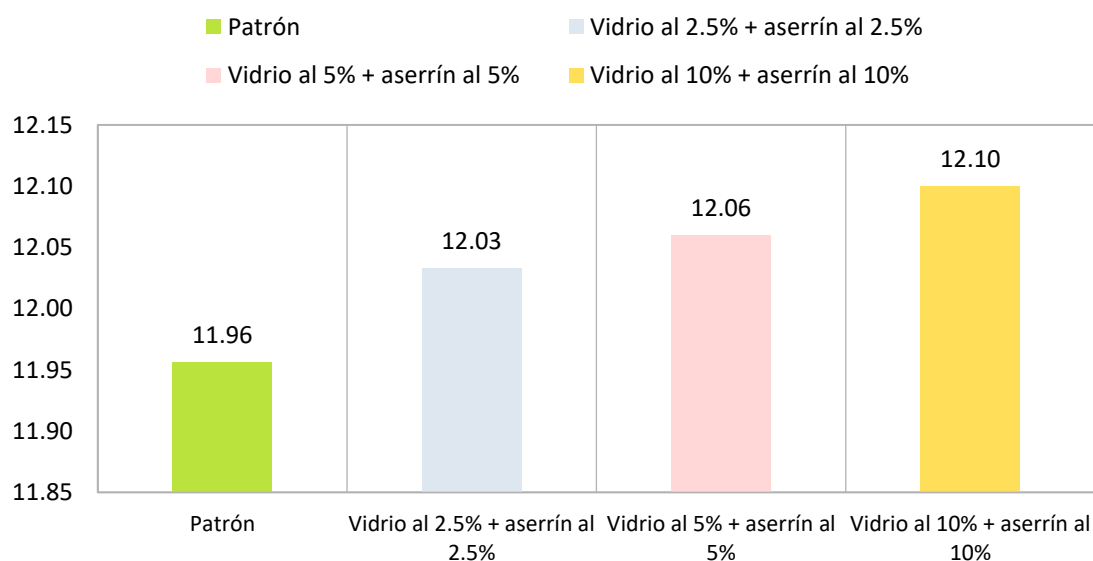
*Datos observados de la Variación dimensional - Ancho (cm) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín*

Ancho (cm)	Patrón	Vidrio al 2.5% + aserrín 2.5%	Vidrio al 5% + aserrín 5%	Vidrio al 10% + aserrín 10%
M-1	12.03	12.10	12.03	12.03
M-2	11.93	12.00	12.03	12.18
M-3	11.93	11.98	12.00	12.13
M-4	11.98	12.10	12.08	12.00
M-5	11.90	12.00	12.00	12.23
M-6	12.00	12.03	12.08	12.05
M-7	11.98	12.08	12.13	12.08
M-8	11.95	12.03	12.15	12.10
M-9	11.98	12.01	12.10	12.15
M-10	11.88	12.00	12.00	12.05
Suma	119.56	120.33	120.60	121.00
Promedio	11.96	12.03	12.06	12.10
Desv. Est.	0.046	0.044	0.056	0.072

Nota: Elaboración propia

**Figura 3:**

Promedios de la Variación dimensional - Ancho (cm) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín



Nota: Elaboración propia

La tabla (8) y figura (3) muestran los resultados de la variación dimensional en el ancho de los ladrillos artesanales muestran una tendencia similar a la observada en la altura, con un aumento progresivo en las dimensiones a medida que se incrementa la proporción de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín en la mezcla. El ladrillo patrón presenta

un ancho promedio de 11.96 cm, mientras que las mezclas con aditivos muestran un aumento en el ancho promedio, alcanzando 12.03 cm para la mezcla de 2.5% vidrio + 2.5% aserrín, 12.06 cm para 5% vidrio + 5% aserrín, y 12.10 cm para 10% vidrio + 10% aserrín. Este aumento progresivo en el ancho indica que los aditivos están provocando una expansión volumétrica de los ladrillos, posiblemente debido a su interacción con el proceso de secado o cocción, lo que lleva a una ligera mayor expansión en las dimensiones del producto final.

En cuanto a la uniformidad, la desviación estándar muestra que la mezcla con 2.5% vidrio + 2.5% aserrín tiene la menor variabilidad, con un valor de 0.044 cm, lo que sugiere una mayor consistencia en las dimensiones del ladrillo. En contraste, la mezcla con 10% vidrio + 10% aserrín muestra la mayor dispersión, con una desviación estándar de 0.072 cm, lo que indica una menor uniformidad en el ancho de los ladrillos. Esta variabilidad podría estar relacionada con una distribución menos homogénea de los aditivos en la mezcla o con diferencias en la contracción del material durante el secado y la cocción, factores que afectan la calidad y precisión de las dimensiones finales. Las mezclas con 2.5% y 5% de aditivos presentan un buen equilibrio entre el aumento del ancho promedio y la consistencia dimensional. Sin embargo, la mezcla con 10% de aditivos, aunque logra un mayor ancho promedio, presenta un nivel de variabilidad lo que podría influir en la calidad del producto final, especialmente si se busca una mayor uniformidad en la producción.

**Tabla 9**

*Análisis de varianza de los promedios de la Variación dimensional - Ancho (cm) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín*

Origen de variaciones	SC	GL	CM	Fc	Valor P	Sig.
Tratamientos	0.11	3	0.04	11.84	0.000	**
Error	0.11	36	0.00			
Total	0.22	39				

Nota: Elaboración propia

La tabla (9) presenta el Análisis de Varianza (ANOVA) de los promedios de la Variación Dimensional - Ancho (cm) de los ladrillos hechos a mano con diferentes proporciones de incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín. Los resultados muestran que la suma de cuadrados de los tratamientos es 0.11 con 3 grados de libertad (GL), lo que resulta en un cuadrado medio (CM) de 0.04. El F calculado ( $F_c$ ) es 11.84, y el valor P asociado es 0.000, significativamente menor que 0.01 indicando que las diferencias observadas en la variación dimensional del ancho entre los distintos tratamientos son altamente significativas estadísticamente. El F calculado supera ampliamente el F crítico (suponiendo que el F crítico sigue siendo 2.87, como en análisis previos), confirmando que las variaciones en las proporciones de vidrio y aserrín tienen un influencia significativo en la variación dimensional del ancho de los ladrillos artesanales.

**Tabla 10.**

*Comparación múltiple de Tukey de los promedios de la Variación dimensional - Ancho (cm) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín*

Tratamiento	Promedio	Grupo
Vidrio al 10% + aserrín 10%	12.100	a
Vidrio al 5% + aserrín 5%	12.060	a
Vidrio al 2.5% + aserrín 2.5%	12.033	a
Patrón	11.956	b

Nota: Elaboración propia

La tabla (10) presenta los resultados de la Comparación Múltiple de Tukey para los promedios de la Variación Dimensional - Alto (cm) de los ladrillos hechos a mano con diferentes proporciones de incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín. Los resultados indican que el tratamiento con 10% de vidrio y 10% de aserrín tiene un promedio de 8.071 cm y pertenece al Grupo "a", lo que significa que este tratamiento es significativamente diferente del Patrón, que tiene un promedio de 7.985 cm y pertenece al Grupo "b". Por otro lado, los tratamientos con 2.5% + 2.5% y 5% + 5% de vidrio y aserrín presentan promedios de 8.034 cm y 8.033 cm respectivamente, y ambos pertenecen al Grupo "ab". Esto indica que estos tratamientos no son significativamente diferentes ni del

Grupo "a" ni del Grupo "b", lo que sugiere que mantienen una variación dimensional en la altura similar al patrón original.

#### d) Alabeo - Cóncavo (mm) Cara de asiento A Diagonal 1

**Tabla 11**

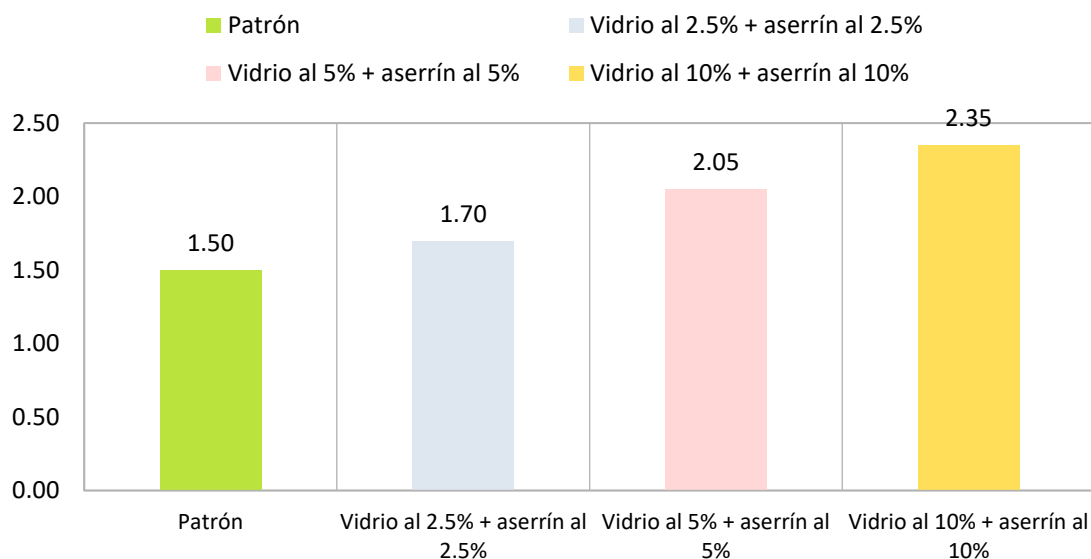
*Datos observados de la Alabeo - Cóncavo (mm) Cara de asiento A Diagonal 1 del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín*

Cóncavo (mm) Cara de asiento A D1	Patrón	Vidrio al 2.5% + aserrín 2.5%	Vidrio al 5% + aserrín 5%	Vidrio al 10% + aserrín 10%
M-1	1.00	1.00	2.50	3.50
M-2	1.00	2.00	2.00	2.00
M-3	2.50	1.00	1.50	2.50
M-4	1.00	2.00	1.00	1.50
M-5	2.00	1.50	1.00	2.50
M-6	1.00	1.00	3.50	2.00
M-7	1.00	2.00	1.50	3.50
M-8	2.00	2.00	2.00	2.00
M-9	1.50	2.00	2.50	3.50
M-10	2.00	2.50	3.00	0.50
Suma	15.00	17.00	20.50	23.50
Promedio	1.50	1.70	2.05	2.35
Desv. Est.	0.577	0.537	0.832	0.973

Nota: Elaboración propia

**Figura 4 .**

*Promedios de la Alabeo - Cóncavo (mm) Cara de asiento A Diagonal 1 del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín*



Nota: Elaboración propia

La tabla (11) y figura (4) muestran que el ladrillo patrón tiene un alabeo cóncavo promedio de 1.50 mm. Sin embargo, conforme se aumenta la proporción de vidrio y aserrín, el alabeo promedio también incrementa: 1.70 mm para la mezcla de 2.5% vidrio + 2.5% aserrín, 2.05 mm para 5% vidrio + 5% aserrín, y 2.35 mm para 10% vidrio + 10% aserrín. Este aumento en el alabeo sugiere que las mezclas con mayor cantidad de aditivos tienden a generar mayor deformación en la cara de asiento del ladrillo, posiblemente debido a la alteración en las propiedades físicas y térmicas de los materiales durante el proceso de cocción.

