

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE TRES RESIDUOS (PET,
EPS Y CENIZAS DE CÁSCARA DE HUEVO) EN LA
ELABORACIÓN DE LADRILLOS

TESIS

Presentada por:

Bach. Eddi Francisco Noa Acho

Para optar por el Título Profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

TACNA - PERÚ

2025

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ciencias Agropecuarias

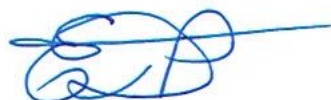
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

TESIS

**INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE TRES RESIDUOS (PET, EPS Y
CENIZAS DE CÁSCARA DE HUEVO) EN LA
ELABORACIÓN DE LADRILLOS**

SUSTENTADA Y APROBADA EL 17 DE JUNIO DEL 2025, SIENDO EL
JURADO CALIFICADOR:

PRESIDENTE:



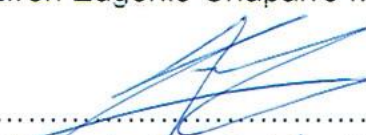
.....
Dr. Eleocadio Dionicio Tirado Paz

SECRETARIO:



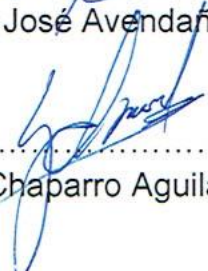
.....
Dr. Efren Eugenio Chaparro Montoya

VOCAL:



.....
Mgr. César José Avendaño Jihuallanga

ASESOR:



.....
Dr. Edgar Chaparro Aguilar

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, **Dr. Edgar Chaparro Aguilar**, en mi condición de asesor acreditado por la Resolución de Facultad N°8691-2024-FCAG de la tesis titulada: **"INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE TRES RESIDUOS (PET, EPS Y CENIZAS DE CÁSCARA DE HUEVO) EN LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS"**. Presentado por el **Bachiller Eddi Francisco Noa Acho**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental, habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y de similitud de trabajo de investigación y producción intelectual considerando que, según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del software de similitud textual Turnitin cuenta con el nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es del 15 %. Por lo que, **CERTIFICO LA SIMILARIDAD** de la tesis enunciada líneas arriba, la cual está expedita para continuar con los trámites para la obtención de título profesional, según corresponda consiguiente la publicación en el repositorio institucional.

FIRMA ASESOR

Nombres y Apellidos, DNI

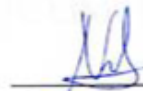
EDGAR CHAPARRO AGUILAR 40206961



FIRMA TESISTA

Nombres y Apellidos, DNI

Eddi Francisco Noa Acho 74876948



DEDICATORIA

Dios, por guiarme y permitirme cumplir las metas que me he propuesto a lo largo de mi vida.

A mis padres Favio y Deysi, que han forjado mi camino y me han dirigido al sendero correcto.

A mi amada Luz por el constante apoyo sobrenatural y paciencia que tuvo conmigo en este proceso.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Edgar Chaparro Aguilar, mi asesor, por su valiosa orientación y exigencia.

Al sr. José Luis Zabaleta Argollo por sus consejos.

Al Dr. Efrén Chaparro y Sra. Nelly García.

Al team meñiques, por su apoyo incondicional durante los maravillosos años de la etapa universitaria.

ÍNDICE

	Pag.
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
RESUMEN.....	xx
ABSTRACT.....	xxi
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1	Planteamiento del problema.....	5
1.2	Formulación del problema.....	8
1.2.1	Formulación del problema general.....	8
1.2.2	Formulación de los problemas específicos.....	8
1.3	Delimitación de la investigación.....	9
1.3.1	Delimitación temporal.....	9
1.3.1	Delimitación espacial.....	9
1.4	Justificación de la investigación.....	10
1.4.1	Justificación ambiental.....	10
1.4.2	Justificación económica.....	11
1.4.3	Justificación social.....	13

1.5	Limitaciones.....	14
-----	-------------------	----

CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1	Objetivos.....	16
2.1.1	Objetivo general.....	16
2.1.2	Objetivos específicos.....	16
2.2	Hipótesis.....	17
2.2.1	Hipótesis general.....	17
2.2.2	Hipótesis específicas.....	17
2.3	Variables.....	18
2.3.1	Variable independiente.....	18
2.3.2	Variable dependiente.....	18
2.3.3	Operalización de variables.....	18

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

3.1	Antecedentes bibliográficos.....	20
3.2	Bases teóricas.....	26
3.2.1	Tereftalato de polietileno (PET).....	26

3.2.2	Tereftalato de polietileno (EPS).....	31
3.2.3	Cáscara de huevo.....	32
3.2.4	Unidades de albañilería.....	32
3.3	Definición de términos.....	35
3.3.1	PET.....	35
3.3.2	EPS.....	36
3.3.3	Cenizas.....	36
3.3.4	Ladrillo.....	36
3.3.5	Ladrillo ecológico.....	36
3.3.6	Propiedad acústica.....	37
3.3.7	Propiedad térmica.....	37
3.3.8	Propiedad física.....	37
3.3.9	Propiedad química.....	37
3.3.10	Mortero.....	38

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1	Tipo y diseño de investigación.....	39
4.1.1	Tipo de investigación.....	39
4.1.2	Nivel de investigación.....	39

4.1.3	Diseño de investigación.....	39
4.2	Lugar de estudio.....	40
4.3	Población y muestra de estudio.....	40
4.3.1	Población.....	40
4.3.2	Muestra.....	41
4.3.3	Muestreo.....	41
4.4	Metodología.....	42
4.4.1	Diseño estadístico.....	42
4.4.2	Procedimiento experimental.....	44
4.5.3	Materiales y equipos.....	54
4.6	Análisis estadístico.....	55

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1	Resultados.....	56
5.1.1	Determinación de la influencia de la adición de los tres residuos (PET, EPS y cenizas de cáscara de huevo) en el comportamiento de curado y secado de los ladrillos elaborados.....	56

5.1.2	Análisis de la influencia de la adición de los tres residuos (PET, EPS y cenizas de cáscara de huevo) en las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos.....	67
5.1.3	Evaluación de la influencia de la adición de tres residuos (PET, EPS y cenizas de cáscara de huevo) en el comportamiento acústico de los ladrillos.....	94
5.2	Discusión de resultados.....	97
5.2.1	Discusión de la influencia de la adición de los tres residuos (PET, EPS y cenizas de cáscara de huevo) en el comportamiento de curado y secado de los ladrillos elaborados.....	97
5.2.2	Discusión de la influencia de la adición de los tres residuos (PET, EPS y cenizas de cáscara de huevo) en las propiedades físicas y el comportamiento mecánico de los ladrillos.....	100
5.2.3	Discusión de la influencia de la adición de los tres residuos (PET, EPS y cenizas de cáscara de huevo) en el comportamiento acústico de los ladrillos.....	103
	CONCLUSIONES.....	106
	RECOMENDACIONES.....	108

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	109
ANEXOS.....	117

ÍNDICE DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1. Operacionalización de las variables.....	19
Tabla 2. Niveles de parámetros de control.....	43
Tabla 3. Matriz de diseño experimental.....	44
Tabla 4. Datos de proporción de componentes en la mezcla.....	49
Tabla 5. Análisis de varianza de la diferencia del peso (%) del ladrillo elaborado.....	60
Tabla 6. Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) con respecto a la diferencia de peso de los ladrillos según el factor principal A : PET.....	61
Tabla 7. Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) con respecto a la diferencia de peso de los ladrillos por interacción AB.....	61
Tabla 8. Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) con respecto a la diferencia de peso de los ladrillos por interacción AC.....	62
Tabla 9. Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) con respecto a la diferencia de peso de los ladrillos por interacción BC.....	63

Tabla 10. Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) con respecto a la diferencia de peso de los ladrillos por interacción ABC.....	63
Tabla 11. Análisis de varianza del peso final (kg) de los ladrillos luego del proceso de curado y secado según tratamiento.....	64
Tabla 12. Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) el peso final (kg) de los ladrillos.....	65
Tabla 13. Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) el peso final (kg) de los ladrillos.....	65
Tabla 14. Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) el peso final (kg) de los ladrillos.....	66
Tabla 15. Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) el peso final (kg) de los ladrillos BC.....	66
Tabla 16. Análisis de varianza de la variabilidad dimensional con respecto a la longitud (mm) de los ladrillos según tratamiento.....	67
Tabla 17. Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) con respecto a la altura (%) de los ladrillos por interacción AC.....	68

Tabla 18. Análisis de varianza para la variabilidad dimensional con respecto al ancho (%) de los ladrillos según tratamiento.....	69
Tabla 19. Análisis de varianza de la variabilidad dimensional con respecto a la altura (%) de los ladrillos según tratamiento.....	70
Tabla 20. Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) con respecto a la altura (%) de los ladrillos.....	70
Tabla 21. Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) con respecto a la altura (%) de los ladrillos por interacción AB.....	71
Tabla 22. Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) con respecto a la altura (%) de los ladrillos por interacción BC.....	71
Tabla 23. Análisis de varianza del alabeo de los ladrillos elaborados.....	72
Tabla 24. Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de alabeo de los ladrillos.....	73
Tabla 25. Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de alabeo de los ladrillos.....	73

Tabla 26. Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de alabeo de los ladrillos por interacción AB.....	74
Tabla 27. Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de alabeo de los ladrillos por interacción AC.....	74
Tabla 28. Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de alabeo de los ladrillos por interacción BC.....	75
Tabla 29. Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de alabeo de los ladrillos por interacción ABC.....	76
Tabla 30. Análisis de varianza de la absorción de los ladrillos elaborados.....	77
Tabla 31. Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la absorción de los ladrillos.....	77
Tabla 32. Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la absorción de los ladrillos.....	78
Tabla 33. Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la absorción de los ladrillos por interacción AB.....	78
Tabla 34. Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la absorción de los ladrillos por interacción AC.....	79
Tabla 35. Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la absorción de los ladrillos por interacción BC.....	79

Tabla 36. Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la absorción de los ladrillos por interacción ABC.....	80
Tabla 37. Análisis de varianza de la succión de los ladrillos elaborados.....	81
Tabla 38. Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la succión de los ladrillos.....	81
Tabla 39. Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la succión de los ladrillos.....	82
Tabla 40. Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la succión de los ladrillos por interacción AB.....	82
Tabla 41. Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la succión de los ladrillos por interacción AC.....	83
Tabla 42. Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la succión de los ladrillos por interacción BC.....	83
Tabla 43. Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la succión de los ladrillos por interacción ABC.....	84
Tabla 44. Análisis de varianza de la humedad de los ladrillos elaborados.....	85
Tabla 45. Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la humedad de los ladrillos.....	85

Tabla 46. Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la humedad de los ladrillos.....	86
Tabla 47. Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la humedad de los ladrillos.....	86
Tabla 48. Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la humedad de los ladrillos por interacción AB.....	87
Tabla 49. Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la humedad de los ladrillos por interacción AC.....	87
Tabla 50. Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la humedad de los ladrillos por interacción ABC.....	88
Tabla 51. Análisis de varianza de la densidad de los ladrillos elaborados.....	89
Tabla 52. Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la densidad de los ladrillos.....	89
Tabla 53. Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la densidad de los ladrillos.....	90
Tabla 54. Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la densidad de los ladrillos.....	90
Tabla 55. Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la densidad de los ladrillos por interacción AC.....	91

Tabla 56. Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la densidad de los ladrillos por interacción BC.....	91
Tabla 57. Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la densidad de los ladrillos por interacción BC.....	92
Tabla 58. Análisis de varianza de la resistencia a la compresión de los ladrillos elaborados.....	93
Tabla 59. Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la resistencia a la compresión de los ladrillos.....	93
Tabla 60. Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la resistencia a la compresión de los ladrillos.....	94
Tabla 61. Análisis de varianza de la reducción sonora de los ladrillos.....	95
Tabla 62. Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la atenuación del sonido en la prueba de acusticidad de los ladrillos por interacción AB.....	95
Tabla 63. Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la atenuación del sonido en la prueba de acusticidad de los ladrillos por interacción AC.....	96

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1. Flujograma de las principales etapas del desarrollo de la experimentación.....	45
Figura 2. Dimensiones del molde elaborado para los ladrillos.....	46
Figura 3. Curva de curado y secado de los ladrillos elaborados.....	58
Figura 4. Diagrama de caja de la atenuación del sonido en la prueba de acusticidad de los ladrillos por tratamiento.....	97

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Matriz de consistencia.....	117
Anexo 6. Panel fotográfico del desarrollo de la investigación...	118
Anexo 7. Resultados del análisis de laboratorio de los ladrillos..	124

RESUMEN

En Perú, el manejo de residuos sólidos representa un desafío ambiental, especialmente por el aumento de residuos plásticos y orgánicos no valorizados. Esta investigación evaluó la influencia del PET, EPS y ceniza de cáscara de huevo (CCH) en la elaboración de ladrillos, aplicando un diseño factorial 2^3 , en el cual se elaboraron ocho mezclas con distintos niveles de adición de cada residuo con diez repeticiones de cada uno. Se monitoreó el peso diario durante 28 días y se evaluaron propiedades físicas, mecánicas y acústicas. Como resultados se observó que el PET favoreció la retención de humedad y estabilización del peso; el EPS redujo la densidad, pero también la resistencia mecánica; y la CCH mejoró la resistencia a la compresión teniendo un promedio en todos los resultados de 59,38 kg/cm². Aunque no se hallaron mejoras acústicas individuales, la combinación PET y EPS presentó mayor reducción sonora en comparación al ladrillo de mezcla base sin adición de residuos. El tratamiento con solo CCH (T3) mostró el mejor equilibrio global en las propiedades evaluadas. Se concluye que es viable incorporar estos residuos en ladrillos seleccionando adecuadamente las proporciones según el uso deseado.

Palabras clave: Cascara de huevo, ladrillo Residuos PET, residuos EPS.

ABSTRACT

In Peru, solid waste management represents an environmental challenge, particularly due to the increase in unrecoverable plastic and organic waste. This study evaluated the influence of PET, EPS, and eggshell ash (EAA) on brick production. This study used a 2³ factorial design. Eight mixtures were prepared with varying levels of each waste, with ten replicates of each. Daily weight was monitored for 28 days, and physical, mechanical, and acoustic properties were evaluated. Results showed that PET favored moisture retention and weight stabilization; EPS reduced density and mechanical strength; and EAA improved compressive strength, averaging 59,38 kg/cm² across all results. Although no individual acoustic improvements were found, the PET and EPS combination showed greater sound reduction compared to the base mix brick without the addition of waste. The treatment with EAA alone (T3) showed the best overall balance of the evaluated properties. It is concluded that it is feasible to incorporate these residues into bricks by appropriately selecting the proportions according to the desired use.

Keywords: Eggshell ash, brick, PET waste, EPS waste.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, el crecimiento sostenido de la población mundial ha impulsado una creciente demanda de bienes y servicios, lo que ha incrementado el consumo de materias primas. Este fenómeno se ha visto intensificado por la industrialización y el modelo económico centrado en el consumismo, factores que han ejercido una presión sobre los recursos naturales. Materias primas esenciales para la industria de la construcción, como la arcilla y la arena, se han vuelto cada vez más escasas y costosas debido a su explotación intensiva y continua.

Esta situación ha contribuido directamente al proceso de urbanización acelerada, especialmente en países de América Latina, donde el crecimiento urbano requiere una rápida expansión de infraestructuras y viviendas. En este contexto, materiales como los ladrillos adquieren una importancia estratégica, ya que son esenciales para cubrir la demanda habitacional. Sin embargo, su producción convencional implica un uso intensivo de recursos naturales, lo que no solo incrementa los costos, sino que también genera un impacto ambiental.

En Perú, según el boletín estadístico minero hasta diciembre de 2024 del (Ministerio de Energía y Minas (MINEM), 2025), la extracción de

materias primas para construcción mostró tendencias contrastantes. Mientras que la producción mensual de arcilla y arena gruesa/fina aumentó un 76,1 % y 65,4 % respectivamente (en comparación con 2023), la de caliza/dolomita, material principalmente usado en la industria cementera, se elevó drásticamente hasta llegar a valores del 120,5 %. No obstante, en términos acumulados anuales, se observó una disminución del 28,3 % en caliza/dolomita y del 20,8 % en arcilla, lo que sugiere fluctuaciones en la disponibilidad.

Esta explotación acelerada está directamente vinculada al auge del sector vivienda. Según (Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), 2025), el Índice de Precios al Consumidor (IPC), hasta enero de 2025, indica que los agregados y ladrillos representan el 6,06 % y 5,04 % de la ponderación sectorial , evidenciando su peso económico. La creciente necesidad de viviendas impulsa la demanda de ladrillos artesanales (arcilla) e industriales (cemento), pero también expone la insostenibilidad del modelo actual, basado en recursos finitos.

Frente a este panorama, la búsqueda de materiales alternativos para la elaboración de ladrillos se ha consolidado como una estrategia clave para transitar hacia modelos constructivos sostenibles. Este enfoque no

solo reduce la dependencia de materias primas vírgenes, sino que también impulsa la valorización de residuos sólidos, alineándose con los principios de la economía circular y la mitigación del impacto ambiental asociado a la construcción.

Investigaciones recientes destacan el potencial del plástico (PET), el poliestireno expandido (EPS) y residuos orgánicos como componentes para materiales constructivos. Particularmente, las cenizas provenientes de residuos orgánicos han captado la atención debido a su composición rica en óxidos metálicos, como el óxido de calcio, que puede mejorar las propiedades físicas y mecánicas de los materiales a base de cemento. No obstante, pese a los avances reportados, la escasez de estudios sobre el comportamiento de los residuos y sus interacciones en la mezcla limitan su aplicabilidad práctica y obstaculiza su implementación a escala industrial.

De tal manera, la presente investigación se centra en analizar la influencia de la adición de estos residuos, tanto de manera individual como combinada, en la elaboración de ladrillos. El objetivo es evaluar su efecto en las propiedades del producto final y aportar información que permita escalar estos resultados a niveles mayores de producción, promoviendo así

alternativas sostenibles, viables y replicables en el sector de la construcción frente a la realidad del país.

Por consiguiente, la estructura de esta investigación se organiza en cinco capítulos. El Capítulo I presenta el planteamiento del problema, que abarca la descripción, formulación, justificación, importancia, alcances y limitaciones del estudio. El Capítulo II expone los objetivos, las hipótesis y las variables de investigación. El Capítulo III desarrolla los antecedentes, las bases teóricas y la definición de términos clave. El Capítulo IV describe el marco metodológico, incluyendo el tipo y diseño de investigación, población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección, así como el procesamiento y análisis de datos. Finalmente, el Capítulo V muestra los resultados obtenidos, la discusión con base en estudios previos. Seguidamente se presentan las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

Es ampliamente reconocido que los recursos naturales se están degradando a un ritmo superior al de su capacidad de regeneración. Esta situación ha generado alteraciones ambientales de gran magnitud, algunas de las cuales podrían volverse irreversibles si no se adoptan estrategias de mitigación eficaces. En este contexto, la gestión adecuada de residuos sólidos cobra especial relevancia, en particular aquellos generados por actividades domésticas e industriales que no cuentan con un plan integral de manejo. La valorización de estos residuos, mediante su reutilización como materia prima en procesos productivos, representa una alternativa viable para reducir su impacto ambiental y avanzar hacia un modelo de desarrollo más sostenible.

El sector de la construcción se reconoce como uno de los principales consumidores de recursos naturales y generadores de residuos sólidos, concentrando entre el 20 % y el 30 % de su volumen total a nivel global. Entre sus insumos más demandados se encuentran los ladrillos, cuya fabricación tradicional, ya sea mediante cocción o por métodos basados en cemento, conlleva una alta demanda de materiales vírgenes, un consumo

energético significativo y la emisión de gases de efecto invernadero, contribuyendo de forma directa al cambio climático. En particular, la extracción intensiva de arcilla y agregados genera impactos como la degradación del suelo, pérdida de biodiversidad y afectación de cuerpos de agua.

De manera simultánea, la acumulación de residuos sólidos es un desafío ambiental de gran magnitud. Los residuos plásticos como el PET (polietileno tereftalato) y el EPS (poliestireno expandido) son materiales de muy baja biodegradabilidad que pueden permanecer en el ambiente por siglos, fragmentándose en microplásticos que contaminan ecosistemas terrestres y acuáticos, e incluso pueden afectar la salud humana a través de la cadena alimentaria. Las cáscaras de huevo, por otro lado, son un subproducto orgánico que, aunque menos persistente, su acumulación en gran volumen, principalmente en zonas urbanas, también requiere estrategias de gestión adecuadas.

Frente a esta problemática, la reutilización de estos residuos en la elaboración de materiales de construcción como los ladrillos de cemento representa una oportunidad para mitigar su impacto ambiental, reducir la demanda de recursos no renovables y disminuir el costo de producción.

Diversos estudios han sugerido que la incorporación de estos residuos puede modificar favorablemente algunas propiedades del producto final, como la resistencia mecánica, el aislamiento térmico y acústico, y la durabilidad. Asimismo, esta práctica se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente el ODS 12 (Producción y Consumo Responsables) y el ODS 13 (Acción por el Clima), al fomentar procesos más eficientes y menos contaminantes.

Sin embargo, para considerar viable esta alternativa, desde el punto de vista técnico, es necesario evaluar la incorporación de dichos residuos frente a su compatibilidad en la mezcla y su comportamiento en las propiedades del ladrillo para con ello poder calcular la viabilidad de su escalamiento y replicabilidad desde un punto de vista económico (Balvin et al., 2019).

En este marco, con la finalidad de aportar evidencia técnica para el desarrollo de materiales de construcción más sostenibles y contribuir a la gestión adecuada de residuos sólidos en el contexto local de Tacna y en otras regiones con problemáticas similares; el presente estudio se centró en la elaboración de ladrillos incorporando residuos de PET, EPS y ceniza de cáscara de huevo, con el objetivo de evaluar su influencia en el

comportamiento de curado y secado, así como en sus propiedades físicas y el comportamiento mecánica y acústico del producto final.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Formulación del problema general

¿En qué medida influye la adición de tres residuos (PET, EPS y cenizas de cáscara de huevo) en la elaboración de ladrillos?

1.2.2 Formulación de los problemas específicos

¿Cómo influye la adición de tres residuos (PET, EPS y cenizas de cáscara de huevo) en el comportamiento de curado y secado de los ladrillos?

¿Cuál es la influencia de la adición de tres residuos (PET, EPS y cenizas de cáscara de huevo) en las propiedades físicas y el comportamiento mecánico de los ladrillos?

¿Cuál es la influencia de la adición de tres residuos (PET, EPS y cenizas de cáscara de huevo) en el comportamiento acústico de los ladrillos?

1.3 Delimitación de la investigación

1.3.1 Delimitación temporal

La fase experimental de la investigación se estructuró en tres etapas consecutivas. En primer lugar, la elaboración de los ladrillos de cemento, de acuerdo a su proporción del diseño experimental (tratamiento por factores), se realizó en tres días. Posteriormente, cada espécimen por tratamiento fue sometidos a un proceso de curado durante 7 días continuos, seguido de una etapa de secado al aire ambiente hasta completar un total de 28 días, conforme a los criterios técnicos mínimos establecidos para ladrillos. Una vez finalizado el proceso de secado, se procedió a la ejecución de los ensayos experimentales para la evaluación de las propiedades físicas, el comportamiento mecánico y el comportamiento acústico de los ladrillos elaborados.

1.3.1 Delimitación espacial

La elaboración de ladrillos, así como su curado y secado, se llevaron a cabo en el Centro de Investigación de Ingeniería Ambiental (CIIA) de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental (ESAM) de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann (UNJBG).

Los ensayos correspondientes a la evaluación de las propiedades físicas y del comportamiento acústico se llevaron a cabo en el Laboratorio de Análisis de Aguas (LAA) de la ESAM. Por otro lado, los ensayos del comportamiento mecánico se desarrollaron en el Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concretos y Pavimentos de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, perteneciente a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna.

1.4 Justificación de la investigación

1.4.1 Justificación ambiental

Desde una perspectiva ambiental, la presente investigación se justificó por su contribución al aprovechamiento de residuos sólidos de difícil degradación mediante su incorporación como insumos alternativos en la elaboración de ladrillos. La evaluación de residuos como el tereftalato de polietileno (PET), el poliestireno expandido (EPS) y la ceniza de cáscara de huevo responden a la necesidad de reducir la presión sobre fuentes de materias primas no renovables, utilizadas comúnmente en la industria de construcción. Esta estrategia se orienta a minimizar la alteración de ecosistemas vinculados a la extracción de recursos naturales y reducir el consumo energético asociado a las etapas de extracción, transporte y procesamiento de agregados tradicionales.

Asimismo, la integración de estos residuos permite plantear alternativa técnica orientada a disminuir los volúmenes de desechos enviados a disposición final, en particular aquellos que, por su composición, presentan baja biodegradabilidad o son escasamente reciclados en el entorno local.

La investigación se enmarcó en los principios de economía circular y gestión ambiental sostenible, generando evidencia experimental sobre la viabilidad de incorporar estos residuos en materiales de construcción y con el fin de proponer una alternativa de producto con menor impacto ambiental y con potencial de aplicación en la industria, contribuyendo a la transición hacia modelos productivos más sostenibles.

1.4.2 Justificación económica

Desde una perspectiva económica, se justificó por su potencial para reducir los costos de producción mediante el uso de residuos sólidos como insumos alternativos para la elaboración de ladrillos. La incorporación de materiales como PET, EPS y ceniza de cáscara de huevo permite sustituir parcialmente agregados convencionales, lo que se traduce en una disminución del gasto en materias primas vírgenes, cuyo precio se ve

influenciado por factores como la demanda del sector construcción, la escasez local y los costos de transporte.

Esta reducción de costos puede traducirse en un producto final más accesible, mejorando la competitividad del sector, en especial para pequeños y medianos productores. Asimismo, la elaboración de ladrillos con materiales reciclados puede incentivar la diversificación de procesos productivos en empresas locales, promoviendo la innovación tecnológica y la apertura de nuevos nichos de mercado enfocados en soluciones sostenibles.

Por otro lado, la implementación de estas tecnologías puede dinamizar economías locales mediante la generación de empleo en actividades relacionadas con la recolección, clasificación, procesamiento y transformación de residuos. Además, se fomenta la capacitación en técnicas de producción sostenible, lo cual contribuye al desarrollo de capacidades técnicas y al fortalecimiento de cadenas de valor basadas en principios de economía circular.

En conjunto, el enfoque propuesto no solo representa una estrategia viable para optimizar recursos y reducir costos, sino que también ofrece

oportunidades para estimular el crecimiento económico local y regional a través de prácticas ambiental y socialmente responsables.

1.4.3 Justificación social

Desde una perspectiva social, la presente investigación se justificó por su contribución al desarrollo de soluciones técnicas frente a problemáticas ambientales que afectan directamente a las comunidades, como la acumulación de residuos no biodegradables y la escasez de materiales de construcción accesibles. La propuesta de incorporar residuos como el PET, EPS y ceniza de cáscara de huevo en la elaboración de ladrillos de cemento plantea una alternativa sostenible con potencial de replicabilidad en otras regiones que enfrentan desafíos similares en la gestión de residuos sólidos.

Asimismo, el presente estudio tuvo como propósito proponer un producto innovador que sirviera como base para el desarrollo de iniciativas de economía social, a través de la generación de empleo en actividades relacionadas con la producción, comercialización y capacitación en técnicas de construcción sostenible. Este enfoque buscó fortalecer las capacidades técnicas de la población local, mejorar las oportunidades de inserción laboral y fomentar el surgimiento de emprendimientos orientados

al aprovechamiento de residuos disponibles en el entorno. La propuesta planteada posee potencial de aplicación tanto en contextos urbanos como rurales con recursos limitados, contribuyendo al bienestar colectivo y al establecimiento de una cultura orientada a la sostenibilidad.

1.5 Limitaciones

La presente investigación no presentó restricciones limitativas en cuanto a la disponibilidad de materiales, ya que los residuos seleccionados, polietileno tereftalato (PET), poliestireno expandido (EPS) y cáscara de huevo, fueron de fácil acceso y recolección en el entorno local.

No obstante, es importante considerar que la elaboración de los ladrillos se llevó a cabo mediante un proceso completamente artesanal, lo cual implicó el mezclado manual de los componentes, así como el vaciado y desmolde sin el uso de maquinaria especializada. Aunque se procuró mantener una metodología operativa uniforme a lo largo de toda la fabricación, la ausencia de equipos estandarizados podría haber introducido ligeras variaciones en la compactación y homogeneidad de las unidades. Por tanto, los resultados obtenidos corresponden a un sistema de producción artesanal, lo que debe tomarse en cuenta al interpretar los datos o al proyectar su aplicabilidad en contextos industriales.

Asimismo, las mediciones del comportamiento acústico deben interpretarse como comparaciones relativas entre los tratamientos por factores evaluados, según la metodología experimental aplicada, y no como valores absolutos de desempeño. Esta consideración se debe a que los ensayos no se llevaron a cabo bajo condiciones normalizadas ni con equipamiento especializado conforme a estándares técnicos internacionales para la determinación del aislamiento acústico de materiales, como la norma ISO 10140 o la ASTM E90. Esta situación estuvo asociada a la disponibilidad limitada de un laboratorio con la infraestructura y los instrumentos específicos requeridos para este tipo de evaluaciones.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos

2.1.1 Objetivo general

Evaluar la influencia de la adición de tres residuos (PET, EPS y cenizas de cáscara de huevo) en la elaboración de ladrillos.