En cuanto a la consistencia, las desviaciones estándar indican que la variabilidad en los valores de alabeo también aumenta con la proporción de aditivos. El ladrillo patrón tiene una desviación estándar de 0.577 mm, mientras que las mezclas con 2.5% vidrio + 2.5% aserrín y 5% vidrio + 5% aserrín muestran desviaciones estándar de 0.537 mm y 0.832 mm, respectivamente. La mezcla con 10% vidrio + 10% aserrín presenta la mayor desviación estándar de 0.973 mm, lo que refleja una mayor dispersión en los valores de alabeo. Esta variabilidad podría ser atribuida a un control menos preciso en la distribución de los aditivos o a efectos térmicos irregulares durante la cocción, lo que afecta de manera más notoria a las mezclas con mayores concentraciones de vidrio y aserrín.

A medida que se incrementa la proporción de vidrio y aserrín en la mezcla, se observa un aumento tanto en el alabeo cóncavo promedio como en la variabilidad de este parámetro. Las mezclas con mayor proporción de aditivos (especialmente la de 10% vidrio + 10% aserrín) muestran un alabeo más pronunciado y menos homogéneo, lo que podría comprometer la calidad estructural de los ladrillos y su capacidad para ajustarse correctamente en las construcciones.

**Tabla 12**

*Análisis de varianza de los promedios de la Alabeo - Cóncavo (mm) Cara de asiento A Diagonal 1 del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín*

Origen de variaciones	SC	GL	CM	Fc	Valor P	Sig.
Tratamientos	4.25	3	1.42	2.51	0.074	NS
Error	20.35	36	0.57			
Total	24.60	39				

Nota: Elaboración propia

La tabla (12) presenta el Análisis de Varianza (ANOVA) de los promedios de la Alabeo - Cóncavo (mm) en la Cara de asiento A Diagonal 1 de los ladrillos hechos a mano con diferentes proporciones de incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín.

**e) alabeo - Cóncavo (mm) Cara de asiento A Diagonal 2**

**Tabla 13**

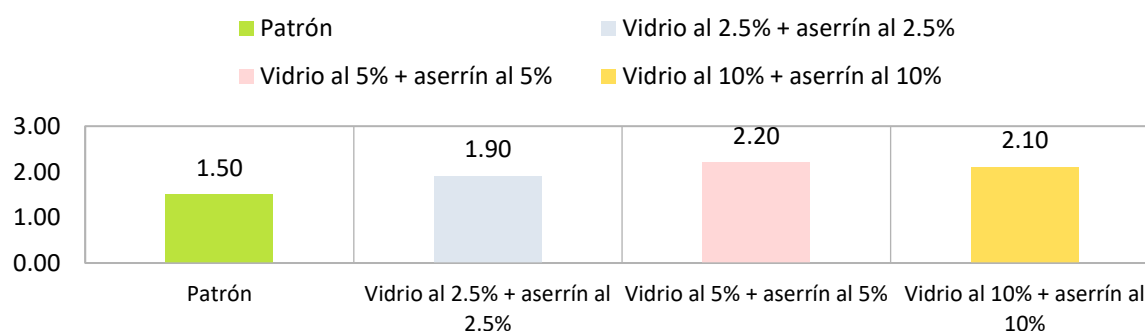
*Datos observados de la Alabeo - Cóncavo (mm) Cara de asiento A Diagonal 2 del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín*

Cóncavo (mm) Cara de asiento A D2	Patrón	Vidrio al 2.5% + aserrín 2.5%	Vidrio al 5% + aserrín 5%	Vidrio al 10% + aserrín 10%
M-1	1.00	3.00	3.00	3.00
M-2	2.50	1.00	1.00	1.00
M-3	1.00	1.00	2.00	2.50
M-4	1.00	2.50	1.00	2.00
M-5	2.50	1.00	3.00	1.00
M-6	1.50	1.50	3.00	1.50
M-7	1.00	1.00	1.50	2.00
M-8	2.00	3.50	2.50	3.50
M-9	1.50	1.50	2.50	2.00
M-10	1.00	3.00	2.50	2.50
Suma	15.00	19.00	22.00	21.00
Promedio	1.50	1.90	2.20	2.10
Desv. Est.	0.624	0.994	0.789	0.810

Nota: Elaboración propia

**Figura 5**

.Promedios de la Alabeo - Cóncavo (mm) Cara de asiento A Diagonal 2 del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín



Nota: Elaboración propia

La tabla (13) y figura (5) muestran que el ladrillo patrón tiene un alabeo cóncavo promedio de 1.50 mm. Al aumentar la proporción de vidrio y aserrín, el alabeo también aumenta, alcanzando 1.90 mm para la mezcla con 2.5% vidrio + 2.5% aserrín, 2.20 mm para 5% vidrio + 5% aserrín, y 2.10 mm para 10% vidrio + 10% aserrín. Este incremento en el alabeo cóncavo sugiere que la adición de estos materiales provoca mayor deformación en la superficie de los ladrillos, lo cual puede ser atribuido a la expansión de los componentes durante la cocción o a las interacciones con la humedad presente en la mezcla.

En cuanto a la variabilidad de los resultados, la desviación estándar refleja la dispersión de los valores de alabeo en las diferentes mezclas. El ladrillo patrón presenta una desviación estándar de 0.624 mm, lo que indica una variabilidad relativamente baja. Sin embargo, las mezclas con aditivos muestran desviaciones mayores: 0.994 mm para 2.5% vidrio + 2.5% aserrín, 0.789 mm para 5% vidrio + 5% aserrín, y 0.810 mm para 10% vidrio + 10% aserrín. A pesar de que la mezcla con 2.5% vidrio + 2.5% aserrín tiene la mayor dispersión, las mezclas con mayores concentraciones de aditivos tienden a mostrar una mayor estabilidad en los valores de alabeo, lo que sugiere que estos ladrillos tienen una deformación más controlada durante el proceso de fabricación.

A medida que la cantidad de aditivos aumenta, se observa no solo un incremento en el alabeo promedio, sino también una ligera mayor variabilidad en los valores obtenidos. Aunque las mezclas con 10% vidrio + 10% aserrín tienen un alabeo cóncavo ligeramente más alto en promedio, la variabilidad sigue siendo considerablemente más baja en comparación con la mezcla con 2.5% vidrio + 2.5% aserrín.

**Tabla 14**

*Análisis de varianza de los promedios de la Alabeo - Cóncavo (mm) Cara de asiento A Diagonal 2 del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín*

Origen de variaciones	SC	GL	CM	Fc	Valor P	Sig.
Tratamientos	2.88	3	0.96	1.44	0.246	NS
Error	23.90	36	0.66			
Total	26.78	39				

Nota: Elaboración propia

La tabla (14) presenta el Análisis de Varianza (ANOVA) de los promedios de la Alabeo - Cóncavo (mm) en la Cara de asiento A Diagonal 2 de los ladrillos artesanales con diferentes proporciones de incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín. Los resultados muestran que la suma de cuadrados de los tratamientos es 2.88 con 3 grados de libertad (GL), lo que resulta en un cuadrado medio (CM) de 0.96. El F calculado (Fc) es 1.44, y el valor P asociado es 0.246, clasificado como No Significativo (NS). Dado que el valor P es mayor que el umbral de 0.05, se concluye que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos en cuanto al alabeo cóncavo de la cara de asiento A Diagonal 2. Esto indica que las diferentes proporciones de vidrio y aserrín no tienen un impacto significativo en esta dimensión específica del alabeo.

#### **f) Alabeo – Cóncavo (mm) Cara de apoyo B Diagonal 1**

**Tabla 15**

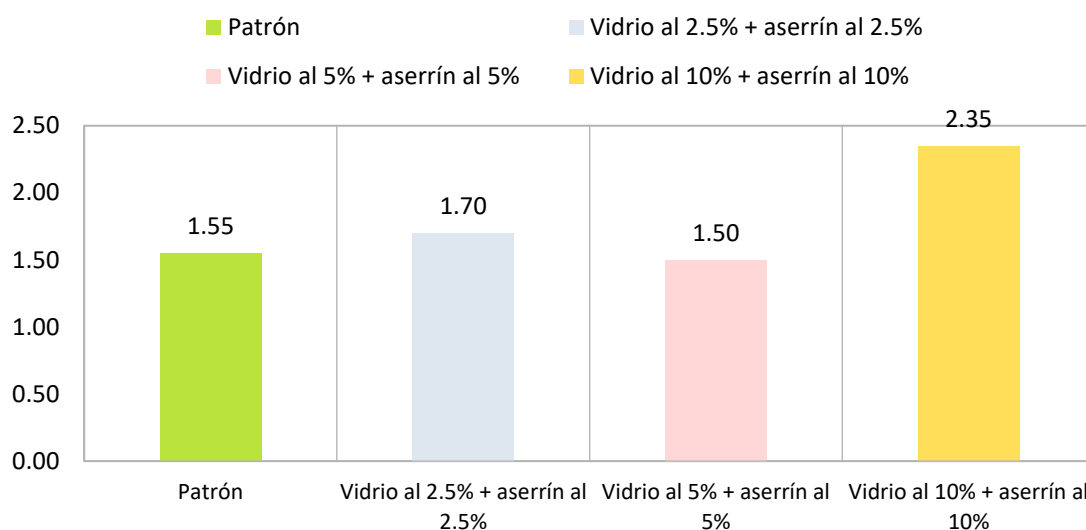
*Datos observados de la Alabeo – Cóncavo (mm) Cara de apoyo B Diagonal 1 del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín*

Cóncavo (mm) Cara de apoyo B		Vidrio al 2.5% + aserrín 2.5%	Vidrio al 5% + aserrín 5%	Vidrio al 10% + aserrín 10%
D1	Patrón			
M-1	1.50	2.00	1.00	2.50
M-2	2.00	2.00	2.50	1.00
M-3	1.00	1.00	1.00	4.00
M-4	1.00	1.00	3.50	1.00
M-5	2.50	2.50	0.50	4.00
M-6	2.00	3.00	2.50	2.00
M-7	1.50	1.50	1.00	3.00
M-8	1.00	2.00	1.50	3.00
M-9	1.00	1.00	1.00	1.00
M-10	2.00	1.00	0.50	2.00
Suma	15.50	17.00	15.00	23.50
Promedio	1.55	1.70	1.50	2.35
Desv. Est.	0.550	0.715	1.000	1.156

Nota: Elaboración propia

**Figura 6**

Promedios de la Alabeo – Cóncavo (mm) Cara de apoyo B Diagonal 1 del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín



Nota: Elaboración propia

La tabla (15) y figura (6) muestran los datos observados de Alabeo – Cóncavo (mm) en la Cara de apoyo B Diagonal 1 de los ladrillos hechos a mano con diferentes proporciones de incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín. Al analizar los promedios, el ladrillo control (sin aditivos) presenta un alabeo promedio de 1.55 mm con una desviación estándar de 0.550 mm, lo que indica una consistencia moderada en sus propiedades físicas. Al añadir un 2.5% de vidrio y 2.5% de aserrín, el alabeo promedio aumenta ligeramente a 1.70 mm y la desviación estándar incrementa a 0.715 mm, sugiriendo una ligera variabilidad adicional sin comprometer gravemente la estabilidad dimensional. Por otro lado, la mezcla con 5% de vidrio y 5% de aserrín muestra el alabeo más bajo (1.50 mm), aunque con una desviación estándar más alta (1.000 mm), lo que podría reflejar una optimización parcial de las propiedades físicas pero con mayor inconsistencia en los resultados. Finalmente, la incorporación del 10% de vidrio y 10% de aserrín resulta en el alabeo más alto (2.35 mm) y la mayor desviación estándar (1.156 mm), indicando una significativa deformación y variabilidad, lo que sugiere que altas proporciones de estos aditivos afectan negativamente la estabilidad dimensional de los ladrillos.

En términos de tendencias, se observa que la incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín en proporciones moderadas (2.5% + 2.5% y 5% + 5%) puede mantener o incluso mejorar ligeramente las propiedades físicas de los ladrillos sin causar deformaciones excesivas. Sin embargo, a proporciones más altas (10% + 10%), la calidad del ladrillo se ve comprometida debido al aumento significativo del alabeo y la variabilidad en los resultados. Se recomienda limitar la incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín a no más del 5% cada uno para equilibrar la mejora en las propiedades físicas con la estabilidad dimensional adecuada.

**Tabla 16**

*Análisis de varianza de los promedios de la Alabeo – Cóncavo (mm) Cara de apoyo B Diagonal 1 del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín*

Origen de variaciones	SC	GL	CM	Fc	Valor P	Sig.
Tratamientos	4.63	3	1.54	1.96	0.138	NS
Error	28.35	36	0.79			
Total	32.98	39				

Nota: Elaboración propia

La tabla (16) presenta el Análisis de Varianza (ANOVA) de los promedios de la Alabeo – Cóncavo (mm) en la Cara de apoyo B Diagonal 1 de los ladrillos hechos a mano con distintas proporciones de incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín. Los resultados indican que la suma de cuadrados de los tratamientos es 4.63 con 3 grados de libertad (GL), lo que da como resultado un cuadrado medio (CM) de 1.54. El F calculado (Fc) es 1.96, y el valor P asociado es 0.138, clasificado como No Significativo (NS). Dado que el valor P es mayor a 0.05, se concluye que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos en cuanto al alabeo cóncavo de la Cara de apoyo B Diagonal 1. Esto sugiere que las diferentes proporciones de vidrio y aserrín no tienen un impacto significativo en esta dimensión específica del alabeo del ladrillo artesanal.

**g) Alabeo – Cóncavo (mm) Cara de apoyo B Diagonal 2**

**Tabla 17.**

*Datos observados de la Alabeo – Cóncavo (mm) Cara de apoyo B Diagonal 2 del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín*

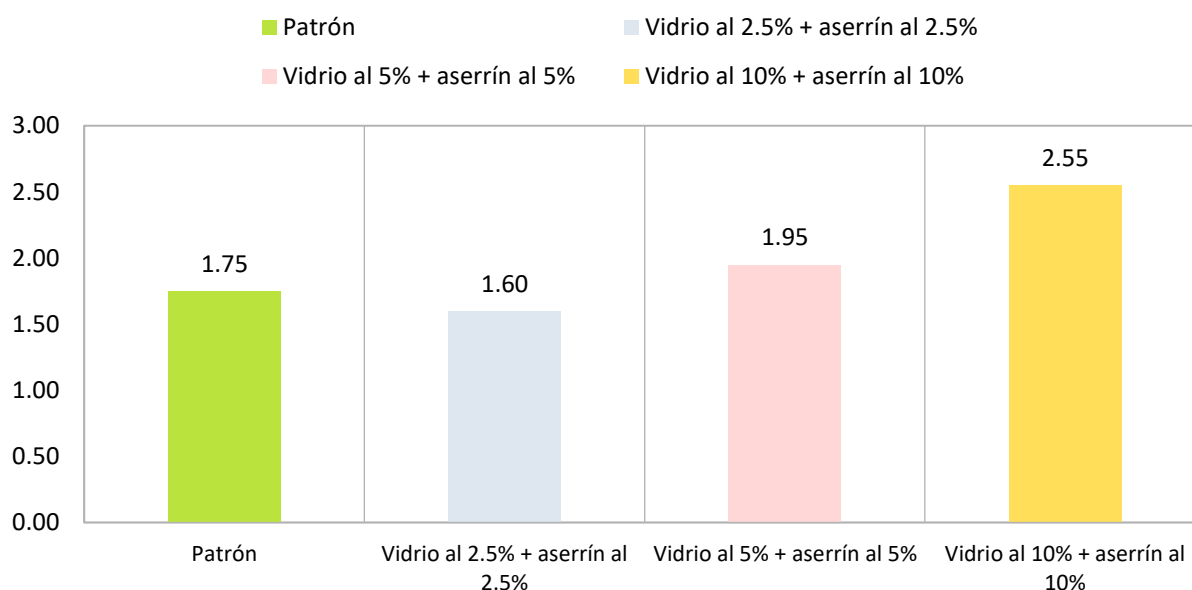
Cóncavo (mm) Cara de apoyo B D2	Patrón	Vidrio al 2.5% + aserrín 2.5%	Vidrio al 5% + aserrín 5%	Vidrio al 10% + aserrín 10%
M-1	1.00	1.00	1.00	2.50
M-2	2.50	1.50	3.00	1.00
M-3	2.00	1.00	1.00	3.50
M-4	1.00	1.00	3.00	1.00
M-5	3.00	3.00	1.00	3.50
M-6	1.00	2.50	3.00	2.50
M-7	2.00	2.00	1.00	3.50
M-8	1.00	1.00	2.50	3.50
M-9	2.50	2.00	2.00	2.00
M-10	1.50	1.00	2.00	2.50
Suma	17.50	16.00	19.50	25.50
Promedio	1.75	1.60	1.95	2.55
Desv. Est.	0.755	0.738	0.896	0.985

Nota: Elaboración propia

La tabla (17) presenta el Análisis de Varianza (ANOVA) de los promedios de la Alabeo – Cóncavo (mm) en la Cara de apoyo B Diagonal 2 de los ladrillos hechos a mano con distintas porciones de incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín. Los resultados indican que la suma de cuadrados de los tratamientos es 5.22 con 3 grados de libertad (GL), lo que da como resultado un cuadrado medio (CM) de 1.74. El F calculado (Fc) es 2.41, y el valor P asociado es 0.0896, clasificado como No Significativo (NS). Dado que el valor P es mayor que el umbral de 0.05, se concluye que no hay diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos en relación a al alabeo cóncavo de la Cara de apoyo B Diagonal 2. Esto sugiere que las diferentes proporciones de vidrio y aserrín no tienen un impacto significativo en esta dimensión específica del alabeo del ladrillo artesanal.

**Figura 7**

Promedios de la Alabeo – Cóncavo (mm) Cara de apoyo B Diagonal 2 del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín



Nota: Elaboración propia

La tabla (17) y figura (7) muestran los datos observados de Alabeo – Cóncavo (mm) en la Cara de apoyo B Diagonal 2 de los ladrillos hechos a mano con diferentes proporciones de incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín. Analizando los promedios, el ladrillo control (sin aditivos) presenta un alabeo promedio de 1.75 mm con una desviación estándar de 0.755 mm, lo que indica una variabilidad moderada en sus propiedades físicas. Al incorporar un 2.5% de vidrio y 2.5% de aserrín, el alabeo promedio disminuye a 1.60 mm, junto con una ligera reducción en la desviación estándar (0.738 mm), lo que sugiere una mejora en la estabilidad dimensional y una menor variabilidad en comparación con el control. Por otro lado, la mezcla con 5% de vidrio y 5% de aserrín muestra un alabeo promedio de 1.95 mm y una desviación estándar de 0.896 mm, indicando una ligera incrementación en el alabeo y una mayor variabilidad respecto al control. Finalmente, la mezcla con 10% de vidrio y 10% de aserrín registra el alabeo más alto (2.55 mm) y la mayor desviación estándar (0.985 mm), lo que denota una significativa deformación y variabilidad en las propiedades físicas de los ladrillos, reflejando una menor estabilidad dimensional a proporciones elevadas de aditivos.

**Tabla 18 .**

*Análisis de varianza de los promedios de la Alabeo – Cóncavo (mm) Cara de apoyo B Diagonal 2 del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín*

Origen de variaciones	SC	GL	CM	Fc	Valor P	Sig.
Tratamientos	5.22	3	1.74	2.41	0.083	NS
Error	25.98	36	0.72			
Total	31.19	39				

Nota: Elaboración propia

La tabla (18) presenta el Análisis de Varianza (ANOVA) de los promedios de la Alabeo – Cóncavo (mm) en la Cara de apoyo B Diagonal 2 de los ladrillos hechos a mano con distintas porciones de incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín. Los resultados indican que la suma de cuadrados de los tratamientos es 5.22 con 3 grados de libertad (GL), lo que da como resultado un cuadrado medio (CM) de 1.74. El F calculado (Fc) es 2.41, y el valor P asociado es 0.083, clasificado como No Significativo (NS). Dado que el valor P es mayor que el umbral de 0.05, se concluye que no hay diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos en relación a al alabeo cóncavo de la Cara de apoyo B Diagonal 2. Esto sugiere que las diferentes proporciones de vidrio y aserrín no tienen un impacto significativo en esta dimensión específica del alabeo del ladrillo artesanal.

#### **h) Resistencia a la compresión (kgf/cm<sup>2</sup>)**

**Tabla 19.**

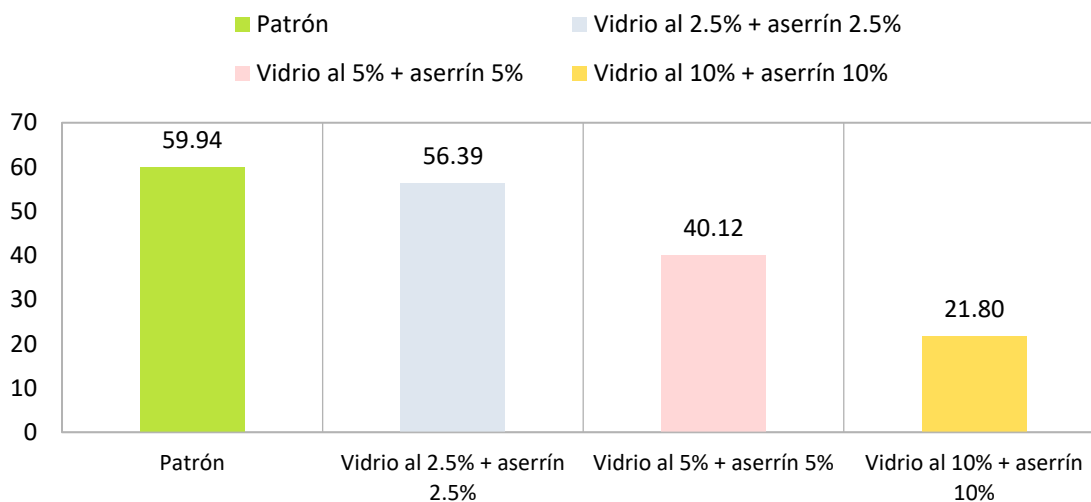
*Datos observados de la Resistencia a la compresión (kgf/cm<sup>2</sup>) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín*

Resistencia a la compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )	la Patrón	Vidrio al 2.5% + aserrín 2.5%	Vidrio al 5% + aserrín 5%	Vidrio al 10% + aserrín 10%
M-1	61.57	57.17	42.78	22.68
M-2	60.16	56.43	39.73	28.26
M-3	61.25	57.78	42.68	21.92
M-4	57.67	56.54	38.51	21.78
M-5	60.28	53.95	36.51	13.13
M-6	58.71	56.45	40.53	23.05
Suma	359.64	338.32	240.74	130.82
Promedio	59.94	56.39	40.12	21.80
Desv. Est.	1.497	1.306	2.432	4.884

Nota: Elaboración propia

**Figura 8**

Promedios de la Resistencia a la compresión (kgf/cm<sup>2</sup>) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín



Nota: Elaboración propia

La tabla (19) y figura (8) presentan los datos observados de la Resistencia a la compresión (kgf/cm<sup>2</sup>) de los ladrillos hechos a mano con distintas porciones de incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín. Al analizar los promedios, el ladrillo control (sin aditivos) muestra una resistencia a la compresión promedio de 59.94 kgf/cm<sup>2</sup> con una desviación estándar de 1.497 kgf/cm<sup>2</sup>, indicando una alta consistencia en sus propiedades mecánicas. Al incorporar un 2.5% de vidrio y 2.5% de aserrín, la resistencia disminuye ligeramente a 56.39 kgf/cm<sup>2</sup>, con una desviación estándar de 1.306 kgf/cm<sup>2</sup>, lo que sugiere una leve reducción en la resistencia mecánica, pero manteniendo una variabilidad baja, similar al control. Sin embargo, al aumentar la proporción a 5% de vidrio y 5% de aserrín, la resistencia a la compresión disminuye considerablemente a 40.12 kgf/cm<sup>2</sup>, acompañada de una mayor desviación estándar de 2.432 kgf/cm<sup>2</sup>, reflejando una disminución significativa en la resistencia mecánica y una mayor variabilidad en los resultados. Finalmente, la mezcla con 10% de vidrio y 10% de aserrín exhibe la resistencia a la compresión más baja (21.80 kgf/cm<sup>2</sup>) y la mayor desviación estándar (4.884 kgf/cm<sup>2</sup>), lo que indica una notable reducción en la capacidad de carga de los ladrillos y una alta inconsistencia en sus propiedades mecánicas.