2.1.2 Objetivos específicos

Estudiar la influencia de la adición de tres residuos (PET, EPS y cenizas de cáscara de huevo) en el comportamiento de curado y secado de los ladrillos.

Analizar la influencia de la adición de tres residuos (PET, EPS y cenizas de cáscara de huevo) en las propiedades físicas y el comportamiento mecánico de los ladrillos.

Evaluar la influencia de la adición de tres residuos (PET, EPS y cenizas de cáscara de huevo) en el comportamiento acústico de los ladrillos.

2.2 Hipótesis

2.2.1 Hipótesis general

La adición de tres residuos (PET, EPS y cenizas de cáscara de huevo) en la elaboración de ladrillos demuestra una diferencia significativa en comparación a los ladrillos comerciales.

2.2.2 Hipótesis específicas

La adición de tres residuos (PET, EPS y cenizas de cáscara de huevo) influye en el comportamiento de curado y secado de los ladrillos elaborados.

La adición de tres residuos (PET, EPS y cenizas de cáscara de huevo) influye en las propiedades físicas y el comportamiento mecánico de los ladrillos elaborados.

La adición de tres residuos (PET, EPS y cenizas) influye en el comportamiento acústico de los ladrillos elaborados.

2.3 Variables

2.3.1 Variable independiente

Residuo PET

Residuo EPS

Ceniza de cáscara de huevo

2.3.2 Variable dependiente

Ladrillo

2.3.3 Operalización de variables

En la Tabla 1 se especifican las variables de estudio, incluyendo sus dimensiones e indicadores correspondientes, que fueron empleados en el marco metodológico de la investigación

Tabla 1

Operacionalización de las variables

Variable	Dimensión	Indicadores	Método
Independiente			
X ₁ :			
Residuo PET			
X ₂ :			
Residuo EPS	Características físicas	Cantidad (g)	Pesado en balanza digital
X ₃ :			
Ceniza de cáscara de huevo		Proporción (%)	Cálculo porcentual respecto a la masa total de la mezcla del ladrillo
Dependiente			
	Características físicas	Variabilidad dimensional (mm)	Medición métrica directa
		Alabeo (mm)	Medición métrica directa
		Absorción (%)	Análisis gravimétrico
		Succión (g/200 cm ² min)	Análisis gravimétrico
		Humedad (%)	Cálculo directa
Y: Ladrillo		Densidad (kg/m ³)	masa/volumen
	Característica mecánica	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Ensayo de compresión
	Comportamiento acústico	Reducción sonora (dBA)	Prueba con sonómetro

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

3.1 Antecedentes bibliográficos

De acuerdo al primer objetivo específico, se puede mencionar a Kazmi et al. (2017) que evaluaron el tiempo de secado y la contracción de secado de ladrillos de arcilla con adición de desechos de arroz y resina de PET. El mejor tratamiento fue la adición de 5% de desechos de arroz y 10% de resina de PET, logrando una reducción del 25% en el tiempo de secado y una contracción de secado del 6,5%.

Aware y Gonbare (2020) estudiaron el tiempo de secado y la resistencia a la compresión de ladrillos con residuos plásticos y cenizas volantes. El mejor tratamiento fue la adición de 10% de residuos plásticos y 20% de cenizas volantes, reduciendo el tiempo de secado en un 30% y mejorando la resistencia a la compresión en un 15%.

Singh y Srivastava (2019) investigaron el tiempo de secado y la eficiencia energética de ladrillos aislantes ligeros con residuos celulósicos. El mejor tratamiento fue la adición de 25% de residuos celulósicos, logrando una reducción del 40% en el tiempo de secado y un ahorro energético del 20% durante la cocción.

Mymrine et al. (2019) evaluaron el tiempo de secado y la resistencia a la compresión de ladrillos con residuos de concreto. El mejor tratamiento fue la adición de 30% de residuos de concreto, reduciendo el tiempo de secado en un 20% y mejorando la resistencia a la compresión en un 10%.

Rahmani et al. (2014) analizaron el tiempo de secado y la trabajabilidad de hormigón ligero con cenizas de cáscara de arroz. El mejor tratamiento fue la adición de 20% de cenizas de cáscara de arroz, reduciendo el tiempo de secado en un 15% y mejorando la trabajabilidad de la mezcla.

En relación con el segundo objetivo específico, la investigación realizada por Castro y Mori (2021) evaluó la incorporación de fibras de plástico reciclado en proporciones del 3%, 7% y 15%, como reemplazo parcial del agregado fino. Se determinó que el mayor valor de resistencia a la compresión del concreto se alcanzó con una dosificación del 7% de fibra, registrándose un $f'm$ de 58 kg/cm². Asimismo, los bloques de concreto ensayados cumplieron con los criterios establecidos por la normativa peruana en cuanto al alabeo (máximo de 4 mm), la variabilidad dimensional (inferior al 1%) y la absorción de agua, cuyos valores oscilaron entre 2,17% y 2,26%, manteniéndose por debajo del límite permitido del 12%.

(Murthi y Poongodi, 2023) demuestra que se reemplaza el cemento al 10% por el ESP sin afectar la resistencia de la mampostería. El comportamiento de retención de agua del mortero de mampostería se mejoró gracias a la adición de ESP. Con 0% tiene 100 kg/cm³ mientras que con una adición de 5 al 10 % se mantuvo en 98, en 15 % 90,27 y 74,08 kg/cm³ con un 20 %

En el estudio de Pérez Pérez y Zamora Fernández (2020), se elaboraron un total de 28 bloques de concreto: 4 bloques patrón sin fibra de plástico y 24 bloques con adición de fibra de plástico reciclado en proporciones del 5%, 10% y 20%, reduciendo proporcionalmente la cantidad de arena. Las muestras fueron evaluadas a los 7, 14 y 28 días con el fin de analizar su comportamiento mecánico. En el ensayo de resistencia a la compresión, el mayor valor se obtuvo con la muestra que contenía un 20% de fibra, alcanzando un promedio de 68,70 kg/cm². Este valor representa un incremento del 47,54% respecto al bloque patrón, un 27,49% superior al bloque con 5% de fibra y un 14,83% más que el bloque con 10% de fibra, todo ello medido a los 28 días de curado. Además, los resultados superaron ampliamente el requisito mínimo de resistencia establecido por la Norma Técnica Peruana E-080, que es de 10,02 kg/cm².

Gómez (2023) se demostró que la adición de ceniza de cáscara de huevo y plástico PET reciclado mejoró significativamente las propiedades físico-mecánicas del ladrillo artesanal para viviendas. Las tres adiciones realizadas tuvieron un impacto positivo en la mejora de estas propiedades. Específicamente, la combinación que logró la mayor mejora en la resistencia a la flexión y compresión fue la de 10% de ceniza de cáscara de huevo y 4% de plástico PET reciclado. Además, estos ladrillos superaron la resistencia mínima establecida por la norma E. 070.

Rashid et al. (2021) investigaron la resistencia a la compresión y la densidad de concreto con residuos plásticos como sustituto de agregados. El mejor tratamiento fue la adición de 20% de residuos plásticos, logrando un aumento del 15% en la resistencia a la compresión y una reducción del 10% en la densidad.

Akhtar y Kim (2017) evaluaron el aislamiento térmico y la densidad de concreto ligero con residuos de EPS para aplicaciones de albañilería. El mejor tratamiento fue la adición de 30% de residuos de EPS, mejorando el aislamiento térmico en un 25% y reduciendo la densidad en un 20%.

Neves et al. (2015) estudiaron la resistencia a la compresión y la durabilidad de concreto con cenizas de cáscara de huevo como agregado. El mejor tratamiento fue la adición de 10% de cenizas de cáscara de huevo, aumentando la resistencia a la compresión en un 12% y mejorando la durabilidad del concreto.

Aprianti (2017) revisó el uso de diferentes materiales de desecho como materiales cementantes suplementarios en la producción de concreto. El mejor tratamiento fue la combinación de cenizas volantes y humo de sílice, mejorando la resistencia mecánica en un 20% y la durabilidad del concreto.

Chindaprasirt y Rukzon (2008) evaluaron la resistencia a la compresión y la resistencia a la corrosión de morteros con cenizas de cáscara de arroz y cenizas volantes. El mejor tratamiento fue la adición de 20% de cenizas de cáscara de arroz y 10% de cenizas volantes, aumentando la resistencia a la compresión en un 18% y mejorando la resistencia a la corrosión.

Para el tercer objetivo específico, (Rivera, 2017) En su investigación que determinó de qué manera la incorporación de fibras de caucho de

neumático en bloques de concreto hueco disminuye la contaminación acústica. Como resultados encontró que su bloque de concreto con 0 % de fibra de carbono obtuvo una disminución del sonido del 27,92 % que se tradujo en la reducción de 14,92 dBA, en cambio con una adición del 20% de dicho residuo se llegó a una disminución del 37,66 % que se connotó en 35,35 dBA.

Wong et al. (2016) investigaron el aislamiento térmico y la conductividad térmica de bloques de concreto con residuos de PET. El mejor tratamiento fue la adición de 15% de residuos de PET, logrando una mejora del 25% en el aislamiento térmico y una reducción del 15% en la conductividad térmica.

Kulkarni et al. (2020) revisaron el uso de diversos materiales de desecho en la producción de concreto sostenible. El mejor tratamiento fue la combinación de cenizas volantes, humo de sílice y residuos de caucho, mejorando el aislamiento térmico en un 30% y el aislamiento acústico en un 25%.

3.2 Bases teóricas

3.2.1 Tereftalato de polietileno (PET)

El Tereftalato de Polietileno (PET) material sintético del grupo de poliésteres, químicamente el PET es un polímero termoplástico lineal que se obtiene mediante una reacción de policondensación entre el Ácido Tereftálico y el Etilenglico, su fórmula química es la siguiente:

El PET, conocido por su ligereza, resistencia mecánica a la compresión y caídas, así como por su transparencia y brillo, es un material versátil ampliamente utilizado en la industria del envasado. No solo preserva el sabor y aroma de los alimentos, sino que también actúa como una barrera eficaz contra los gases, manteniendo la frescura de los productos envasados. Identificable por el número uno o las siglas PET/PETE en inglés, rodeado por tres flechas en el fondo de los envases, conforme al sistema de identificación SPI, este material es altamente valorado por su capacidad de reciclaje al ser 100% reciclable. En síntesis, el PET representa un plástico de alta calidad con la ventaja adicional de ser reutilizable, lo que lo convierte en una opción ecoamigable para el envasado de diversos productos.

3.2.1.1 Propiedades del PET

Las características del polietileno tereftalato (PET) lo convierten en un material sumamente versátil y valioso en una variedad de aplicaciones industriales y de consumo. La transparencia del PET lo hace especialmente idóneo para envases de alimentos y bebidas, como botellas de agua, proporcionando a los consumidores una visión clara del contenido y asegurando una elección informada al comprar productos envasados. Su resistencia mecánica permite que soporte manipulaciones y transporte sin deformarse o romperse fácilmente, lo que lo hace apropiado para envases que necesitan resistir impactos o golpes durante el manejo (Smith Y Johnson, 2019). Además, su resistencia térmica lo convierte en una opción segura para aplicaciones que involucran contacto con alimentos calientes o procesos de envasado en caliente, preservando así la seguridad y la calidad del producto.

El PET también exhibe una notable resistencia química, lo que lo hace apto para productos de limpieza y otros productos químicos, evitando su degradación cuando entra en contacto con sustancias corrosivas (Martínez Y Pérez, 2021). Su estabilidad dimensional es esencial en la fabricación de componentes industriales y piezas de maquinaria, garantizando la precisión y la integridad estructural a lo largo del tiempo

(López Y Gutiérrez, 2022). Además, actúa como una barrera efectiva contra la humedad, protegiendo los productos envasados de la entrada de humedad y preservando su calidad durante el almacenamiento y transporte (Rodríguez et al., 2019).

En cuanto a su reciclabilidad, el PET ofrece la ventaja de ser recolectado, procesado y reciclado para su reutilización, contribuyendo así a la reducción de residuos plásticos y promoviendo la sostenibilidad ambiental (Sánchez Y González, 2020).

3.2.1.2 Usos y/o aplicaciones del PET

En términos de aplicaciones, el PET se encuentra en una amplia gama de productos, desde envases de alimentos y bebidas hasta fibras textiles y componentes industriales. En la industria alimentaria, su transparencia y resistencia son ideales para botellas de agua, refrescos y envases de productos lácteos (Díaz y Molina, 2017). En el sector de cuidado personal y limpieza, su resistencia química lo hace apto para champús, acondicionadores y productos de limpieza doméstica (Fernández et al., 2018). En la industria textil, las fibras de PET ofrecen durabilidad y facilidad de cuidado en prendas de vestir y textiles para el hogar (Pérez y Ramos, 2020). Además, se utiliza en envases farmacéuticos, componentes

industriales y eléctricos, embalajes y películas, así como en aplicaciones médicas como equipos de diagnóstico por imágenes (Gómez y Ortiz, 2021).

Estas diversas aplicaciones demuestran la versatilidad y la importancia del PET en numerosas industrias, destacando su papel fundamental en la preservación de la calidad de productos envasados y la promoción de la sostenibilidad ambiental.

3.2.1.3 Impacto ambiental del PET

Las botellas de PET y otros plásticos tienen una tasa de degradación natural que puede extenderse a varios cientos de años. Durante este largo proceso, estos materiales liberan sustancias y productos químicos nocivos que contaminan tanto el suelo como la salud de la amplia biodiversidad y el entorno natural.

3.2.1.4 Reciclaje del PET

a. *Reciclaje mecánico o físico*

- Ventajas: Es un método directo y relativamente sencillo, con costos de operación bajos y la capacidad de reciclar grandes volúmenes de residuos.

- Limitaciones: La calidad del PET reciclado puede disminuir con cada ciclo debido a la degradación térmica y la contaminación con otros materiales.

b. *Reciclaje químico*

- Ventajas: Permite la recuperación de materias primas de alta pureza que pueden ser utilizadas para producir nuevo PET con calidad virgen.
- Limitaciones: Es un proceso más complejo y costoso en comparación con el reciclaje mecánico. Requiere instalaciones especializadas y el manejo de sustancias químicas.

c. *Reciclaje energético*

- Ventajas: Reduce el volumen de residuos en vertederos y recupera energía contenida en los materiales.
- Limitaciones: La incineración puede liberar contaminantes y requiere sistemas de control de emisiones. Además, no recupera el material en sí, sino solo su contenido energético.