En términos de tendencias, se nota que la incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín tiene un impacto negativo directo sobre la resistencia a la compresión de los ladrillos artesanales, y este efecto se intensifica con el aumento de la proporción de aditivos. Mientras que una pequeña incorporación (2.5% + 2.5%) mantiene una resistencia relativamente cercana al control, incrementos mayores en la proporción de aditivos resultan en una disminución sustancial de la resistencia mecánica, lo cual podría comprometer la integridad estructural de los ladrillos en aplicaciones prácticas. Se recomienda limitar la incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín a no más del 2.5% cada uno en la mezcla del ladrillo artesanal. Esta proporción permite aprovechar los beneficios ambientales y económicos de reutilizar materiales residuales sin sacrificar significativamente la resistencia a la compresión necesaria para garantizar la durabilidad y seguridad de las construcciones.

**Tabla 20 .**

*Análisis de varianza de los promedios de la Resistencia a la compresión (kgf/cm<sup>2</sup>) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín*

Origen de variaciones	SC	GL	CM	Fc	Valor P	Sig.
Tratamientos	5,483.79	3	1,827.93	216.90	0.000	**
Error	168.55	20	8.43			
Total	5,652.34	23				

Nota: Elaboración propia

La tabla (20) presenta muestra el Análisis de Varianza (ANOVA) para la Resistencia a la Compresión (kgf/cm<sup>2</sup>) de los ladrillos hechos a mano con distintas porciones de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín. Los resultados indican que la suma de cuadrados de los tratamientos es 5,483.79 con 3 grados de libertad (GL), resultando en un cuadrado medio (CM) de 1,827.93. El F calculado (Fc) es 216.90 y el valor P es 0.000, lo que demuestra una alta significancia estadística (Sig. = \*\*). Esto significa que las diferentes proporciones de vidrio y aserrín tienen un efecto significativamente diferente en la resistencia a la compresión de los ladrillos. Por lo tanto se evidencia que las diferencias observadas entre los tratamientos no son debidas al azar, sino que están directamente relacionadas con las variaciones en las proporciones de los aditivos utilizados.

**Tabla 21 .**

*Comparación múltiple de Tukey de los promedios de la Resistencia a la compresión (kgf/cm<sup>2</sup>) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín*

Tratamiento	Promedio	Grupo
Patrón	59.940	a
Vidrio al 2.5% + aserrín 2.5%	56.387	a
Vidrio al 5% + aserrín 5%	40.123	b
Vidrio al 10% + aserrín 10%	21.803	c

Nota: Elaboración propia

La tabla (21) presenta los resultados de la Comparación Múltiple de Tukey para los promedios de la Resistencia a la Compresión (kgf/cm<sup>2</sup>) de los ladrillos artesanales con diferentes proporciones de incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín. Los resultados muestran que tanto el Patrón original con una resistencia de 59.940 kgf/cm<sup>2</sup> como el tratamiento con 2.5% de vidrio y 2.5% de aserrín con una resistencia de 56.387 kgf/cm<sup>2</sup> pertenecen al Grupo "a". Esto indica que no hay una diferencia estadísticamente relevante entre estos dos tratamientos en términos de resistencia a la compresión. Por otro lado, el tratamiento con 5% de vidrio y 5% de aserrín pertenece al Grupo "b" con una resistencia de 40.123 kgf/cm<sup>2</sup>, y el tratamiento con 10% de vidrio y 10% de aserrín está en el Grupo "c" con una resistencia de 21.803 kgf/cm<sup>2</sup>. Las diferencias entre los grupos "a", "b" y "c" son estadísticamente significativas, lo que demuestra que a medida que aumenta la proporción de aditivos, la resistencia a la compresión de los ladrillos disminuye de manera notable.

#### **i) Humedad natural (%)**

**Tabla 22**

*.Datos observados de la Humedad natural (%) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín*

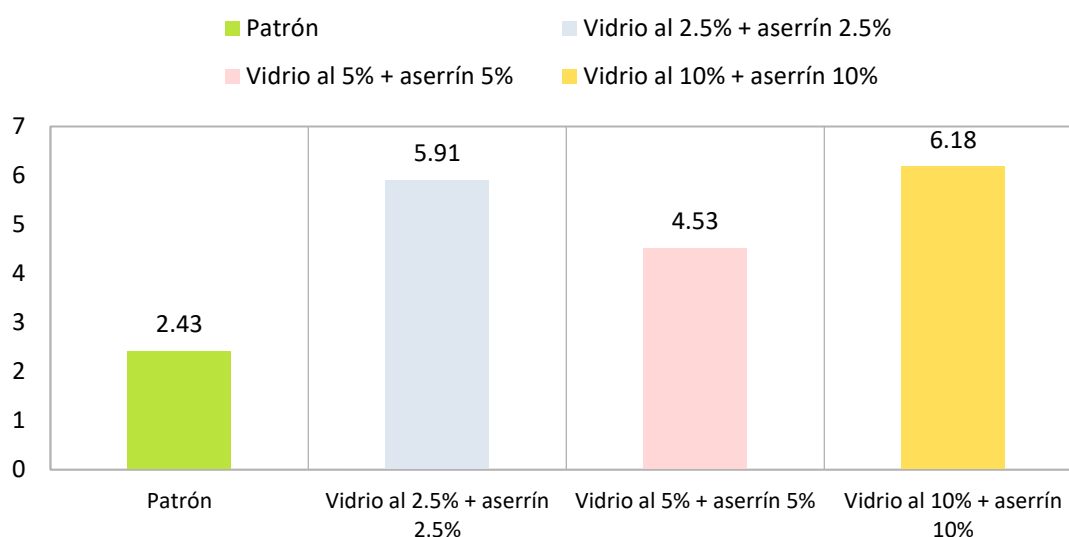
Humedad natural (%) Patrón	Vidrio al 2.5% + aserrín 2.5%	Vidrio al 5% + aserrín 5%	Vidrio al 10% + aserrín 10%	
M-1	4.85	4.28	5.22	5.92
M-2	9.03	2.51	5.27	6.46
M-3	0.20	4.37	5.27	6.42
M-4	0.20	8.96	5.60	6.37

Humedad natural (%)	Patrón	Vidrio al 2.5% + aserrín 2.5%	Vidrio al 5% + aserrín 5%	Vidrio al 10% + aserrín 10%
M-5	0.16	9.90	5.19	5.87
M-6	0.12	5.44	0.60	6.05
Suma	14.56	35.46	27.15	37.09
Promedio	2.43	5.91	4.53	6.18
Desv. Est.	3.738	2.899	1.929	0.266

Nota: Elaboración propia

### Figura 9

Promedios de la Humedad natural (%) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín



Nota: Elaboración propia

La tabla (22) y figura (9) presenta los datos observados de la Humedad natural (%) en los ladrillos artesanales con diferentes proporciones de incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín. Al analizar los promedios, el ladrillo control (sin aditivos) muestra una humedad natural promedio de 2.43% con una desviación estándar de 3.738%, lo que indica una alta variabilidad en sus propiedades de absorción de agua. Esta variabilidad se debe a que algunas muestras presentan una humedad extremadamente baja (0.12% a

0.20%), mientras que otras alcanzan niveles considerablemente más altos (hasta 9.03%), lo que sugiere inconsistencias en la fabricación y calidad del ladrillo artesanal sin aditivos.

Por otro lado, la incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín en diferentes proporciones muestra un aumento en la humedad natural promedio de los ladrillos. La mezcla con 2.5% de vidrio y 2.5% de aserrín presenta una humedad promedio de 5.91% y una desviación estándar de 2.899%, indicando una mayor consistencia comparada con el control, aunque aún con cierta variabilidad. La mezcla con 5% de vidrio y 5% de aserrín reduce la humedad promedio a 4.53% y disminuye la variabilidad a 1.929%, lo que sugiere una mejora en la homogeneidad de la absorción de agua. Finalmente, la mezcla con 10% de vidrio y 10% de aserrín alcanza la humedad natural más alta (6.18%) pero con una desviación estándar muy baja (0.266%), lo que indica una alta consistencia en la absorción de agua entre las muestras, aunque a un nivel de humedad relativamente elevado.

**Tabla 23**

*Análisis de varianza de los promedios de la Humedad natural (%) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín*

Origen de variaciones	SC	GL	CM	Fc	Valor P	Sig.
Tratamientos	53.06	3	17.69	2.70	0.073	NS
Error	130.83	20	6.54			
Total	183.89	23				

Nota: Elaboración propia

La tabla (23) presenta el Análisis de Varianza (ANOVA) de los promedios de la Humedad Natural (%) en los ladrillos artesanales con diferentes proporciones de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín. Los resultados muestran que la suma de cuadrados de los tratamientos es 53.06 con 3 grados de libertad (GL), lo que da un cuadrado medio (CM) de 17.69. El F calculado (Fc) es 2.70 y el valor P es 0.073, clasificado como No Significativo (NS). Dado que el valor P es mayor que el umbral de 0.05, se concluye que las diferentes proporciones de vidrio y aserrín no tienen un efecto estadísticamente significativo en la humedad natural de los ladrillos artesanales.