3.2.2 Tereftalato de polietileno (EPS)

El poliestireno expandido (EPS) es un material plástico derivado del estireno, conocido por su ligereza, resistencia a impactos y propiedades aislantes. Es ampliamente utilizado en la industria del embalaje, la construcción y en productos de consumo.

3.2.2.1 Propiedades:

a. Físicas

Baja densidad, alta capacidad de absorción de impactos y excelente capacidad de aislamiento térmico.

b. Mecánicas

Buena resistencia a la compresión y flexión.

c. Térmicas

Excelentes propiedades de aislamiento térmico, lo que lo hace ideal para la construcción.

d. Acústicas

Capacidad de absorción del sonido, lo que mejora la insonorización.

3.2.3 Cáscara de huevo

La cáscara de huevo, un residuo común en la industria alimentaria, está compuesta principalmente de carbonato de calcio (CaCO_3), con pequeñas cantidades de proteínas y otros minerales. Su uso en la fabricación de ladrillos presenta varias ventajas.

3.2.3.1 Propiedades:

a. Física

Alta rigidez y capacidad de formar estructuras compactas.

b. Mecánicas

Mejora la resistencia a la compresión cuando se mezcla con materiales de construcción.

c. Térmicas

Aporta propiedades de aislamiento térmico debido a su composición mineral.

d. Acústicas

Puede mejorar la absorción del sonido en las estructuras.

3.2.4 Unidades de albañilería

Las unidades de albañilería, comúnmente conocidas como ladrillos, son elementos fundamentales en la construcción. Se fabrican a partir de diversas materias primas y se clasifican según sus propiedades y aplicaciones.

3.2.4.1 Tipos

a. *Materia prima y fabricación:*

Los ladrillos pueden estar hechos de arcilla, concreto o materiales reciclados. El proceso de fabricación incluye la preparación de la mezcla, moldeado, secado y cocción (para ladrillos de arcilla) o curado (para ladrillos de concreto).

b. *Clasificación:*

- Según huecos: ladrillos macizos y ladrillos huecos.
- Según fines estructurales: ladrillos portantes (estructurales) y no portantes (no estructurales).

c. Limitaciones

Pueden presentar variaciones en la calidad y resistencia debido a la heterogeneidad de las materias primas. La durabilidad y la resistencia a factores ambientales también pueden variar.

d. Propiedades

- Físicas: densidad, absorción de agua, y resistencia al desgaste.
- Mecánicas: resistencia a la compresión, flexión y corte.
- Térmicas: capacidad de aislamiento térmico, que depende del material y la estructura del ladrillo.
- Acústicas: propiedades de aislamiento acústico, importantes para la insonorización de edificios.

3.2.4.1 Materiales para la fabricación

a. Cemento

El cemento actúa como agente aglutinante que proporciona cohesión a los distintos componentes de la mezcla. Su composición principal incluye caliza y arcilla (Hidalgo y Poveda,2013).

b. Agua

El agua cumple un rol esencial en la fabricación del concreto, ya que influye directamente en su resistencia mecánica, facilidad de manipulación durante el mezclado y comportamiento del material una vez endurecido (López y Pinedo, 2015).

c. Agregados

los agregados se dividen en dos tipos: finos y gruesos. Estos pueden ser de origen natural, como la arena y la grava, formados por procesos de meteorización y acción hidráulica, o de origen artificial, como el polvo de piedra y el ripio triturado, los cuales se obtienen mediante procesos mecánicos.

3.3 Definición de términos

3.3.1 PET

El polietileno tereftalato (PET) es un poliéster termoplástico derivado del petróleo, utilizado comúnmente en la fabricación de botellas y envases para alimentos y bebidas (Rahim et al., 2022).

3.3.2 EPS

El poliestireno expandido (EPS) es un material plástico espumado rígido y ligero que se utiliza comúnmente como aislamiento térmico y material de embalaje (Pakharin et al., 2021).

3.3.3 Cenizas

Las cenizas son residuos sólidos inorgánicos que quedan después de la combustión completa de un material orgánico, como la madera, el carbón o los desechos agrícolas (Chindaprasirt y Rukzon, 2008).

3.3.4 Ladrillo

Un ladrillo es una pieza pequeña y sólida de construcción, generalmente hecha de arcilla cocida, utilizada en la construcción de muros, pavimentos y otros elementos arquitectónicos (NTP 399.613, 2017).

3.3.5 Ladrillo ecológico

Los ladrillos ecológicos son aquellos que se fabrican utilizando materiales reciclados, residuos industriales o subproductos agrícolas, lo que los convierte en una alternativa más sostenible en comparación con los ladrillos convencionales (Aware y Gonbare, 2020).

3.3.6 Propiedad acústica

Las propiedades acústicas de un material se refieren a su capacidad para atenuar o transmitir el sonido, lo que determina su desempeño en términos de aislamiento acústico y control del ruido (ISO 10140-2:2010).

3.3.7 Propiedad térmica

Las propiedades térmicas de un material se refieren a su capacidad para conducir, almacenar o transferir calor, lo que determina su desempeño en términos de aislamiento térmico y eficiencia energética (ASTM C177-19, 2019).

3.3.8 Propiedad física

Las propiedades físicas de un material son aquellas características que pueden ser observadas o medidas sin alterar la composición química del material, como la densidad, la porosidad, la absorción de agua, entre otras (Mehta y Monteiro, 2016).

3.3.9 Propiedad química

Las propiedades químicas de un material se refieren a su composición química y a las reacciones que pueden ocurrir entre sus

componentes y otros compuestos, lo que determina su comportamiento y durabilidad en diferentes entornos (Gerónimo y Gómez, 2017).

3.3.10 Mortero

El mortero es una mezcla plástica y maleable de cemento, arena, agua y, en algunos casos, aditivos, que se utiliza como material de unión o revestimiento en la construcción (NTP 399.605, 2013).

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Tipo y diseño de investigación

4.1.1. Tipo de investigación

La investigación adoptó un enfoque cuantitativo, ya que se centró en la medición y análisis de datos numéricos recolectados de manera sistemática y objetiva.

4.1.2. Nivel de investigación

El nivel de la investigación fue aplicativo, ya que implicó la transferencia y adaptación de conceptos teóricos a la práctica con el objetivo de desarrollar una propuesta técnica para la elaboración de ladrillos a partir de materiales reciclados.

4.1.3 Diseño de investigación

Se seleccionó un diseño experimental en el que se controlaron todas las variables independientes. Los grupos experimentales fueron asignados aleatoriamente para evitar sesgos y garantizar que las diferencias observadas entre ellos se atribuyeran exclusivamente a la variable independiente (la incorporación de residuos). Este enfoque permitió una comparación rigurosa y precisa de las propiedades de los ladrillos

fabricados con distintos residuos en contraste con los ladrillos comerciales. Asimismo, se implementaron procedimientos estrictos de control y monitoreo para asegurar la reproducibilidad y confiabilidad de los resultados.

4.2 Lugar de estudio

La investigación se desarrolló en las instalaciones de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, específicamente en la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, que corresponde a la Facultad de Ciencias Agropecuarias, ubicada en el distrito y región de Tacna.

4.3 Población y muestra de estudio

4.3.1 Población

La población de la presente investigación estuvo conformada por los tres tipos de residuos seleccionados: tereftalato de polietileno (PET), poliestireno expandido (EPS) y cáscara de huevo, los cuales fueron considerados en función de su disponibilidad en el ámbito local del distrito de Tacna.

4.3.2 Muestra

De cada residuo se recolectó una cantidad suficiente para permitir la elaboración de los lotes experimentales de ladrillos, conformados por 10 unidades (especímenes) por mezcla. Las dosificaciones fueron definidas de acuerdo con los porcentajes establecidos para cada uno de los tres residuos, conforme al diseño estadístico planteado. Los ladrillos fabricados constituyeron el conjunto representativo empleado para la evaluación de sus propiedades.

En cuanto a la cantidad recolectada, se obtuvo un total de 20 kg de PET reciclado, 2 kg de poliestireno expandido (EPS) y 10 kg de cáscara de huevo, esta última destinada a la producción de ceniza mediante un proceso de calcinación controlada.

4.3.3 Muestreo

El muestreo de los residuos fue de tipo no probabilístico por conveniencia, basado en la accesibilidad y disponibilidad del material en distintas zonas del distrito de Tacna. El PET reciclado fue obtenido de la empresa local "Q'omer S.A.C.", dedicada al comercio y procesamiento de plásticos. Los residuos de EPS se recolectaron en puntos de acopio informal y contenedores de residuos sólidos ubicados en la zona comercial

de la avenida Coronel Mendoza. Por su parte, las cáscaras de huevo se obtuvieron de panaderías y pastelerías situadas en los alrededores de dicha zona.

Para la selección de los ladrillos a ser analizados, se aplicó un muestreo aleatorio estratificado. Este consistió en dividir la población total de ladrillos elaborados en estratos según las combinaciones de proporciones de residuos utilizadas (tratamientos por factores), y luego seleccionar aleatoriamente un número igual de unidades por cada estrato. Asimismo, el número de especímenes seleccionados por tratamiento se determinó en función de los requisitos establecidos por las normas técnicas correspondientes a los ensayos de laboratorio, con el fin de garantizar la validez de los resultados obtenidos.

4.4 Metodología

4.4.1 Diseño estadístico

Se aplicó un diseño factorial 2^3 con el objetivo de evaluar la influencia de tres variables independientes: residuos de tereftalato de polietileno (PET), poliestireno expandido (EPS) y ceniza de cáscara de huevo (CCH), tanto de forma individual (efectos principales) como en sus interacciones. Estas variables fueron analizadas con respecto a su comportamiento en el

secado, propiedades físicas, comportamiento mecánico y acústico de los ladrillos elaborados.

El diseño factorial comprendió 8 tratamientos (corridas experimentales), correspondientes a todas las combinaciones posibles entre los niveles alto (+) y bajo (–) de los tres factores. Cada mezcla fue elaborada en un lote de 10 unidades, lo que resultó en un total de 80 unidades experimentales. La selección de estos tres factores y sus niveles se fundamentó en antecedentes bibliográficos relevantes, como los estudios realizados por Gómez (2023) y Ambicho (2022), quienes demostraron la viabilidad de incorporar estos residuos en materiales de construcción. En la tabla 2 se presentan los factores considerados, sus respectivas unidades de medida y los niveles establecidos para el análisis experimental. En la tabla 3 se muestra el despliegue de cada factor y su consideración como número de tratamiento.

Tabla 2

Niveles de parámetros de control

Parámetro de control	Niveles	
Factor A: Tereftalato de polietileno (PET)	- 0%	- 14,3 %
Factor B: Poliestireno expandido (EPS)	- 0 %	- 14,3 %
Factor C: Ceniza de cáscara de huevo (CCH)	- 0 %	- 3,6 %

Tabla 3*Matriz de diseño experimental*

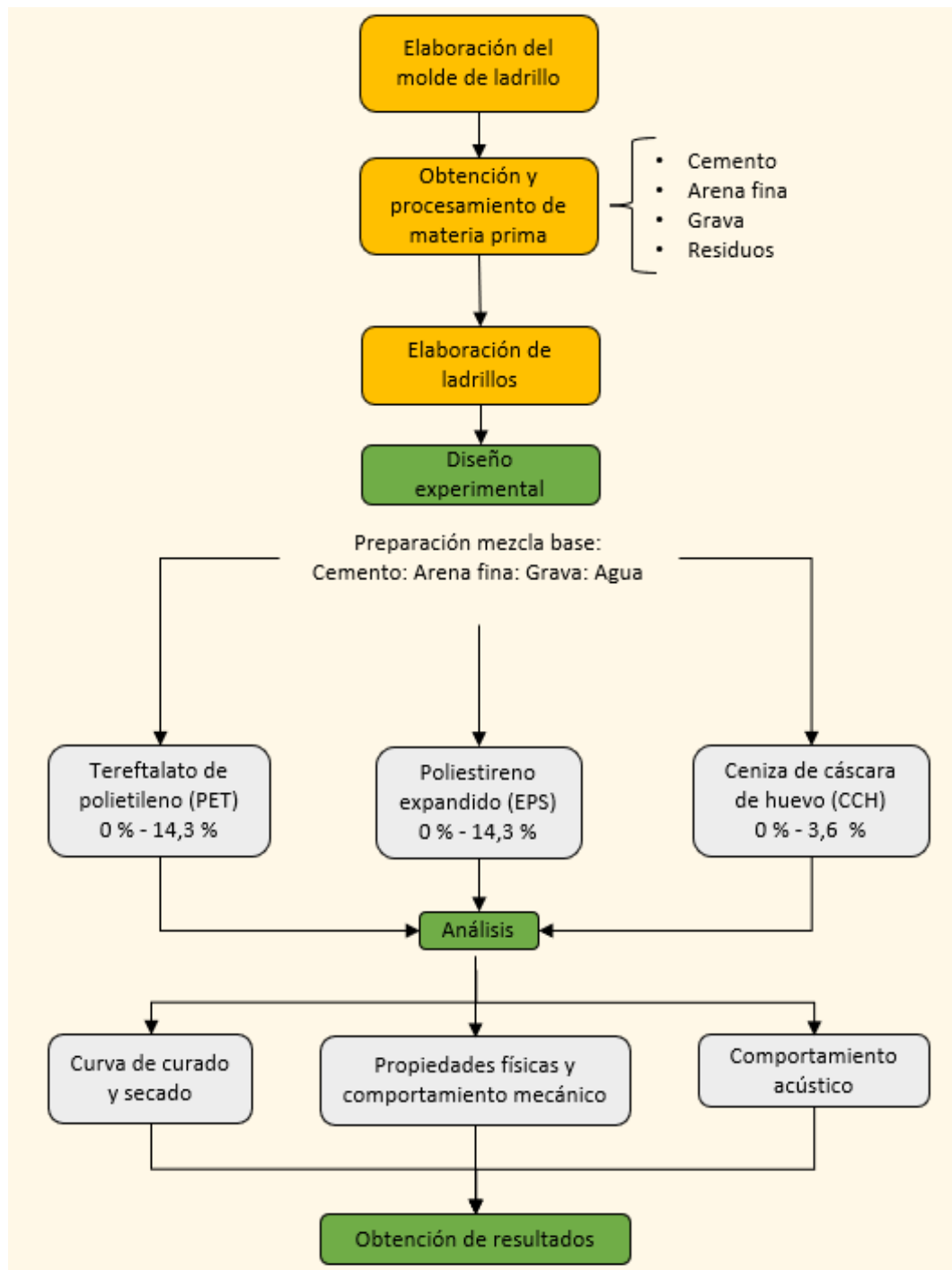
Factor A: PET	Factor B: EPS	Factor C: CCH	Tratamiento
0	0	0	T0
14,3	0	0	T1
0	14,3	0	T2
0	0	3,6	T3
14,3	0	3,6	T4
14,3	14,3	0	T5
0	14,3	3,6	T6
14,3	14,3	3,6	T7

4.4.2 Procedimiento experimental

El desarrollo experimental se llevó a cabo en diversas etapas secuenciales. La figura 1 presenta un esquema detallado del proceso, el cual abarcó desde la recolección y acondicionamiento de los residuos hasta la elaboración y evaluación final de las propiedades de los ladrillos.