## j) Absorción (%)

**Tabla 24**

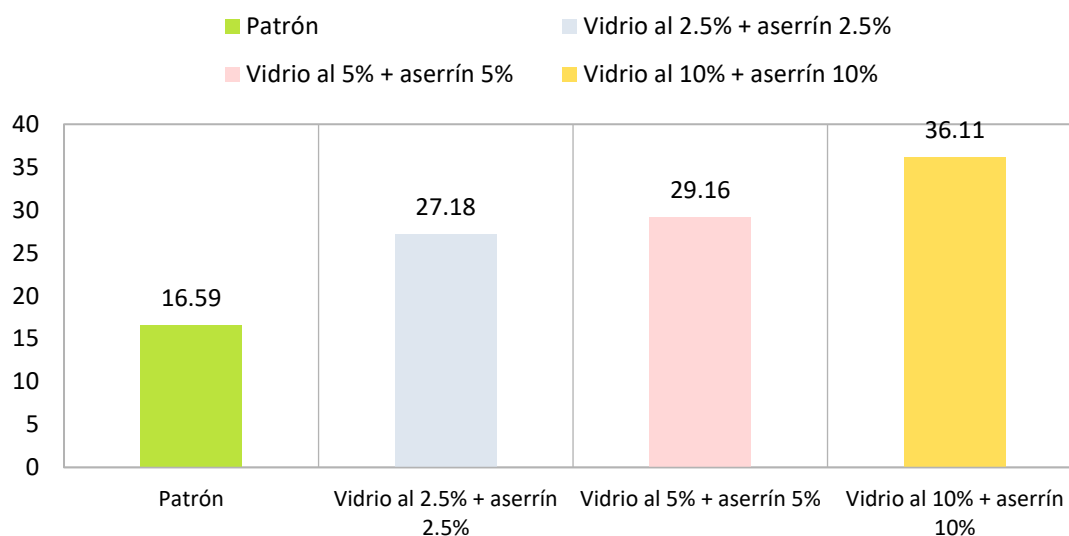
*Datos observados de la Absorción (%) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín*

Absorción (%)	Patrón	Vidrio al 2.5% + aserrín 2.5%	Vidrio al 5% + aserrín 5%	Vidrio al 10% + aserrín 10%
M-1	15.68	23.56	29.31	37.74
M-2	18.47	23.44	29.25	36.33
M-3	18.48	26.44	29.87	36.43
M-4	17.39	29.58	30.47	36.05
M-5	11.84	33.93	30.46	35.19
M-6	17.70	26.12	25.57	34.94
Suma	99.56	163.07	174.93	216.68
Promedio	16.59	27.18	29.16	36.11
Desv. Est.	2.544	4.002	1.835	1.003

Nota: Elaboración propia

**Figura 10**

Promedios de la Absorción (%) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín



Nota: Elaboración propia

La tabla (24) y figura (10) presentan los datos observados de la Absorción (%) en los ladrillos artesanales con diferentes proporciones de incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín. Al analizar los promedios, el ladrillo control (sin aditivos) muestra una absorción promedio de 16.59% con una desviación estándar de 2.544%, indicando una absorción de agua relativamente baja y una variabilidad moderada en sus propiedades. Al incorporar un 2.5% de vidrio y 2.5% de aserrín, la absorción promedio aumenta a

27.18%, con una desviación estándar de 4.002%, lo que sugiere una mayor capacidad de absorción de agua y una mayor variabilidad en los resultados comparado con el control. La mezcla con 5% de vidrio y 5% de aserrín presenta una absorción promedio de 29.16% y una desviación estándar de 1.835%, indicando una absorción aún mayor pero con una menor variabilidad, lo que refleja una mayor consistencia en la absorción de agua entre las muestras. Finalmente, la mezcla con 10% de vidrio y 10% de aserrín muestra la absorción más alta (36.11%) y la desviación estándar más baja (1.003%), lo que denota una alta capacidad de absorción de agua con una muy baja variabilidad, sugiriendo una uniformidad en las propiedades de absorción pero a un nivel significativamente elevado.

**Tabla 25**

*Análisis de varianza de los promedios de la Absorción (%) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín*

Origen de variaciones	SC	GL	CM	Fc	Valor P	Sig.
Tratamientos	1,174.54	3	391.51	58.30	0.000	**
Error	134.31	20	6.72			
Total	1,308.85	23				

Nota: Elaboración propia

La tabla (25) presenta el Análisis de Varianza (ANOVA) de los promedios de la Absorción (%) en los ladrillos artesanales con diferentes proporciones de incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín. Los resultados muestran que la suma de cuadrados de los tratamientos es 1,174.54 con 3 grados de libertad (GL), lo que resulta en un cuadrado medio (CM) de 391.51. El F calculado (Fc) es 58.30 y el valor P es 0.000, indicando una alta significancia estadística (Sig. = \*\*). Esto significa que las diferentes proporciones de vidrio y aserrín tienen un efecto significativamente diferente en la absorción de los ladrillos. Dado que las diferentes proporciones de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín afectan significativamente la absorción de los ladrillos, se recomienda limitar la incorporación de estos aditivos a no más del 2.5% cada uno. Esta proporción ayuda a mantener una absorción de agua dentro de niveles aceptables, evitando que los ladrillos sean excesivamente porosos, lo que podría comprometer su durabilidad y resistencia a condiciones ambientales adversas.

**Tabla 26**

*.Comparación múltiple de Tukey de los promedios de la Absorción (%) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín*

Tratamiento	Promedio	Grupo
Vidrio al 10% + aserrín 10%	36.113	a
Vidrio al 5% + aserrín 5%	29.155	b
Vidrio al 2.5% + aserrín 2.5%	27.178	b
Patrón	16.593	c

Nota: Elaboración propia

La tabla (26) presenta los resultados de la Comparación Múltiple de Tukey para los promedios de la Absorción (%) en los ladrillos artesanales con diferentes proporciones de incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín. Los resultados muestran que el tratamiento con 10% de vidrio y 10% de aserrín tiene una absorción promedio de 36.113% y pertenece al Grupo "a", indicando que este tratamiento es significativamente diferente tanto de los tratamientos con menores proporciones de aditivos como del Patrón (control). Los tratamientos con 5% + 5% y 2.5% + 2.5% de vidrio y aserrín presentan absorciones promedio de 29.155% y 27.178% respectivamente, ambos perteneciendo al Grupo "b". Esto significa que estos tratamientos no difieren significativamente entre sí, pero sí presentan una absorción significativamente mayor que el patrón original, que tiene una absorción promedio de 16.593% y pertenece al Grupo "c".

## **5.2. Propiedades mecánicas del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín**

### **a) Resistencia a Compresion Axial (kgf/cm<sup>2</sup>)**

**Tabla 27 .**

*Datos observados de la Resistencia a la compresión axial (kgf/cm<sup>2</sup>) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín*

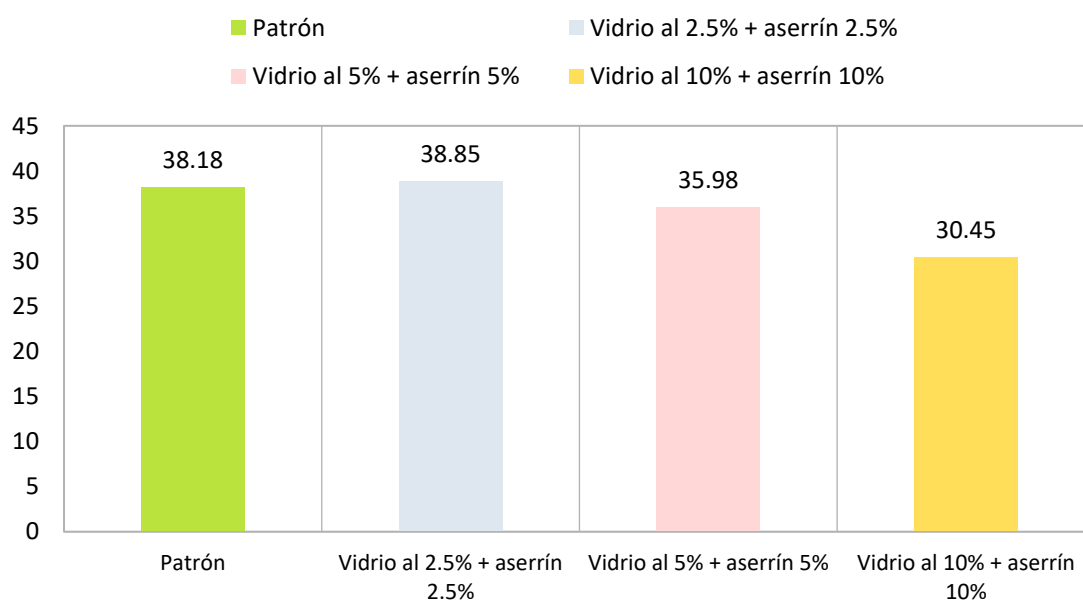
Resistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )	Patrón	Vidrio al 2.5% + aserrín 2.5%	Vidrio al 5% + aserrín 5%	Vidrio al 10% + aserrín 10%
M1	39.39	41.83	39.65	31.11

Resistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )	Patrón	Vidrio al 2.5% + aserrín 2.5%	Vidrio al 5% + aserrín 5%	Vidrio al 10% + aserrín 10%
M2	37.28	37.12	32.20	28.76
M3	37.86	37.60	36.08	31.47
Suma	114.53	116.55	107.93	91.34
Promedio	38.18	38.85	35.98	30.45
Desv. Est.	1.090	2.592	3.726	1.472

Nota: Elaboración propia

**Figura 11**

Promedios de la Resistencia a la compresión axial (kgf/cm<sup>2</sup>) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín



Nota: Elaboración propia

La tabla (27) y figura (11) presentan los datos observados de la Resistencia (kgf/cm<sup>2</sup>) de los ladrillos artesanales con diferentes proporciones de incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín. Al analizar los promedios, el ladrillo control (sin aditivos) exhibe una resistencia promedio de 38.18 kgf/cm<sup>2</sup> con una desviación estándar de 1.090 kgf/cm<sup>2</sup>, indicando una alta consistencia en sus propiedades mecánicas. Al incorporar un 2.5% de vidrio y 2.5% de aserrín, la resistencia promedio ligeramente aumenta a 38.85 kgf/cm<sup>2</sup>, aunque la variabilidad también se incrementa a 2.592 kgf/cm<sup>2</sup>. Una disminución significativa en la resistencia mecánica y una mayor variabilidad en los resultados. Esta tendencia sugiere que una mayor cantidad de aditivos puede estar comprometiendo la

integridad estructural de los ladrillos, posiblemente debido a una menor densidad o a la introducción de puntos débiles en la matriz del ladrillo

**Tabla 28 .**

*Análisis de varianza de los promedios de la Resistencia a la compresión axial (kgf/cm<sup>2</sup>) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín*

Origen de variaciones	SC	GL	CM	Fc	Valor P	Sig.
Tratamientos	130.87	3	43.62	7.28	0.011	**
Error	47.91	8	5.99			
Total	178.79	11				

Nota: Elaboración propia

La tabla (28) muestra el Análisis de Varianza (ANOVA) para la Resistencia (kgf/cm<sup>2</sup>) de los ladrillos artesanales con diferentes proporciones de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín. Los resultados indican que la suma de cuadrados de los tratamientos es 130.87 con 3 grados de libertad (GL), lo que da un cuadrado medio (CM) de 43.62. El F calculado (Fc) es 7.28 y el valor P es 0.011, lo que está marcado como \*\* (significativo). Dado que el valor P es menor que 0.05, se concluye que las diferentes proporciones de vidrio y aserrín tienen un efecto significativamente diferente en la resistencia a la compresión de los ladrillos artesanales. Dado que las proporciones de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín.

**Tabla 29**

*.Comparación múltiple de Tukey de los promedios de la Resistencia a la compresión axial (kgf/cm<sup>2</sup>) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín*

Tratamiento	Promedio	Grupo
Vidrio al 2.5% + aserrín 2.5%	38.850	a
Patrón	38.177	a
Vidrio al 5% + aserrín 5%	35.977	ab
Vidrio al 10% + aserrín 10%	30.447	b

Nota: Elaboración propia

La tabla (29) resultados de la Comparación Múltiple de Tukey para los promedios de la Resistencia a la Compresión (kgf/cm<sup>2</sup>) de los ladrillos artesanales con diferentes proporciones de incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín. Los resultados muestran que tanto el tratamiento con 2.5% de vidrio y 2.5% de aserrín.