Figura 1

Flujograma de las principales etapas del desarrollo de la experimentación



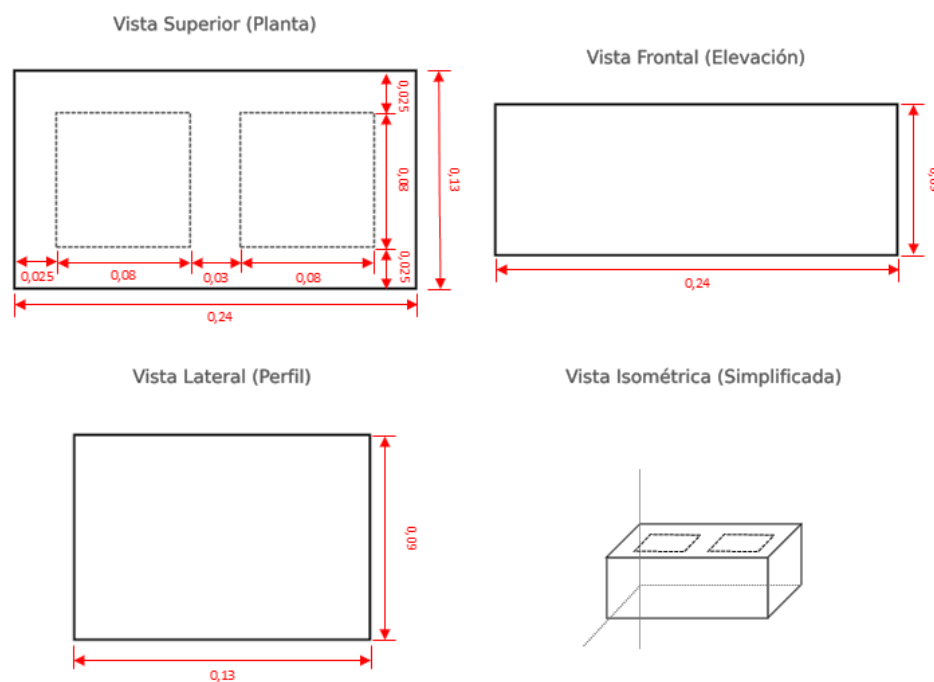
De tal manera, cada etapa consistió en lo siguiente:

4.4.2.1 Elaboración del molde del ladrillo

El diseño de los moldes se realizó considerando criterios estandarizados de dimensiones y forma, con el fin de asegurar la comparabilidad de los especímenes con los ladrillos comerciales convencionales. Se adoptaron medidas de 24 cm de largo, 13 cm de ancho y 9 cm de alto (figura 2), por ser las dimensiones más representativas en el mercado. El molde fue elaborado de acero lo que permitió mantener la uniformidad en la forma y el tamaño de los ladrillos producidos. Asimismo, en el diseño se priorizó la facilidad de desmoldeo y limpieza.

Figura 2

Dimensiones del molde elaborado para los ladrillos



4.4.2.1 Obtención y procesamiento de la materia prima

Para la elaboración de cada mezcla, según los tratamientos definidos por el diseño factorial, fue necesario disponer de los siguientes insumos y materias primas:

a. *Cemento*

Se utilizó cemento comercial de la marca Yura, tipo Max, en su presentación de bolsas de 25 kg, adecuado para uso general en trabajos de concreto y mortero. En total, se emplearon dos bolsas para la ejecución de toda la experimentación.

b. *Arena fina y grava*

Ambos agregados fueron obtenidos de una cantera local ubicada en la ciudad de Tacna. Se utilizaron 10 sacos de arena fina y 10 sacos de grava, cada uno con un peso aproximado de 20 kg.

c. *Residuos PET*

Se adquirieron residuos PET (tereftalado de poliestireno) triturados, con un tamaño promedio estimado de 5 mm, provenientes de la empresa recicladora Q'omer S.A.C.. Estos residuos fueron trasladados al laboratorio del CIIA, donde se lavaron cuidadosamente para eliminar polvo e

impurezas y se secaron al ambiente antes de su incorporación a las mezclas.

d. Residuos EPS

Los residuos de EPS (poliestireno expandido) fueron recolectados en la zona comercial de la Av. Coronel Mendoza, priorizando piezas usadas como embalaje de electrodomésticos conocidas como tecnopor. Una vez trasladados al CIIA, fueron lavados y secados al ambiente. Posteriormente, se trituraron manualmente con un rallador doméstico hasta obtener partículas con un tamaño máximo de 5 mm.

e. Residuos de cáscara de huevo (CH)

Las cáscaras se recolectaron de panaderías y pastelerías ubicadas en las inmediaciones de la Av. Coronel Mendoza. En el laboratorio, se lavaron de manera cuidadosa para eliminar residuos orgánicos y se secaron al sol durante tres días. Luego, siguiendo el protocolo de Rashid et al. (2021), se calcinaron en una mufla a 550 °C durante 12 horas, obteniéndose así la ceniza de cáscara de huevo (CCH).

Para cada residuo, se calculó su proporción en función de su masa y volumen, considerando su densidad aparente. Se utilizó un balde con capacidad de 4,5 L (equivalente a 0,0045 m³) como unidad base para

estandarizar el volumen de cada mezcla. La dosificación base siguió la proporción tradicional Cemento:Arena:Grava:Agua de (1:2:3:1). En la Tabla 3 se muestran los cálculos realizados para cada componente, incluyendo los residuos, en términos de masa, volumen, densidad y porcentaje relativo en la mezcla.

Tabla 4

Datos de proporción de componentes en la mezcla

Componentes	Proporción	Masa (g)	Volumen (m ³)	Densidad (kg/m ³)	Porcentaje (%)
Cemento	1	5 000	0,0045	1 111,1	14,3
Arena fina	2	14 000	0,0090	1 555,55	28,6
Grava	3	21 000	0,0135	1 037,04	42,9
Agua	1	4 500	0,0045	1 000,00	14,3
PET	1	1 550	0,0045	344,4	14,3
EPS	1	85	0,0045	18,9	14,3
CCH	1/4	800	0,0012	711,1	03,6

Nota: El porcentaje corresponde a la proporción del aditivo con respecto a la mezcla base empleada,

Cabe señalar que, para mantener la proporción de cemento constante y evitar la necesidad de añadir mayores cantidades, la incorporación de cada residuo implicó la reducción proporcional de un componente de la mezcla base. En ese sentido, los residuos PET y EPS reemplazaron parcialmente a la grava por similitud en su estructura granulométrica, mientras que la

ceniza de cáscara de huevo sustituyó parcialmente a la arena fina debido al mismo criterio.

4.4.2.1 Elaboración de ladrillos

La elaboración de ladrillos se llevó a cabo bajo los siguientes pasos:

a. Dosificación

Se pesaron todos los componentes requeridos para cada tratamiento, según los niveles definidos en el diseño experimental (ver Tablas 2 y 3); la dosificación fue realizada con balanza digital.

b. Mezclado

Los materiales se mezclaron manualmente en una carretilla hasta obtener una masa homogénea.

c. Moldeo y compactación

La mezcla fue colocada en el molde metálicos y compactada manualmente, procurando que la mezcla llenara completamente el volumen del molde. Luego, los ladrillos fueron desmoldados cuidadosamente.

d. Curado

Los ladrillos fueron ubicados en una zona ventilada a temperatura ambiente y protegidos del sol mediante una lona. El curado se realizó durante 7 días, aplicando diariamente un volumen de 4,5 l de agua por unidad de ladrillo, con el fin de mantener condiciones óptimas de hidratación del cemento.

Secado y pesaje

Después del curado, los ladrillos permanecieron en secado natural hasta completar un periodo total de 28 días. Durante este periodo, cada unidad fue pesada diariamente con una balanza digital entre las 14:00 y 15:00 horas, momento en que la incidencia solar era menor.

4.4.2.1 Análisis de resultados

Para el análisis se consideró la determinación de lo siguiente:

a. *Comportamiento de secado y curado*

Para analizar el comportamiento de secado y curado de los ladrillos elaborados se realizó el monitoreo del peso de cada unidad experimental. Este seguimiento permitió registrar las variaciones de masa a lo largo del tiempo y, con ello, inferir la dinámica de pérdida de humedad durante el proceso de curado y secado natural.

Con el objetivo de representar visualmente esta evolución, se elaboraron gráficos de peso en función del tiempo, donde el eje X correspondió a los días transcurridos desde el inicio del curado (día 0 hasta el día 28), y el eje Y al peso registrado de cada ladrillo. Esta representación gráfica permitió identificar el momento aproximado en que cada tratamiento alcanzó una masa estable, lo cual se interpretó como el punto de equilibrio higrométrico, es decir, cuando la pérdida de agua se tornó mínima o constante.

Adicionalmente, se calculó la variación de peso entre el primer y el último día del periodo de análisis para cada ladrillo, con el fin de cuantificar la magnitud de la pérdida o ganancia de masa. Esta variación se calculó para cada tratamiento en función del peso inicial (día 1) y el peso final (día 28), utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Variación del peso (\%)} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100$$

b. Propiedades físicas

- **Variación dimensional**

La variación dimensional se evaluó conforme a la NTP 399,613 (2017) mediante el método de medición directa empleando una regla graduada.

- **Alabeo**

El alabeo de los ladrillos se midió siguiendo la NTP 399,613 (2017) mediante el método de medición directa empleando una regla graduada y un vernier digital.

- **Absorción, succión y humedad**

La absorción se evaluó conforme a la NTP 399,613 (2017).

c. Comportamiento mecánico

- **Resistencia a la compresión**

La resistencia a la compresión se determinó conforme a la NTP 399,613 (2017).

d. Comportamiento acústico

La influencia de los residuos en el desempeño acústico se analizó mediante una cámara bipartita de tecnopor (dimensiones: 120 cm x 30 cm) con los ladrillos como divisores. Se generó un ruido blanco (90 dB) en un extremo y se midió la presión sonora resultante en el extremo opuesto para cada unidad de ladrillo por factor de tratamiento, calculando la diferencia de niveles (Δ dB) como indicador de reducción sonora empleando la siguiente ecuación:

$$\text{Reducción sonora (dBA)} = \text{Nivel original (90 dBA)} - \text{Nivel captado del ladrillo (dBA)}$$

4.5.3 Materiales y equipos

4.5.3.1 Materiales

- Molde de metal
- Una pala
- Una carretilla
- Una espátula
- Un par de guantes de nitrilo nylon rugoso
- Vernier
- Balanza
- Regla milimetrada
- Escuadra milimetrada
- Nivel de burbuja
- Dos bolsas de cemento

4.5.3.2 Equipos

- Impresora
- Laptop

4.6 Análisis estadístico

Para evaluar los resultados del diseño experimental implementado, Se verificó que los supuestos de normalidad, homogeneidad de varianzas e independencia de variables, se cumplieron en los datos. Y se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de confianza del 95% ($p < 0,05$), utilizando el software Rstudio. Este análisis permitió identificar si existían diferencias estadísticamente significativas entre los niveles de los factores considerados (PET, EPS y ceniza de cáscara de huevo), así como en sus posibles interacciones.

En los casos donde se detectaron diferencias significativas, se procedió a aplicar la prueba de comparaciones múltiples de Tukey con el fin de determinar qué tratamientos presentaban diferencias entre sí. Adicionalmente, se calculó el coeficiente de variación (CV) para cada variable analizada, como medida de dispersión relativa respecto a la media, lo cual permitió evaluar la consistencia y fiabilidad de los datos experimentales.

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Resultados

5.1.1 Determinación de la influencia de la adición de los tres residuos (PET, EPS y cenizas de cáscara de huevo) en el comportamiento de curado y secado de los ladrillos elaborados

En la Figura 2 se muestra la evolución del peso de los ladrillos a lo largo del proceso de curado durante 28 días. Cada curva corresponde a una variación en la composición de los ladrillos, identificadas como T0, T1, T2, T3, T4, T5, T6 y T7 según el diseño experimental factorial.

Se observa que en los primeros días ocurre un incremento inicial de peso en la mayoría de las muestras, lo que puede estar relacionado con la absorción de agua durante el curado inicial. Posteriormente, a partir de aproximadamente el séptimo día, comienza una tendencia decreciente en el peso, indicando la pérdida gradual de humedad conforme avanza el proceso de secado.

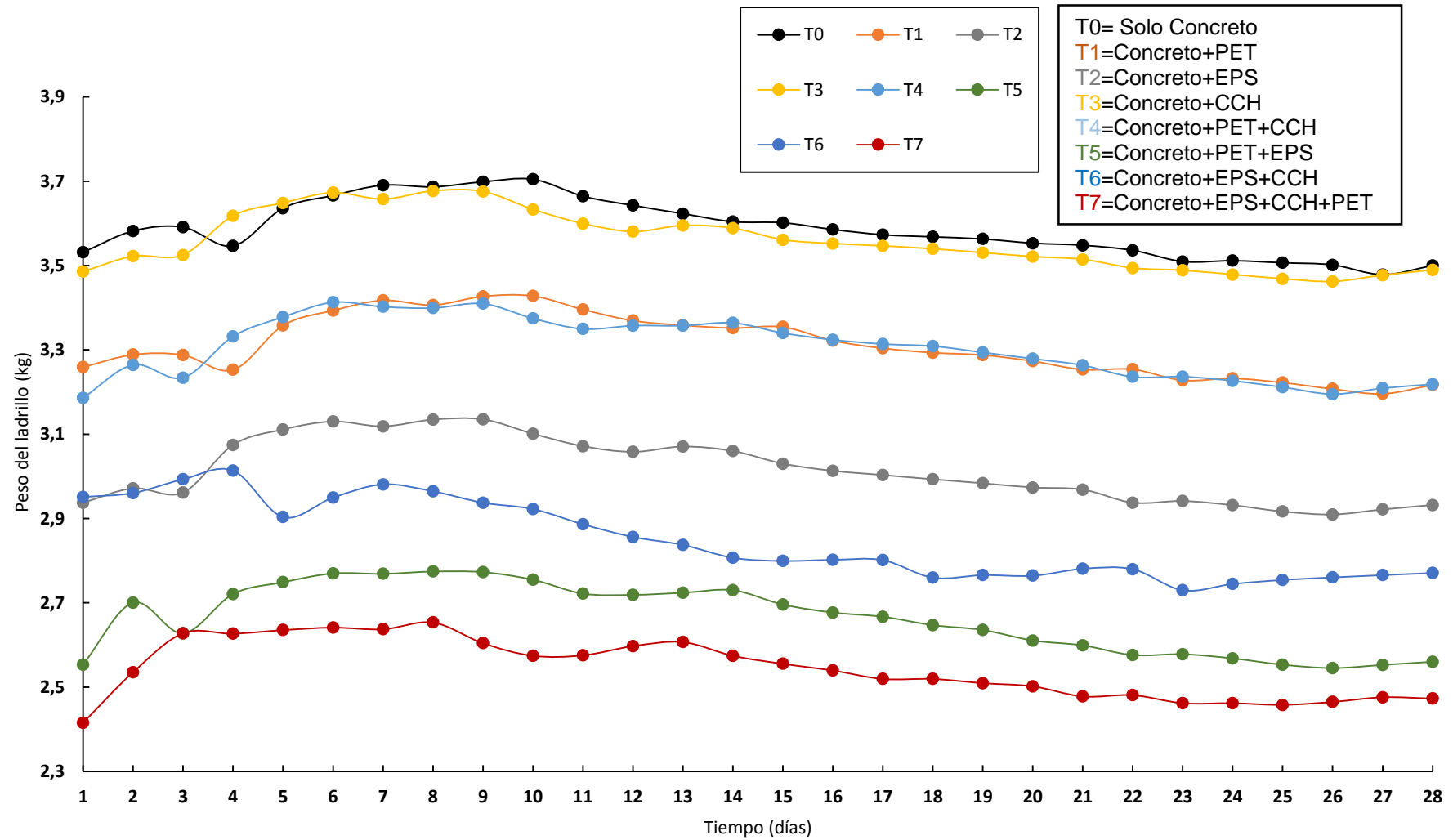
Las muestras con mayor peso inicial (T0 y T3) presentan una menor variación a lo largo del tiempo, manteniendo una mayor estabilidad en su peso. Por otro lado, la muestra con menor peso inicial (T7) mostró un

incremento en su peso en los primeros días antes de estabilizarse, mientras que la muestra T6 presentó una disminución muy pronunciada a lo largo del proceso de secado. Esto sugiere que la composición del material influye significativamente en la capacidad de absorción y retención de agua, así como en la dinámica de secado durante el curado.

A partir del día 21, la mayoría de los ladrillos alcanzan un punto de estabilización en el peso, sugiriendo que el proceso de secado ha concluido y que el contenido de humedad ha llegado a un estado de equilibrio. Estas tendencias permiten evaluar la capacidad de retención de agua de cada mezcla y su comportamiento frente al proceso de curado.

Figura 3

Curva de curado y secado de los ladrillos elaborados



En la Tabla 5 se presenta el análisis de varianza (ANOVA) aplicado a la diferencia de peso de los ladrillos entre el primer y último día del proceso de curado y secado. El análisis se realizó con un nivel de confianza del 95 %. Los resultados mostraron que el factor A (dosis de adición de PET) tuvo un efecto significativamente estadístico sobre la variación de peso. En cambio, los factores B (EPS) y C (ceniza de cáscara de huevo, CCH) no presentaron efectos significativos de manera individual. Por otro lado, las interacciones entre PET y EPS, PET y ceniza de cáscara de huevo, EPS y ceniza de cáscara de huevo, así como la interacción entre los tres factores, resultaron significativas. Esto indica que la combinación de estos materiales influye en la pérdida de peso de los ladrillos de manera más compleja que los efectos individuales. El coeficiente de variabilidad fue 1,48 %, lo cual sugiere que los datos presentaron una baja variabilidad relativa, reflejando consistencia en los resultados experimentales.

Tabla 5*Análisis de varianza de la diferencia del peso (%) del ladrillo elaborado*

FV	SC	GL	CM	Fc	P-valor
Factor A: PET	83,1845	1	83,1845	52,63	0,0000
Factor B: EPS	6,1135	1	6,11356	03,87	0,0536
Factor C: CCH	00,8228	1	00,8228	00,52	0,4733
AB	92,8338	1	92,8338	58,74	0,0000
AC	94,6045	1	94,6045	59,86	0,0000
BC	39,3418	1	39,3418	24,89	0,0000
ABC	68,6547	1	68,6547	43,44	0,0000
Bloque	13,1861	9	1,46512	0,93	0,5082
Error total	99,5737	63	1,58053		
Total	498,315	79			

C.V. =1,48 %

En la tabla 6 se puede observar la prueba de rango múltiple de Tukey aplicada al factor principal de PET donde se observó que la adición de este residuo generó una diferencia media del 0,12 % en el peso final respecto al inicial, lo que indica que los ladrillos que incorporaron PET tendieron a retener ligeramente más humedad al final del proceso. Esta situación podría estar asociada a la estructura porosa y la baja densidad del PET, que afectaría el comportamiento del secado y la migración de agua en la mezcla endurecida.

Tabla 6

Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) con respecto a la diferencia de peso de los ladrillos según el factor principal A : PET

PET	Media (%)	Significancia
14,30	0,12	a
0,00	-1,92	b

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

En la Tabla 7 se presenta la prueba de rango múltiple de Tukey para la interacción entre PET y EPS (AB). Se observó que la combinación de PET y EPS al 14,30 % generó el mayor valor medio de diferencia de peso (0,92 %), mientras que la combinación sin residuos de PET ni EPS presentó una menor variación. La interacción sin PET y con EPS (0–14,30 %) mostró la menor media (-3,27 %), lo cual indica que la adición simultánea de ambos residuos produjo una mayor retención de humedad, a diferencia del uso exclusivo de EPS.

Tabla 7

Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) con respecto a la diferencia de peso de los ladrillos por interacción AB

PET	EPS	Media (%)	Significancia
14,30	14,30	0,92	a
0,00	0,00	-0,57	b
14,30	0,00	-0,68	b
0,00	14,30	-3,27	c

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

La Tabla 8 muestra los resultados de Tukey para la interacción entre PET y ceniza de cáscara de huevo (AC). La mayor diferencia de peso (1,10 %) se registró con la combinación PET 14,30 % y CCH 3,60 %, mientras que la interacción sin PET y con CCH al 3,60 % presentó la media más baja (-3,11 %). Esto sugiere que la inclusión conjunta de PET y ceniza favoreció una mayor retención de humedad en comparación con la adición individual de ceniza.

Tabla 8

Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) con respecto a la diferencia de peso de los ladrillos por interacción AC

PET	CCH	Media (%)	Significancia
14,30	3,60	1,10	a
0,00	0,00	-0,73	b
14,30	0,00	-0,87	b
0,00	3,60	-3,11	c

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

En la Tabla 9, correspondiente a la interacción entre EPS y CCH (BC), se evidenció que la mayor media fue obtenida por la combinación EPS 0 % y CCH 3,60 % (-0,03 %), mientras que el valor más bajo se presentó en la combinación EPS 14,30 % y CCH 3,60 % (-1,98 %). Esto indica que la presencia simultánea de EPS y ceniza generó una mayor pérdida de humedad, mientras que su uso independiente tuvo un efecto más moderado.

Tabla 9

Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) con respecto a la diferencia de peso de los ladrillos por interacción BC

EPS	CCH	Media (%)	Significancia
0,00	3,60	-0,03	a
14,30	0,00	-0,38	a b
0,00	0,00	-1,22	b c
14,30	3,60	-1,98	c

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Finalmente, en la Tabla 10 se presentan los resultados para la interacción triple entre PET, EPS y CCH (ABC). La combinación con los tres residuos en su mayor nivel (14,30 % PET, 14,30 % EPS, 3,60 % CCH) mostró la mayor diferencia de peso (2,13 %), mientras que la combinación sin PET y con EPS y CCH presentó la menor media (-6,09 %). Estos resultados reflejan que la interacción simultánea de los tres residuos en niveles elevados generó una mayor retención de humedad, mientras que ciertas combinaciones parciales acentuaron la pérdida de peso.

Tabla 10

Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) con respecto a la diferencia de peso de los ladrillos por interacción ABC

PET	EPS	CCH	Media (%)	Significancia
14,30	14,30	3,60	2,13	a
14,30	0,00	3,60	0,08	b
0,00	0,00	3,60	-0,13	b
14,30	14,30	0,00	-0,29	b
0,00	14,30	0,00	-0,46	b
0,00	0,00	0,00	-1,01	b
14,30	0,00	0,00	-1,44	b
0,00	14,30	3,60	-6,09	c

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

En cuanto al peso final de los ladrillos luego del proceso de curado y secado según tratamiento, en la Tabla 11 se presenta el análisis de varianza del peso final de los ladrillos luego del proceso de curado y secado. El análisis evidenció efectos significativos de los factores PET, EPS y CCH sobre esta variable. Las interacciones AB, AC y ABC no fueron significativas, mientras que BC sí mostró efecto. El coeficiente de variación fue 12,67 %, indicando una variabilidad moderada entre los datos.

Tabla 11

Análisis de varianza del peso final (kg) de los ladrillos luego del proceso de curado y secado según tratamiento

FV	SC	GL	CM	Fc	P-valor
Factor A: PET	1,9734	1	1,9734	360,44	0,0000
Factor B: EPS	8,9211	1	8,9211	1 629,35	0,0000
Factor C: CCH	0,0928	1	0,0928	16,95	0,0001
AB	0,0136	1	0,0136	2,49	0,1194
AC	0,0055	1	0,0055	1,01	0,3188
BC	0,0472	1	0,0472	8,64	0,0046
ABC	0,0089	1	0,0089	1,63	0,2064
Bloque	0,0859	9	0,0095	1,74	0,0976
Error total	0,3449	63	0,0054		
Total	11,4937	79			

C.V. =12,67 %

En la Tabla 12, correspondiente a la prueba de Tukey para EPS, se observó que la adición de este residuo disminuyó el peso final de los ladrillos, con una media de 2,85 kg frente a 3,17 kg sin adición. Esta diferencia sugiere que el EPS, por su baja densidad, redujo considerablemente el peso de la unidad.

Tabla 12*Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) el peso final (kg) de los ladrillos*

EPS	Media (kg)	Significancia
0,00	3,17	a
14,30	2,85	b

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

En la Tabla 13, asociada a PET, se evidenció que su incorporación también redujo el peso final, con una media de 2,68 kg frente a 3,34 kg sin adición. Este resultado coincide con el efecto de aligeramiento esperado por la inclusión de este material plástico.

Tabla 13*Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) el peso final (kg) de los ladrillos*

PET	Media (kg)	Significancia
0,00	3,34	a
14,30	2,68	b

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

En la Tabla 14, para CCH, la diferencia entre niveles fue leve: 3,04 kg sin adición y 2,98 kg con CCH. Si bien el efecto fue significativo, la variación fue mínima en comparación con los otros factores, lo que sugiere un impacto menor sobre el peso total.

Tabla 14*Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) el peso final (kg) de los ladrillos*

CCH	Media (kg)	Significancia
0,00	3,04	a
3,60	2,98	b

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

La Tabla 15 muestra los resultados de Tukey para la interacción BC. Se evidenció que la mayor media se alcanzó sin adición de residuos (3,35 kg), mientras que la combinación EPS 14,30 % con CCH 3,60 % presentó la menor media (2,62 kg). Esto confirma que la combinación de materiales livianos generó una reducción acumulativa más notable en el peso de los ladrillos.

Tabla 15*Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) el peso final (kg) de los ladrillos**BC*

EPS	CCH	Media (kg)	Significancia
0,00	0,00	3,35	a
0,00	3,60	3,33	a
14,30	0,00	2,74	b
14,30	3,60	2,62	c

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

5.1.2 Análisis de la influencia de la adición de los tres residuos (PET, EPS y cenizas de cáscara de huevo) en las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos

5.1.2.1 Variabilidad dimensional

a. Longitud

En la Tabla 16 se muestra el análisis de varianza para la longitud de los ladrillos. No se encontraron efectos significativos en los factores principales ni en la mayoría de las interacciones, salvo en AC, que presentó una diferencia estadística. El coeficiente de variación fue 0,08 %, indicando alta uniformidad en los datos.

Tabla 16

Análisis de varianza de la variabilidad dimensional con respecto a la longitud (mm) de los ladrillos según tratamiento

FV	SC	GL	CM	Fc	P-valor
Factor A: PET	0,0208	1	0,0208	0,13	0,7241
Factor B: EPS	0,0142	1	0,0142	0,09	0,7706
Factor C: CCH	0,0004	1	0,0004	0,00	0,9602
AB	0,0025	1	0,0025	0,02	0,9017
AC	0,9680	1	0,9680	5,82	0,0188
BC	0,3352	1	0,3352	2,02	0,1606
ABC	0,0098	1	0,0098	0,06	0,8089
Bloque	1,1153	9	0,1239	0,75	0,6663
Error total	10,4763	63	0,1662		
Total	12,9429	79			

C.V. =0,08 %

En la Tabla 17, la prueba de Tukey para AC muestra que la combinación PET 14,30 % y CCH 3,60 % presentó la mayor media

(0,22 mm), mientras que la combinación CCH 3,60 % sin PET presentó la menor (-0,03 mm). Esto sugiere una ligera influencia conjunta de PET y ceniza en la expansión dimensional longitudinal.

Tabla 17

Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) con respecto a la longitud (%) de los ladrillos por interacción AC

PET	CCH	Media (mm)	Significancia
14,30	3,60	0,22	a
0,00	0,00	0,19	a b
14,30	0,00	-0,02	b
0,00	3,60	-0,03	c

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

b. Ancho

La Tabla 18 presenta el análisis de varianza para el ancho de los ladrillos. Ningún factor ni interacción mostró diferencias significativas, y el C.V. fue de 1,12 %. Por tanto, no se observó una influencia relevante de los residuos incorporados sobre esta dimensión.