### b) Módulo de elasticidad ( $E_m$ ) ( $\text{kg/cm}^2$ )

**Tabla 30**

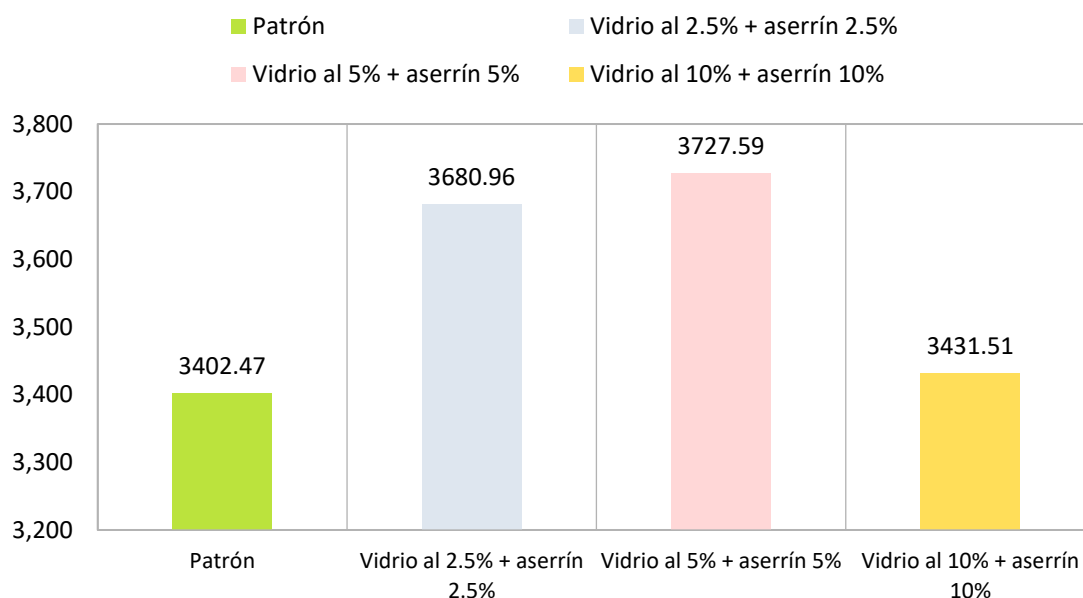
*Datos observados de la Módulo de elasticidad ( $E_m$ ) ( $\text{kg/cm}^2$ ) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín*

$E_m$ ( $\text{kg/cm}^2$ )	Patrón	Vidrio al 2.5% + aserrín 2.5%	Vidrio al 5% + aserrín 5%	Vidrio al 10% + aserrín 10%
M-1	3,436.80	2,961.50	3,053.97	3,539.62
M-2	3,462.26	4,381.25	4,262.95	2,978.75
M-3	3,308.36	3,700.12	3,865.86	3,776.17
Suma	10,207.42	11,042.87	11,182.78	10,294.54
Promedio	3,402.47	3,680.96	3,727.59	3,431.51
Desv. Est.	82.493	710.069	616.236	409.555

Nota: Elaboración propia

**Figura 12**

*Promedios de la Módulo de elasticidad ( $E_m$ ) ( $\text{kg/cm}^2$ ) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín*



Nota: Elaboración propia

La tabla (30) y figura (12) presentan los datos observados del Módulo de Elasticidad ( $E_m$ ) ( $\text{kg/cm}^2$ ) de los ladrillos hechos a mano con distintas proporciones de incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín. Al analizar los promedios, el ladrillo control (sin aditivos) exhibe un módulo de elasticidad promedio de  $3,402.47 \text{ kg/cm}^2$  con una desviación estándar de  $82.493 \text{ kg/cm}^2$ , indicando una buena consistencia en sus propiedades de elasticidad. Al incorporar un 2.5% de vidrio y 2.5% de aserrín, el módulo de elasticidad

aumenta significativamente a 3,680.96 kg/cm<sup>2</sup>, aunque la desviación estándar se incrementa considerablemente a 710.069 kg/cm<sup>2</sup>, lo que sugiere una mayor variabilidad en las propiedades elásticas de los ladrillos con esta proporción de aditivos. La mezcla con 5% de vidrio y 5% de aserrín muestra un módulo de elasticidad aún más elevado, con un promedio de 3,727.59 kg/cm<sup>2</sup> y una desviación estándar de 616.236 kg/cm<sup>2</sup>, lo que indica una tendencia a mejorar la rigidez del ladrillo, pero manteniendo una alta variabilidad en los resultados. Finalmente, la incorporación del 10% de vidrio y 10% de aserrín resulta en un módulo de elasticidad promedio de 3,431.51 kg/cm<sup>2</sup>, cercano al control, pero con una desviación estándar de 409.555 kg/cm<sup>2</sup>, lo que denota una consistencia relativamente alta en comparación con las mezclas de menores proporciones de aditivos.

**Tabla 31**

*Análisis de varianza de los promedios de la Módulo de elasticidad (Em) (kg/cm<sup>2</sup>) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín*

Origen de variaciones	SC	GL	CM	Fc	Valor P	Sig.
Tratamientos	252,119.72	3	84,039.91	0.32	0.813	NS
Error	2,116,968.70	8	264,621.0			
Total	2,369,088.42	11	9			

Nota: Elaboración propia

La tabla (31) presenta el Análisis de Varianza (ANOVA) para el Módulo de Elasticidad (Em) (kg/cm<sup>2</sup>) de los ladrillos hechos a mano con diferentes proporciones de incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín. Los resultados indican que la suma de cuadrados de los tratamientos es 252,119.72 con 3 grados de libertad (GL), resultando en un cuadrado medio (CM) de 84,039.91. El F calculado (Fc) es 0.32 y el valor P es 0.813, lo que se clasifica como No Significativo (NS). Dado que el valor P es mucho mayor a 0.05, se concluye que las diferentes proporciones de vidrio y aserrín no tienen un efecto estadísticamente significativo en el módulo de elasticidad de los ladrillos artesanales.

### c). Resistencia diagonal (kgf/cm<sup>2</sup>)

**Tabla 32**

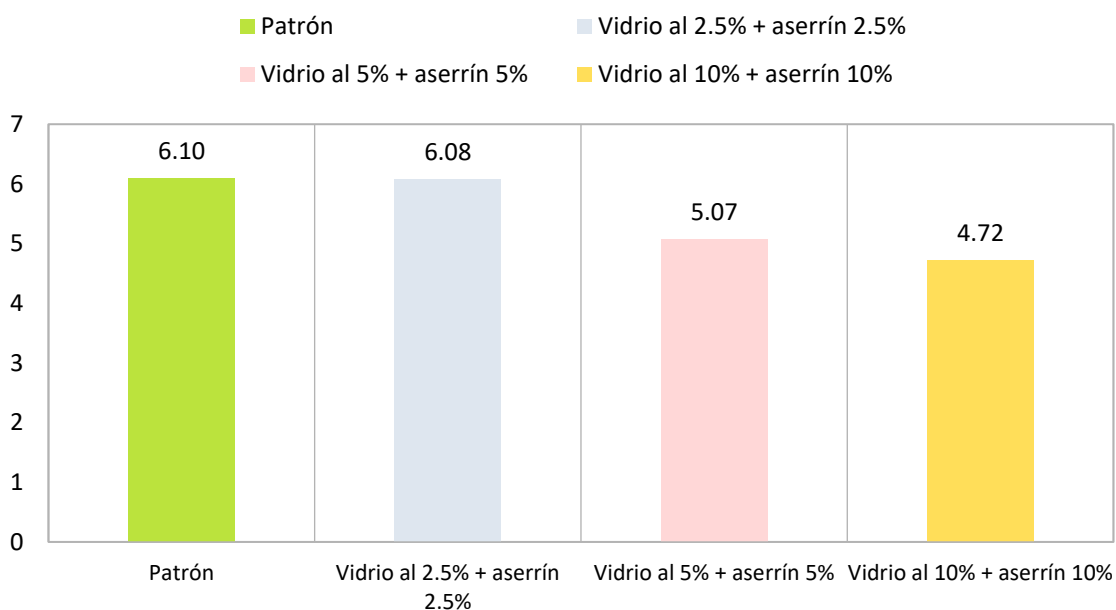
*Datos observados de la Resistencia diagonal (kgf/cm<sup>2</sup>) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín*

Resistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )	Patrón	Vidrio al 2.5% + aserrín 2.5%	Vidrio al 5% + aserrín 5%	Vidrio al 10% + aserrín 10%
M1	6.73	6.21	4.80	5.02
M2	5.34	5.20	5.80	4.97
M3	6.22	6.82	4.62	4.18
Suma	18.29	18.23	15.22	14.17
Promedio	6.10	6.08	5.07	4.72
Desv. Est.	0.703	0.818	0.636	0.471

Nota: Elaboración propia

**Figura 13**

*Promedios de la Resistencia (kgf/cm<sup>2</sup>) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín*



Nota: Elaboración propia

La tabla (32) y figura (13) presenta los datos observados de la Resistencia diagonal (kgf/cm<sup>2</sup>) de los ladrillos hechos a mano con diferentes proporciones de incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín. Al analizar los promedios, el ladrillo control (sin aditivos) exhibe una resistencia promedio de 6.10 kgf/cm<sup>2</sup> con una desviación estándar de 0.703 kgf/cm<sup>2</sup>, lo que indica una buena consistencia en sus propiedades mecánicas. Al incorporar un 2.5% de vidrio y 2.5% de aserrín, la resistencia promedio apenas disminuye

a 6.08 kgf/cm<sup>2</sup>, manteniendo una desviación estándar similar (0.818 kgf/cm<sup>2</sup>), lo que sugiere que esta proporción de aditivos no afecta significativamente la resistencia del ladrillo en comparación con el control. En contraste, al aumentar la proporción a 5% de vidrio y 5% de aserrín, la resistencia promedio disminuye ligeramente a 5.07 kgf/cm<sup>2</sup>, con una desviación estándar de 0.636 kgf/cm<sup>2</sup>, indicando una ligera reducción en la resistencia mecánica pero con una variabilidad menor, lo que puede reflejar una mayor homogeneidad en la mezcla. Finalmente, la mezcla con 10% de vidrio y 10% de aserrín muestra la resistencia más baja (4.72 kgf/cm<sup>2</sup>) y una desviación estándar de 0.471 kgf/cm<sup>2</sup>, indicando una reducción significativa en la resistencia mecánica, aunque con una variabilidad aún baja, lo que sugiere que altas proporciones de aditivos comprometen la integridad estructural del ladrillo sin introducir inconsistencias en los resultados.

**Tabla 33**

*Análisis de varianza de los promedios de la Resistencia diagonal (kgf/cm<sup>2</sup>) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín*

Origen de variaciones	SC	GL	CM	Fc	Valor P	Sig.
Tratamientos	4.42	3	1.47	3.29	0.079	NS
Error	3.58	8	0.45			
Total	8.00	11				

Nota: Elaboración propia

La tabla (33) presenta el Análisis de Varianza (ANOVA) de los promedios de la Resistencia (kgf/cm<sup>2</sup>) de los ladrillos artesanales con diferentes proporciones de incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín. Los resultados muestran que la suma de cuadrados de los tratamientos es 4.42 con 3 grados de libertad (GL), lo que da como resultado un cuadrado medio (CM) de 1.47. El F calculado (Fc) es 3.29 y el valor P es 0.079, clasificado como No Significativo (NS). Dado que el valor P es mayor que el umbral comúnmente aceptado de 0.05, se concluye que las diferentes proporciones de vidrio y aserrín no tienen un efecto estadísticamente significativo en la resistencia a la compresión de los ladrillos artesanales. Por otro lado, la suma de cuadrados del error es 3.58 con 8 grados de libertad, resultando en un cuadrado medio de 0.45. Esto indica que la variabilidad dentro de cada tratamiento es relativamente baja, lo que sugiere una

consistencia en los resultados de resistencia a la compresión dentro de cada grupo de aditivos.