Tabla 18

Análisis de varianza para la variabilidad dimensional con respecto al ancho (%) de los ladrillos según tratamiento

FV	SC	GL	CM	Fc	P-valor
Factor A: PET	0,0299	1	0,0299	0,13	0,7193
Factor B: EPS	0,1518	1	0,1518	0,66	0,4191
Factor C: CCH	0,1083	1	0,1083	0,47	0,4946
AB	0,4854	1	0,4854	2,11	0,1509
AC	0,0986	1	0,0986	0,43	0,5145
BC	0,3996	1	0,3996	1,74	0,1918
ABC	0,0249	1	0,0249	0,11	0,7427
Bloque	1,5913	9	0,1768	0,77	0,6441
Error total	14,4634	63	0,2295		
Total	17,3536	79			

C.V. =1,12 %

c. Altura

En la Tabla 19 se detalla el análisis de varianza para la altura. Se encontraron efectos significativos en el factor EPS, así como en las interacciones AB y BC. Los demás efectos no fueron significativos. El coeficiente de variación fue de 1,66 %.

Tabla 19

Análisis de varianza de la variabilidad dimensional con respecto a la altura (%) de los ladrillos según tratamiento

FV	SC	GL	CM	Fc	P-valor
Factor A: PET	0,2201	1	0,2201	0,08	0,7776
Factor B: EPS	19,2179	1	19,2179	7,02	0,0102
Factor C: CCH	6,8902	1	6,8902	2,52	0,1176
AB	44,8102	1	44,8102	16,37	0,0001
AC	2,7497	1	2,7497	1,00	0,3200
BC	11,2387	1	11,2387	4,11	0,0470
ABC	2,1224	1	2,1224	0,78	0,3819
Bloque	16,8834	9	1,8759	0,69	0,7192
Error total	72,428	63	2,7369		
Total	276,561	79			

C.V. =1,66 %

En la Tabla 20, Tukey muestra que los ladrillos con EPS 14,30 % presentaron una menor contracción en altura (-1,07 mm), en comparación con los ladrillos sin EPS (-2,05 mm), lo que sugiere que el EPS ayudó a mantener una mayor estabilidad en esta dimensión.

Tabla 20

Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) con respecto a la altura (%) de los ladrillos

EPS	Media (mm)	Significancia
14,30	-1,07	a
0,00	-2,05	b

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

En la Tabla 21, se observó que la menor contracción ocurrió en la combinación 0;14,30 (EPS sin PET), con una media de -0,26 mm, mientras

que la combinación sin residuos presentó la mayor contracción (-2,74 mm), lo que indica un posible efecto de compensación entre ambos factores.

Tabla 21

Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) con respecto a la altura (%) de los ladrillos por interacción AB

PET	EPS	Media (mm)	Significancia
0,00	14,30	-0,26	a
14,30	0,00	-1,35	a b
14,30	14,30	-1,87	b c
0,00	0,00	-2,74	c

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Finalmente, en la Tabla 22, correspondiente a la interacción BC, las combinaciones con EPS presentaron menor contracción que aquellas sin este residuo, destacando nuevamente su influencia en la estabilidad dimensional vertical.

Tabla 22

Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) con respecto a la altura (%) de los ladrillos por interacción BC

EPS	CCH	Media (mm)	Significancia
14,30	0,00	-0,98	a
14,30	3,60	-1,15	a
0,00	3,60	-1,38	a b
0,00	0,00	-2,71	b

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

5.1.2.2 Alabeo

En la Tabla 23 se presenta el análisis de varianza del alabeo de los ladrillos. Se identificaron efectos significativos de los factores PET y EPS, así como de las interacciones AB y BC. El factor CCH y las demás interacciones no mostraron efectos significativos. El coeficiente de variación fue de 24,00 %, lo cual indica una variabilidad moderada en los datos.

Tabla 23

Análisis de varianza del alabeo de los ladrillos elaborados

FV	SC	GL	CM	Fc	P-valor
Factor A: PET	6,29	1	6,29	59,00	0
Factor B: EPS	1,42	1	1,42	13,33	0
Factor C: CCH	0,31	1	0,31	2,94	0,0952
AB	0,48	1	0,48	4,50	0,0410
AC	0,01	1	0,01	0,13	0,7192
BC	3,11	1	3,11	29,17	0
ABC	0,01	1	0,01	0,05	0,8196
Bloque	1,45	5	0,29	2,72	0,0354
Error total	3,73	35	0,11		
Total	16,82	47			

C.V. = 24,00 %

En la Tabla 24, correspondiente a PET, se observó que los ladrillos sin este residuo presentaron mayor alabeo (1,76 mm), mientras que aquellos con PET mostraron un menor valor (1,04 mm), lo que sugiere una mayor estabilidad dimensional con su incorporación.

Tabla 24*Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de alabeo de los ladrillos*

PET	Media (mm)	Significancia
0,00	1,76	a
14,30	1,04	b

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

En la Tabla 25, para EPS, se evidenció un comportamiento inverso: los ladrillos con EPS presentaron mayor alabeo (1,57 mm) frente a los que no lo contenían (1,23 mm), indicando una posible contribución de este residuo a la deformación superficial.

Tabla 25*Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de alabeo de los ladrillos*

EPS	Media (mm)	Significancia
14,30	1,57	a
0,00	1,23	b

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

La Tabla 26 muestra los resultados de la interacción AB. Las combinaciones sin PET y con EPS (0;14,30) presentaron el mayor alabeo (1,83 mm), mientras que la menor deformación ocurrió con la combinación 14,30;0 (0,76 mm), reafirmando el efecto correctivo del PET frente al alabeo inducido por el EPS.

Tabla 26

Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de alabeo de los ladrillos por interacción AB

PET	EPS	Media (mm)	Significancia
0,00	14,30	1,83	a
0,00	0,00	1,69	a
14,30	14,30	1,31	b
14,30	0,00	0,76	c

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

En la Tabla 27, correspondiente a la interacción AC, se evidenció que las combinaciones sin PET presentaron mayor alabeo, especialmente con CCH 3,60 % (1,86 mm). En contraste, las combinaciones con PET mostraron menores valores, destacando su efecto estabilizador independientemente del nivel de ceniza.

Tabla 27

Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de alabeo de los ladrillos por interacción AC

PET	CCH	Media (mm)	Significancia
0,00	3,60	1,86	a
0,00	0,00	1,66	a
14,30	3,60	1,10	b
14,30	0,00	0,97	b

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

En la Tabla 28, para la interacción BC, la mayor deformación ocurrió con EPS 14,30 % y CCH 3,60 % (1,91 mm), mientras que el menor alabeo se observó en la combinación EPS 0 % y CCH 3,60 % (1,05 mm). Esto indica que el EPS tuvo mayor influencia en el aumento del alabeo cuando se combinó con la ceniza.

Tabla 28

Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de alabeo de los ladrillos por interacción BC

EPS	CCH	Media (mm)	Significancia
14,30	3,60	1,91	a
0,00	0,00	1,40	b
14,30	0,00	1,23	b
0,00	3,60	1,05	b

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Finalmente, en la Tabla 29, correspondiente a la interacción ABC, la mayor deformación se registró con la combinación 0;14,30;3,60 (2,20 mm), mientras que la menor correspondió a 0;0;3,60 (0,58 mm). Los resultados reflejan una tendencia general en la que el PET contribuyó a reducir el alabeo, mientras que el EPS en combinación con CCH tendió a aumentarlo.

Tabla 29

Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de alabeo de los ladrillos por interacción ABC

PET	EPS	CCH	Media (mm)	Significancia
0,00	14,30	3,60	2,20	a
14,30	14,30	0,00	1,86	a b
14,30	14,30	3,60	1,62	a b
0,00	14,30	0,00	1,52	b c
14,30	0,00	0,00	1,47	b c
0,00	0,00	0,00	1,00	c d
14,30	0,00	3,60	0,94	c d
0,00	0,00	3,60	0,58	d

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

5.1.2.3 Absorción

En la Tabla 30 se muestra el análisis de varianza de la absorción de los ladrillos. Se identificaron efectos significativos en los factores EPS y CCH, mientras que PET no presentó significancia. Además, todas las interacciones (AB, AC, BC y ABC) mostraron efectos significativos. El coeficiente de variación fue 2,16 %, indicando una baja dispersión de los datos.

Tabla 30*Análisis de varianza de la absorción de los ladrillos elaborados*

FV	SC	GL	CM	Fc	P-valor
Factor A: PET	0,0563	1	0,0563	4,17	0,0604
Factor B: EPS	12,9207	1	12,9207	957,44	0,0000
Factor C: CCH	0,0831	1	0,0831	6,16	0,0263
AB	0,6670	1	0,6670	49,43	0,0000
AC	1,6920	1	1,6920	125,38	0,0000
BC	1,8541	1	1,8541	137,4	0,0000
ABC	0,9725	1	0,9725	72,07	0,0000
Bloque	0,0066	2	0,0033	0,25	0,785
Error total	0,1889	14	0,0134		
Total	18,4416	23			

C.V. = 2,16 %

En la Tabla 31, la prueba de Tukey para EPS mostró que la absorción fue mayor con 14,30 % de adición (5,86 %), en comparación con los ladrillos sin EPS (4,39 %), indicando que este residuo incrementó la porosidad del material.

Tabla 31*Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la absorción de los ladrillos*

EPS	Media (%)	Significancia
14,30	5,86	a
0,00	4,39	b

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

En la Tabla 32, correspondiente a CCH, se observó un ligero aumento en la absorción con 3,60 % de adición (5,19 %) frente a la

condición sin ceniza (5,07 %), reflejando una influencia leve de este residuo.

Tabla 32

Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la absorción de los ladrillos

CCH	Media (%)	Significancia
3,60	5,19	a
0,00	5,07	b

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

La Tabla 33, correspondiente a la interacción AB, evidenció que la mayor absorción ocurrió en la combinación 0;14,30 (5,98 %), mientras que la menor fue en la combinación 0;0 (4,18 %). Esto sugiere que el EPS tuvo mayor impacto sobre la absorción, y que su efecto se redujo al combinarse con PET.

Tabla 33

Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la absorción de los ladrillos por interacción AB

PET	EPS	Media (%)	Significancia
0,00	14,30	5,98	a
14,30	14,30	5,74	b
14,30	0,00	4,61	c
0,00	0,00	4,18	d

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

En la Tabla 34, asociada a la interacción AC, se observó una mayor absorción cuando CCH estuvo presente (5,38 %;5,40 %), en comparación

con las combinaciones sin ceniza, lo que indica un aumento del contenido poroso con su adición, independiente de la presencia de PET.

Tabla 34

Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la absorción de los ladrillos por interacción AC

PET	CCH	Media (%)	Significancia
0,00	3,60	5,40	a
14,30	3,60	5,38	a
14,30	0,00	4,97	b
0,00	0,00	4,75	c

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

En la Tabla 35, referente a BC, la combinación 0;3,60 presentó la mayor absorción (6,20 %), mientras que 0;0 mostró el valor más bajo (4,17 %). Se evidencia que EPS tuvo mayor efecto cuando se combinó con CCH.

Tabla 35

Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la absorción de los ladrillos por interacción BC

EPS	CCH	Media (%)	Significancia
0,00	3,60	6,20	a
14,30	3,60	5,52	b
14,30	0,00	4,61	c
0,00	0,00	4,17	d

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Finalmente, en la Tabla 36, correspondiente a la interacción triple ABC, se observó la mayor absorción en la combinación 0;14,30;3,60 (6,78 %), mientras que los valores más bajos se encontraron en combinaciones sin EPS o sin residuos. Esto sugiere que la incorporación simultánea de los tres residuos, especialmente con altos niveles de EPS y CCH, incrementó de forma conjunta la capacidad de absorción del ladrillo.

Tabla 36

Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la absorción de los ladrillos por interacción ABC

PET	EPS	CCH	Media (%)	Significancia
0,00	14,30	3,60	6,78	a
14,30	14,30	0,00	5,87	b
14,30	14,30	3,60	5,61	b
0,00	14,30	0,00	5,18	c
14,30	0,00	0,00	4,89	c
0,00	0,00	0,00	4,33	d
14,30	0,00	3,60	4,33	d
0,00	0,00	3,60	4,02	d

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

5.1.2.4 Succión

En la Tabla 37 se muestra el análisis de varianza de la succión. Se identificaron efectos significativos de los factores PET y EPS, mientras que CCH no fue significativo de forma individual. Todas las interacciones (AB, AC, BC y ABC) presentaron efectos significativos sobre esta propiedad. El

coeficiente de variación fue 5,17 %, indicando una adecuada homogeneidad de los datos.

Tabla 37

Análisis de varianza de la succión de los ladrillos elaborados

FV	SC	GL	CM	Fc	P-valor
Factor A: PET	3,8427	1	3,8427	18,01	0,0008
Factor B: EPS	2,9354	1	2,9354	13,75	0,0023
Factor C: CCH	0,8897	1	0,8897	4,17	0,0605
AB	32,2173	1	32,2173	150,96	0,0000
AC	4,3894	1	4,3894	20,57	0,0005
BC	49,8798	1	49,8798	233,71	0,0000
ABC	6,8423	1	6,8423	32,06	0,0001
Bloque	0,2818	2	0,1409	0,66	0,532
Error total	2,9879	14	0,2134		
Total	104,2670	23			

C.V. = 5,17 %

En la Tabla 38, la prueba de Tukey para PET muestra una mayor succión en ladrillos sin este residuo (9,14 g/cm²), en comparación con los que lo contenían (8,34 g/cm²), reflejando una reducción en la absorción superficial con su incorporación.

Tabla 38

Prueba de rango múltiple de Tukey (P < 0,05) de la succión de los ladrillos

PET	Media (g/cm²)	Significancia
0,00	9,14	a
14,30	8,34	b

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p >0,05)

La Tabla 39, para EPS, indica que su presencia también disminuyó la succión (8,39 g/cm²), respecto a los ladrillos sin este residuo (9,09 g/cm²), aunque con una diferencia menos pronunciada.

Tabla 39*Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la succión de los ladrillos*

EPS	Media (g/cm ²)	Significancia
0,00	9,09	a
14,30	8,39	b

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

En la Tabla 40, correspondiente a AB, la mayor succión ocurrió en las combinaciones con EPS, tanto con como sin PET (9,95 y 9,85 g/cm²). Las combinaciones sin EPS mostraron menores valores, siendo la más baja en 0–0 (6,83 g/cm²), evidenciando el predominante efecto de EPS sobre esta propiedad.

Tabla 40*Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la succión de los ladrillos por interacción AB*

PET	EPS	Media (g/cm ²)	Significancia
0,00	14,30	9,95	a
14,30	14,30	9,85	a
14,30	0,00	8,33	b
0,00	0,00	6,83	c

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

En la Tabla 41, para AC, las combinaciones con CCH presentaron mayores niveles de succión, con medias entre 8,96 y 9,37 g/cm², mientras que la menor succión se registró sin residuos (7,72 g/cm²), sugiriendo un leve incremento por efecto de la ceniza.