### c) Módulo de corte (Gm) (kg/cm<sup>2</sup>)

**Tabla 34**

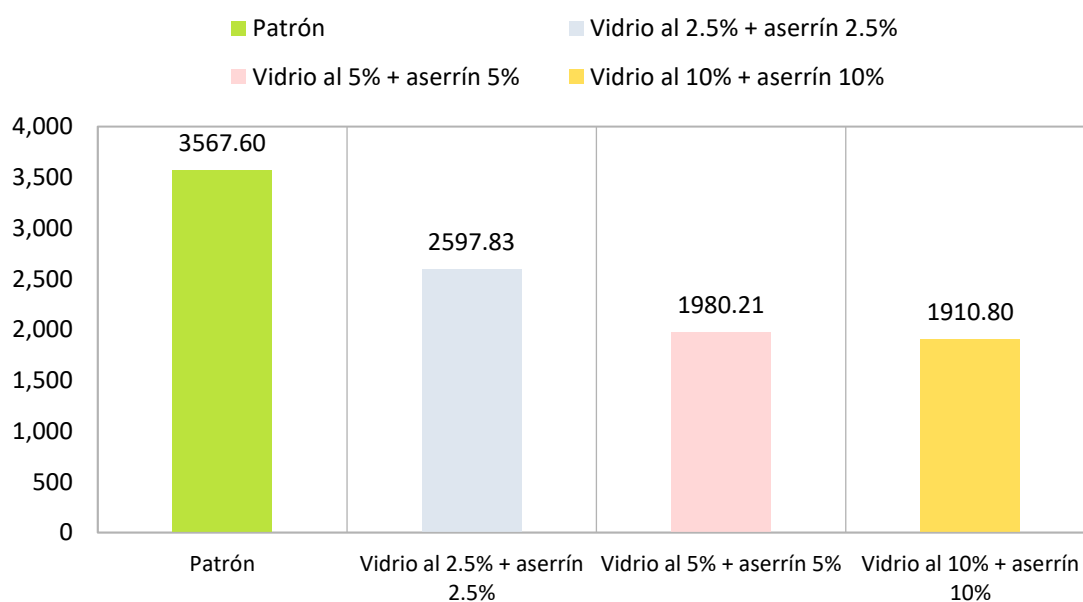
*Datos observados de la Módulo de corte (Gm) (kg/cm<sup>2</sup>) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín*

Gm (kg/cm <sup>2</sup> )	Patrón	Vidrio al 2.5% + aserrín 2.5%	Vidrio al 5% + aserrín 5%	Vidrio al 10% + aserrín 10%
M1	4,419.88	2,318.93	2,301.65	1,773.61
M2	3,466.26	3,375.05	1,889.21	2,267.42
M3	2,816.67	2,099.51	1,749.78	1,691.37
Suma	10,702.81	7,793.49	5,940.64	5,732.40
Promedio	3,567.60	2,597.83	1,980.21	1,910.80
Desv. Est.	806.395	681.975	286.969	311.567

Nota: Elaboración propia

**Figura 14**

*Promedios de la Módulo de corte (Gm) (kg/cm<sup>2</sup>) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín*



Nota: Elaboración propia

La tabla (34) y figura (14) presentan los datos observados del Módulo de Corte (Gm) (kg/cm<sup>2</sup>) de los ladrillos artesanales con diferentes proporciones de incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín. Al analizar los promedios, el ladrillo control (sin aditivos) muestra un módulo de corte promedio de 3,567.60 kg/cm<sup>2</sup> con una desviación estándar de

806.395 kg/cm<sup>2</sup>, indicando una alta variabilidad en sus propiedades de corte. Esta variabilidad sugiere inconsistencias en la fabricación y en la distribución de tensiones dentro de los ladrillos control. Al incorporar un 2.5% de vidrio y 2.5% de aserrín, el módulo de corte promedio disminuye a 2,597.83 kg/cm<sup>2</sup> y la desviación estándar se reduce a 681.975 kg/cm<sup>2</sup>, lo que refleja una disminución en la capacidad de resistencia al corte pero una mejora en la consistencia de las propiedades del material. Al aumentar la proporción a 5% de vidrio y 5% de aserrín, el módulo de corte promedio desciende a 1,980.21 kg/cm<sup>2</sup> con una desviación estándar notablemente menor de 286.969 kg/cm<sup>2</sup>, indicando una reducción significativa en la resistencia al corte pero con una mayor uniformidad en las propiedades del ladrillo. Finalmente, la mezcla con 10% de vidrio y 10% de aserrín presenta un módulo de corte promedio de 1,910.80 kg/cm<sup>2</sup> y una desviación estándar de 311.567 kg/cm<sup>2</sup>, mostrando una resistencia al corte ligeramente inferior a la mezcla de 5% + 5%, pero manteniendo una consistencia similar.

**Tabla 35**

*Análisis de varianza de los promedios de la Módulo de corte (Gm) (kg/cm<sup>2</sup>) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín*

Origen de variaciones	SC	GL	CM	Fc	Valor P	Sig.
Tratamientos	5,297,657.55	3	1,765,885.85	5.46	0.025	*
Error	2,589,576.92	8	323,697.12			
	7,887,234.4					
Total	7	11				

Nota: Elaboración propia

La tabla (35) presenta el Análisis de Varianza (ANOVA) para el Módulo de Corte (Gm) (kg/cm<sup>2</sup>) de los ladrillos artesanales con diferentes proporciones de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín. Los resultados muestran que la suma de cuadrados de los tratamientos es 5,297,657.55 con 3 grados de libertad (GL), resultando en un cuadrado medio (CM) de 1,765,885.85. El F calculado (Fc) es 5.46 y el valor P es 0.025, lo que indica una significancia estadística (\*), ya que el valor P es menor que 0.05. Este resultado significa que las diferentes proporciones de vidrio y aserrín tienen un efecto significativo en el módulo de corte de los ladrillos. En otras palabras, las variaciones en la cantidad de

estos aditivos afectan la capacidad de los ladrillos para resistir fuerzas de corte, lo cual es crucial para su desempeño estructural en construcciones. Dado que las proporciones de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín influyen significativamente en el Módulo de Corte (Gm), se recomienda limitar la incorporación de estos aditivos a no más del 2.5% cada uno. Esta proporción ayuda a mantener una resistencia adecuada al corte, esencial para la integridad estructural de los ladrillos, mientras se aprovechan los beneficios ambientales de reutilizar materiales residuales

**Tabla 36**

*Comparación múltiple de Tukey de los promedios de la Módulo de corte (Gm) (kg/cm<sup>2</sup>) del ladrillo artesanal con incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín*

Tratamiento	Promedio	Grupo
Patrón	3567.6	a
Vidrio al 2.5% + aserrín 2.5%	2597.8	ab
Vidrio al 5% + aserrín 5%	1980.2	b
Vidrio al 10% + aserrín 10%	1910.8	b

Nota: Elaboración propia

La tabla (36) presenta los resultados de la Comparación Múltiple de Tukey para los promedios del Módulo de Corte (Gm) (kg/cm<sup>2</sup>) de los ladrillos artesanales con diferentes proporciones de incorporación de vidrio sólido cálcico triturado y aserrín. Los resultados muestran que el Patrón original tiene un promedio de 3567.6 kg/cm<sup>2</sup> y pertenece al Grupo "a", indicando que su módulo de corte es significativamente mayor que los tratamientos con aditivos. El tratamiento con 2.5% de vidrio y 2.5% de aserrín presenta un promedio de 2597.8 kg/cm<sup>2</sup> y está clasificado en el Grupo "ab", lo que sugiere que su módulo de corte no difiere significativamente ni del Patrón ni de los tratamientos posteriores. En contraste, los tratamientos con 5% + 5% y 10% + 10% de vidrio y aserrín presentan promedios de 1980.2 kg/cm<sup>2</sup> y 1910.8 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, ambos pertenecientes al Grupo "b". Esto indica que estos tratamientos son significativamente diferentes del Patrón y presentan módulos de corte inferiores, sin diferencias significativas entre sí. Dado que los tratamientos con 5% + 5% y 10% + 10% de vidrio y aserrín reducen significativamente el Módulo de Corte (Gm) de los ladrillos, se recomienda limitar la incorporación de vidrio sólido

cálcico triturado y aserrín a no más del 2.5% cada uno. Esta proporción permite mantener una mayor rigidez y resistencia al corte, acercándose más al rendimiento del Patrón original, lo cual es esencial para garantizar la integridad estructural de los ladrillos en aplicaciones constructivas. Además, el tratamiento con 2.5% + 2.5% no presenta diferencias significativas con el Patrón, lo que sugiere que esta proporción puede ser una opción viable para mejorar la sostenibilidad sin comprometer significativamente las propiedades mecánicas.

### **Discusiones**

La presente investigación se propuso evaluar el impacto de la incorporación de vidrio sódico cálcico triturado y aserrín en las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo artesanal, enfocado en dos objetivos principales: (1) determinar las propiedades físicas y (2) analizar las propiedades mecánicas de los ladrillos con distintas proporciones de estos aditivos. A continuación, se sintetizan los hallazgos principales, relacionándolos con investigaciones previas y teorías relevantes.

### **Propiedades Físicas**

#### Variación Dimensional

Los resultados indicaron que la variación dimensional (largo, alto y ancho) de los ladrillos aumentó progresivamente con mayores proporciones de vidrio y aserrín. Por ejemplo, en el caso del largo, los ladrillos con 10% de vidrio y aserrín mostraron un promedio de 20.146 cm, significativamente mayor al patrón (19.960 cm). Este incremento también fue evidente en el alto (8.071 cm frente a 7.985 cm) y el ancho (12.100 cm frente a 11.956 cm). Estos resultados son consistentes con los hallazgos de Milla (2020), quien también reportó un aumento en las dimensiones de ladrillos al incorporar vidrio molido reciclado. La explicación metodológica de este comportamiento radica en la expansión térmica del vidrio durante el proceso de cocción, lo que genera un aumento en el volumen total del ladrillo.

No obstante, también se observó un incremento en la variabilidad dimensional, evidenciado por desviaciones estándar mayores en ladrillos con proporciones del 10%. Este efecto puede atribuirse a la distribución no uniforme de los aditivos en la mezcla y a la formación de microfisuras durante la cocción, que afecta la cohesión interna del material. Estudios como el de Selene (2020) también han reportado que proporciones elevadas de aditivos pueden alterar la homogeneidad del producto final, lo que coincide con nuestros hallazgos.

#### Humedad Natural y Absorción

La humedad natural de los ladrillos incrementó con mayores proporciones de vidrio y aserrín, alcanzando un promedio de 6.18% en ladrillos con 10% de aditivos, frente al 2.43% del patrón. Este resultado también se reflejó en la absorción de agua, que aumentó significativamente (36.11% en ladrillos con 10% de aditivos frente al 16.59% del patrón). Estos hallazgos coinciden con lo reportado por Saldivar (2021), quien demostró que la inclusión de vidrio triturado en materiales de construcción incrementa la porosidad, favoreciendo la absorción de agua.

El comportamiento observado puede explicarse por la naturaleza higroscópica del aserrín y la interacción del vidrio con la matriz de arcilla durante la cocción, lo que genera una mayor cantidad de poros abiertos. Adicionalmente, el vidrio actúa como un material no cohesivo en proporciones elevadas, disminuyendo la densidad del ladrillo y facilitando la entrada de agua. Aunque este incremento en la absorción podría ser problemático para aplicaciones estructurales, también abre posibilidades para usos donde la porosidad sea deseable, como en ladrillos decorativos o de bajo esfuerzo.

#### **Propiedades Mecánicas**

##### Resistencia a la Compresión

La resistencia a la compresión disminuyó con el aumento de los aditivos. Los ladrillos con 10% de vidrio y aserrín presentaron una resistencia promedio de 21.80

kgf/cm<sup>2</sup>, significativamente menor al patrón (59.94 kgf/cm<sup>2</sup>). Este resultado es consistente con Ortega (2019), quien reportó una disminución en la resistencia de morteros al incorporar fibras de aserrín. Metodológicamente, esta disminución puede explicarse por la menor densidad del ladrillo y la introducción de microfisuras debido a la interacción térmica de los aditivos con la arcilla.

Cabe destacar que, a bajas proporciones (2.5%), la resistencia a la compresión se mantuvo cercana a la del patrón (56.39 kgf/cm<sup>2</sup>), lo que sugiere que estas cantidades no afectan de manera significativa la integridad estructural del ladrillo. Este resultado también coincide con Palomino (2022), quien indicó que pequeñas cantidades de aditivos pueden incluso mejorar ciertas propiedades mecánicas al actuar como refuerzos en la matriz.

#### Módulo de Elasticidad

El módulo de elasticidad mostró un comportamiento variado, con incrementos a bajas proporciones de aditivos (2.5% y 5%), pero disminuciones al 10%. Este patrón sugiere que pequeñas cantidades de vidrio y aserrín pueden mejorar la rigidez del ladrillo, posiblemente debido a una distribución más homogénea de las cargas en la matriz. Sin embargo, mayores proporciones comprometen la cohesión interna, generando un material menos elástico y más propenso a fracturas.

Estos resultados son consistentes con los de He et al. (2020), quienes encontraron que la incorporación de aditivos reciclados afecta el comportamiento elástico de materiales constructivos de manera dependiente de la proporción. Las diferencias metodológicas en los valores absolutos pueden deberse a variaciones en el tamaño de partícula de los aditivos y las condiciones de cocción utilizadas.

#### Módulo de Corte

El módulo de corte disminuyó significativamente con el incremento de los aditivos. Los ladrillos con 10% de vidrio y aserrín presentaron un promedio de 1,910.80 kg/cm<sup>2</sup>, en comparación con 3,567.60 kg/cm<sup>2</sup> del patrón. Este resultado resalta la menor capacidad de

los ladrillos modificados para resistir esfuerzos de corte, lo que podría limitar su uso en aplicaciones estructurales.

Sin embargo, también se observó que proporciones bajas (2.5%) mantienen valores cercanos al patrón, lo que indica que el uso moderado de aditivos puede ser viable. Estos hallazgos coinciden con los de Ariza et al. (2019), quienes demostraron que proporciones controladas de aditivos no comprometen significativamente las propiedades mecánicas de materiales constructivos.

#### Comparación con la Teoría

Los resultados de esta investigación coinciden con teorías relacionadas con el uso de materiales reciclados en la construcción. Por ejemplo, se confirma que el vidrio triturado y el aserrín incrementan la porosidad y afectan negativamente la resistencia mecánica en proporciones elevadas. Sin embargo, también se evidencia que pequeñas cantidades pueden mejorar ciertas propiedades, como la elasticidad y la resistencia inicial, lo que abre posibilidades para aplicaciones específicas.

Las diferencias observadas en comparación con otros estudios pueden explicarse por variaciones en las metodologías experimentales, como las proporciones de los aditivos, el tamaño de las partículas y las condiciones de cocción. Además, factores como la calidad de la arcilla utilizada y los controles durante la fabricación también pueden influir en los resultados.

#### Conclusión de la Discusión

En síntesis, la incorporación de vidrio sódico cálcico triturado y aserrín tiene un impacto significativo en las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo artesanal. Mientras que bajas proporciones (2.5%) pueden ofrecer un equilibrio entre sostenibilidad y calidad, mayores cantidades afectan negativamente tanto la resistencia mecánica como la uniformidad dimensional. Estos resultados destacan la importancia de optimizar las

proporciones de aditivos y de realizar controles estrictos en el proceso de fabricación para garantizar la viabilidad de esta técnica en aplicaciones constructivas.

## **VI. Conclusiones.**

1. La incorporación de vidrio sódico cálcico triturado y aserrín influyó significativamente en las propiedades físicas del ladrillo artesanal, incrementando la variación dimensional, la humedad natural y la absorción de agua. Estos cambios limitan su aplicación en ambientes que requieren baja absorción, especialmente en proporciones del 10%.
2. Las propiedades mecánicas del ladrillo artesanal, como la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad, disminuyeron notablemente con mayores proporciones de aditivos. No obstante, proporciones bajas (2.5%) demostraron ser viables para mantener una calidad estructural aceptable.

## VII. Recomendaciones

1. Limitar la incorporación de vidrio sódico cálcico triturado y aserrín a proporciones del 2.5% para equilibrar la sostenibilidad con la calidad estructural del ladrillo artesanal, especialmente en aplicaciones que requieren resistencia mecánica.
2. Realizar estudios adicionales para optimizar las condiciones de fabricación, como el tamaño de las partículas de vidrio y aserrín, así como los tiempos y temperaturas de cocción, para reducir la variabilidad en las propiedades físicas y mecánicas.
3. Implementar estas técnicas de incorporación de materiales reciclados en proyectos experimental a nivel local, con el fin de evaluar su viabilidad en diferentes contextos constructivos y promover el uso de materiales sostenibles en la región de Apurímac.

## VIII. Referencias

- Arias, F. G. (2006). *"El Proyecto de Investigación, introducción a la metodología científica"*. dt: Episteme,c.a., Caracas, Venezuela.
- Ariza, S., Martín, E., Cabarcas, C., & Nicole, H. (2019). *Evaluación de la resistencia de cilindros de concreto al utilizar*. Barranquilla.
- Ayala Navas, A. A. (2018). *Elaboración de ladrillos como materia prima vidrio reciclado y ceniza de biosólido de la PTAR el salitre*. Universidad Santo Tomás Tunja., Colombia.
- Barranzuela Lescano, J. (2014). *Proceso constructivo de los ladrillos de arcilla producidos en la Región Piura*. Piura. Recuperado el 18 de abril de 2023
- Barrera Ochoa, A. (2016). *El aserrín como material expresivo en el diseño interior*.
- Chávez, B. Y. (2021). *Evaluación de las propiedades mecánicas en bloques de concreto tipo P incorporando vidrio triturado*.
- Diaz Aymara, A. (2022). *Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de las bloquetas de concreto incorporando vidrio molido en Abancay*. Universidad César Vallejo, Apurímac. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/96672>
- E., B. (2014). *Fundamentos de la investigación social. International*. Mexico.
- Fernandez, A. F. (2022). *Estudio de las propiedades físicas y mecánicas del concreto f 'c= 210 kg/cm<sup>2</sup> adicionando cobre reciclado, Ventanilla-Callao 2022*.
- Gómez, C. P. (2019). Ladrilleras de Colombia. *Ladrilleras de Colombia, unidas en nuevo Comité de la ANDI*. ANDI, Colombia. Obtenido de <https://www.andi.com.co/Home/Noticia/15597-ladrilleras-de-colombia-unidas-en-nuevo>

- Gómez, R. (2004). *Evolución científica y metodológica de la economía*.
- González García, E., & Lizárraga Mendiola, L. (, 2015). *Evaluación de las propiedades físico mecánicas de ladrillos de arcilla recocida*. Universidad Autónoma de Yucatán; México, México.
- GUÍA DE BUENAS PRÁCTICAS PARA LADRILLERAS ARTESANALES. (2010). 67.
- He, W., Kong, X., Fu, Y., Zhou, C., & Zheng, Z. (2020). Investigación experimental sobre las propiedades mecánicas y la microestructura del hormigón híbrido con áridos reciclados reforzados con fibras. *Materiales de Construcción y Edificación*.
- Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación*. México.
- INACAL. (2015). *UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Ladrillos de arcilla usados en albañilería. Requisitos. Lima, Perú. NTP 331.017*.
- INEI, I. N. (2018). *Censos Nacionales XII de Población y VII de Vivienda y III de Comunidades*.
- Lozano Ortiz Margarita, G. P. (2016). *Uso de residuos cerámicos y aserrín en la producción de ladrillos de arcilla cocidos de sector alfarero de Candelaria*. Pontificia Universidad Javeriana de Colombia, Colombia.
- Mejía, V. J. (2018). *Estudio estructural de mampostería confinada en ladrillo para viviendas emergentes en la zona de Pedernales*.
- Milla, R. J. (2020). *Comportamiento estructural del ladrillo patrón arcilla artesanal agregando 8%, 10% y 12% de vidrio molido reciclado Bellavista, Nuevo Chimbote, Ancash-2020*.
- Mohamad, S. (2015). *I production of fired red clay brick with sawdust additive*. Universidad Kuala Lumpur, Malasia.

- NTP 399.613, U. D. (2015). *Métodos de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería*. Lima,. INDECOPI, Lima, Perú.
- Olave Cortez, J. C. (2017). *Influencia del aserrín en la resistencia a la compresión y variación dimensional de ladrillos de arcilla cocida elaborados artesanalmente*. Universidad Cesar Vallejo, NUEVO CHIMBOTE , PERÚ.
- Ortega, S. A. (2019). Estudio del comportamiento mecánico de morteros modificados con fibras de aserrín bajo esfuerzos de compresión. *Ingeniería y desarrollo*, 37(1), 20-35.
- Palomino, C. E. (2022). *Análisis de las propiedades físicas y mecánicas en bloques de concreto incorporando fibras de maguey–Lima 2022*.
- Patricio, Y. M. (2019). *“Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo artesanal*. Universidad Cesar Vallejo, Huaraz.
- Pimienta Prieto, J. H., & De la Orden Hoz, A. (2017). *Metodología de la Investigación*. Mexico.
- Quezada, N. (2010). Metodología de la Investigación con cd Edición 2010. *Empresa Editora Macro*, 336.
- Rivero, D. S. ( 2008 ). *Metodología de la Investigación*.
- Rubín, L. y. (2016).
- Saldivar, N. A. (2021). *Comportamiento de las propiedades físicas y mecánicas del concreto  $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$  con aditivos plastificantes en edificaciones, distrito de Huaro, Quispicanchi, Cusco 2021*.
- Saumell, C. (2014). Casa Saumell. Recuperado el 18 de Abril de 2023
- Selene, R. R. (2020). Optimización del Proceso de Fabricación de Bloques de concreto en la Empres Ricplacan S.A. *Trabajo de Pregrado; Universidad de Guayaquil*.

Vivienda, M. d. (2006). *Norma Técnica E.070 - Albañilería*. Ministerio de Vivienda y Finanzas.

Yesica, G. H. (2019). *Diseño de ladrillo artesanal con vidrio triturado y puzolana para mejorar sus propiedades físico - mecánicas*. Universidad Peruana Los Andes, Huancayo, Perú.

## **IX. Anexos**

**Anexo 1** Matriz de consistencia

**Anexo 2** Operacionalización de variables

**Anexo 3** Clase de unidad de albañilería para fines estructurales

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca de la Universidad Tecnológica de los Andes