Tabla 41

Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la succión de los ladrillos por interacción AC

PET	CCH	Media (g/cm ²)	Significancia
0,00	3,60	9,37	a
14,30	3,60	8,96	a
14,30	0,00	8,90	a
0,00	0,00	7,72	b

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

La Tabla 42, correspondiente a BC, muestra que la combinación 0–3,60 presentó la mayor succión (10,34 g/cm²), mientras que la combinación sin residuos mostró el valor más bajo (6,76 g/cm²). Se evidencia que CCH aumentó la succión, especialmente cuando se combinó con EPS.

Tabla 42

Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la succión de los ladrillos por interacción BC

EPS	CCH	Media (g/cm ²)	Significancia
00,00	3,60	10,34	a
14,30	3,60	10,02	a
14,30	0,00	07,84	b
00,00	0,00	06,76	c

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Finalmente, en la Tabla 43, para la interacción ABC, la mayor succión se observó en la combinación 0;14,30;3,60 (11,69 g/cm²), mientras que las menores succiones se presentaron en combinaciones sin EPS y con CCH (por ejemplo, 0;0;3,60 con 5,30 g/cm²). Esto muestra que la combinación simultánea de los tres residuos, en particular con altos niveles

de EPS y CCH, tiende a incrementar la absorción inicial del agua en la superficie del ladrillo.

Tabla 43

Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la succión de los ladrillos por interacción ABC

PET	EPS	CCH	Media (g/cm ²)	Significancia
0,00	14,30	3,60	11,69	a
14,30	14,30	0,00	10,54	a b
14,30	14,30	3,60	10,13	b
0,00	14,30	0,00	9,56	b c
14,30	0,00	0,00	8,36	c d
0,00	0,00	0,00	8,21	d
14,30	0,00	3,60	6,12	e
0,00	0,00	3,60	5,30	e

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

5.1.2.5 Humedad

En la Tabla 44 se muestra el análisis de varianza de la humedad de los ladrillos. Se encontraron efectos significativos en todos los factores principales (PET, EPS, CCH) y en las interacciones AB, AC y ABC. Solo BC no presentó efecto significativo. El coeficiente de variación fue 4,75 %, reflejando buena consistencia en los datos experimentales.

Tabla 44*Análisis de varianza de la humedad de los ladrillos elaborados*

FV	SC	GL	CM	Fc	P-valor
Factor A: PET	0,1342	1	0,1342	009,37	0,0084
Factor B: EPS	3,7771	1	3,7771	263,69	0,0000
Factor C: CCH	2,1372	1	2,1372	149,21	0,0000
AB	0,9570	1	0,9570	066,82	0,0000
AC	1,6640	1	1,6640	116,17	0,0000
BC	0,0039	1	0,0039	000,27	0,6088
ABC	2,4378	1	2,4378	170,19	0,0000
Bloque	0,0787	2	0,0393	002,75	0,0984
Error total	0,2005	14	0,0143		
Total	11,3909	23			

C.V. = 4,75 %

En la Tabla 45, la prueba de Tukey para PET mostró una mayor humedad en los ladrillos sin este residuo (2,86 %) frente a los que lo contenían (2,71 %), lo cual indica que el PET contribuyó ligeramente a reducir el contenido de agua retenida en el material.

Tabla 45*Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la humedad de los ladrillos*

PET	Media (%)	Significancia
0,00	2,86	a
14,30	2,71	b

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

En la Tabla 46, se observó un incremento en la humedad con EPS (3,08 %) respecto a la condición sin este residuo (2,48 %), lo que sugiere una mayor retención de agua al incorporar dicho aditivo.

Tabla 46*Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la humedad de los ladrillos*

EPS	Media (%)	Significancia
14,30	3,08	a
0,00	2,48	b

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

En la Tabla 47, para CCH, la adición de 3,60 % también incrementó la humedad (3,08 %) frente a la condición sin ceniza (2,48 %), lo que indica un comportamiento similar al del EPS en cuanto a retención hídrica.

Tabla 47*Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la humedad de los ladrillos*

CCH	Media (%)	Significancia
3,60	3,08	a
0,00	2,48	b

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

En la Tabla 48, correspondiente a la interacción AB, se observó que la mayor humedad ocurrió en la combinación 0;14,30 (3,45 %), mientras que el valor más bajo se presentó en 0;0 (2,26 %). Esto confirma que EPS fue el factor con mayor impacto sobre la retención de humedad, y que su efecto se redujo parcialmente al combinarse con PET.

Tabla 48

Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la humedad de los ladrillos por interacción AB

PET	EPS	Media (%)	Significancia
0,00	14,30	3,45	a
14,30	14,30	2,90	b
14,30	0,00	2,51	c
0,00	0,00	2,26	d

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

En la Tabla 49, relacionada con AC, las combinaciones con CCH presentaron mayores niveles de humedad, especialmente en 0;3,60 (3,42 %). En contraste, los menores valores se registraron en 0;0 (2,29 %), reforzando que la ceniza elevó el contenido hídrico, especialmente cuando no estuvo acompañada de PET.

Tabla 49

Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la humedad de los ladrillos por interacción AC

PET	CCH	Media (%)	Significancia
0,00	3,60	3,42	a
14,30	3,60	2,74	b
14,30	0,00	2,67	b
0,00	0,00	2,29	c

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Finalmente, en la Tabla 50, para la interacción triple ABC, la mayor humedad se obtuvo en la combinación 0;14,30;3,60 (4,35 %), mientras que la menor fue en 0;0;0 (2,03 %). Esto evidencia que la combinación

simultánea de los tres residuos, particularmente en niveles altos de EPS y CCH, potenció la retención de humedad en los ladrillos.

Tabla 50

Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la humedad de los ladrillos por interacción ABC

PET	EPS	CCH	Media (%)	Significancia
0,00	14,30	3,60	4,35	a
14,30	14,30	0,00	3,17	b
14,30	0,00	3,60	2,85	b c
14,30	14,30	3,60	2,63	c
0,00	14,30	0,00	2,56	c
0,00	0,00	3,60	2,49	c d
14,30	0,00	0,00	2,17	d e
0,00	0,00	0,00	2,03	e

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

5.1.2.6 Densidad

En la Tabla 51 se presenta el análisis de varianza de la densidad. Todos los factores principales (PET, EPS y CCH) tuvieron efectos significativos, al igual que las interacciones AC, BC y ABC. La interacción AB no fue significativa. El coeficiente de variación fue 2,45 %, lo que indica una adecuada consistencia en los datos.

Tabla 51*Análisis de varianza de la densidad de los ladrillos elaborados*

FV	SC	GL	CM	Fc	P-valor
Factor A: PET	150 066,0	1	150 066,0	96,87	0,0000
Factor B: EPS	668 391,0	1	668 391,0	431,46	0,0000
Factor C: CCH	23 528,2	1	23 528,2	15,19	0,0016
AB	101,6	1	101,6	0,07	0,8016
AC	21 595,7	1	21 595,7	13,94	0,0022
BC	13 298,6	1	13 298,6	8,58	0,011
ABC	7 796,1	1	7 796,1	5,03	0,0416
Bloque	10 360,6	2	5 180,3	3,34	0,065
Error total	21 688,1	14	1 549,1		
Total	916 826,0	23			

C.V. = 2,45 %

En la Tabla 52, la prueba de Tukey para PET mostró una disminución de densidad con su incorporación: 1 750,15 kg/m³ frente a 1 908,30 kg/m³ sin PET, confirmando su efecto aligerante.

Tabla 52*Prueba de rango múltiple de Tukey (P < 0,05) de la densidad de los ladrillos*

PET	Media (kg/m³)	Significancia
0,00	1 908,30	a
14,30	1 750,15	b

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

En la Tabla 53, EPS mostró una mayor influencia, reduciendo la densidad de 1 996,11 kg/m³ (sin EPS) a 1 662,34 kg/m³ (con EPS), reflejando su menor masa volumétrica.

Tabla 53

Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la densidad de los ladrillos

EPS	Media (kg/m ³)	Significancia
00,00	1 996,11	a
14,30	1 662,34	b

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

En la Tabla 54, la adición de CCH también redujo ligeramente la densidad, con 1 860,54 kg/m³ sin ceniza y 1 797,92 kg/m³ con su incorporación.

Tabla 54

Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la densidad de los ladrillos

CCH	Media (kg/m ³)	Significancia
0,00	1 860,54	a
3,60	1 797,92	b

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

La Tabla 55, correspondiente a AC, mostró que la mayor densidad se alcanzó con la combinación 0;0 (2 073,12 kg/m³), mientras que las combinaciones con PET mantuvieron los valores más bajos, independientemente del nivel de ceniza.

Tabla 55

Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la densidad de los ladrillos por interacción AC

PET	CCH	Media (kg/m ³)	Significancia
0,00	0,00	1 969,61	a
0,00	3,60	1 846,99	b
14,30	0,00	1 751,46	c
14,30	3,60	1 748,84	c

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

En la Tabla 56, para la interacción BC, se observó una disminución progresiva con el incremento combinado de EPS y CCH, siendo la menor densidad obtenida en 14,30;3,60.

Tabla 56

Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la densidad de los ladrillos por interacción BC

EPS	CCH	Media (kg/m ³)	Significancia
0,00	0,00	2 003,88	a
0,00	3,60	1 988,34	a
14,30	0,00	1 717,19	b
14,30	3,60	1 607,09	c

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Finalmente, en la Tabla 57, correspondiente a ABC, la combinación 0;0;0 presentó la mayor densidad (2 128,92 kg/m³), mientras que la menor correspondió a 14,30;14,30;3,60 (1 538,34 kg/m³). Esto evidencia que la incorporación simultánea de los tres residuos, en niveles altos, reduce considerablemente la masa volumétrica del ladrillo.

Tabla 57

Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la densidad de los ladrillos por interacción BC

PET	EPS	CCH	Media (kg/m ³)	Significancia
0,00	0,00	0,00	2 128,92	a
0,00	0,00	3,60	2 017,33	a b
14,30	0,00	3,60	1 959,34	b c
14,30	0,00	0,00	1 878,84	c d
0,00	14,30	0,00	1 810,30	d
0,00	14,30	3,60	1 676,65	e
14,30	14,30	0,00	1 624,09	e f
14,30	14,30	3,60	1 538,34	f

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

5.1.2.7 Resistencia a la compresión

En la Tabla 58 se presenta el análisis de varianza para la resistencia a la compresión. Se identificaron efectos significativos en los factores EPS y CCH. El factor PET y todas las interacciones no mostraron efectos significativos. El coeficiente de variación fue 12,23 %, lo que refleja una dispersión moderada en los datos experimentales.

Tabla 58*Análisis de varianza de la resistencia a la compresión de los ladrillos elaborados*

FV	SC	GL	CM	Fc	P-valor
Factor A: PET	134,43	1	134,42	2,83	0,1148
Factor B: EPS	8 732,54	1	8 732,54	183,76	0,0000
Factor C: CCH	642,73	1	642,74	13,53	0,0025
AB	77,04	1	77,04	1,62	0,2237
AC	17,00	1	17,00	0,36	0,5593
BC	13,50	1	13,5	0,28	0,6024
ABC	79,20	1	79,20	1,67	0,2176
Bloque	37,96	2	18,97	0,4	0,6781
Error total	665,30	14	47,5211		
Total	10 399,70	23			

C.V. = 12,23 %

En la Tabla 59, la prueba de Tukey para EPS muestra una reducción considerable en la resistencia con su adición: los ladrillos sin EPS alcanzaron una media de 73,28 kg/cm², mientras que los que incorporaron EPS registraron 35,13 kg/cm², indicando que este residuo afectó negativamente la capacidad mecánica del material.

Tabla 59*Prueba de rango múltiple de Tukey (P < 0,05) de la resistencia a la compresión de los ladrillos*

EPS	Media (kg/cm ²)	Significancia
0,00	73,28	a
14,30	35,13	b

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

En la Tabla 60, para CCH, se observó un aumento en la resistencia con su incorporación (59,38 kg/cm²) en comparación con los ladrillos sin

ceniza (49,03 kg/cm²), lo que sugiere que este aditivo contribuyó positivamente al desarrollo de la resistencia a compresión.

Tabla 60

Prueba de rango múltiple de Tukey (P < 0,05) de la resistencia a la compresión de los ladrillos

CCH	Media (kg/cm ²)	Significancia
3,60	59,38	a
0,00	49,03	b

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p >0,05)

5.1.3 Evaluación de la influencia de la adición de tres residuos (PET, EPS y cenizas de cáscara de huevo) en el comportamiento acústico de los ladrillos

En la Tabla 61 se presenta el análisis de varianza de la reducción sonora (dBA) obtenida en la prueba de acusticidad. No se encontraron efectos significativos en los factores individuales (PET, EPS, CCH), aunque EPS mostró una tendencia cercana. En cambio, las interacciones AB y AC fueron estadísticamente significativas, lo que sugiere que la combinación de residuos tuvo mayor influencia que su uso por separado. El coeficiente de variación fue de 4,74 %, indicando buena consistencia en los datos experimentales.

Tabla 61*Análisis de varianza de la reducción sonora de los ladrillos*

FV	SC	GL	CM	Fc	P-valor
Factor A: PET	1,3203	1	1,3203	0,6	0,4466
Factor B: EPS	8,9253	1	8,9253	4,07	0,0567
Factor C: CCH	0,3828	1	0,3828	0,17	0,6805
AB	21,2878	1	21,2878	9,7	0,0052
AC	13,1328	1	13,1328	5,98	0,0233
BC	0,0378	1	0,0378	0,02	0,8968
ABC	0,0028	1	0,0028	0,00	0,9718
Bloque	10,6059	3	3,5353	1,61	0,2169
Error total	46,0916	21	2,1948		
Total	101,7870	31			

C.V. =4,74 %

En la Tabla 62, correspondiente a la interacción AB, se observó que la mayor atenuación del sonido se obtuvo en la combinación sin residuos (0–0) con 33,55 dBA, seguida de 14,30;14,30 con 32,90 dBA. El valor más bajo se registró en la combinación 0;14,30 (30,86 dBA), indicando que la presencia de EPS sin PET redujo la capacidad de aislamiento acústico.

Tabla 62*Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la atenuación del sonido en la prueba de acusticidad de los ladrillos por interacción AB*

PET	EPS	Media (dBA)	Significancia
0,00	0,00	33,55	a
14,30	14,30	32,90	a b
14,30	0,00	32,33	a b
0,00	14,30	30,86	b

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

En la Tabla 63, para la interacción AC, se repite una tendencia similar. La combinación sin residuos (0;0) obtuvo la mayor atenuación (33,01 dBA), mientras que la menor correspondió a 0;14,30 (31,74 dBA). Esto sugiere que tanto EPS como CCH, cuando se incorporan sin PET, pueden disminuir la eficiencia acústica del ladrillo.

Tabla 63

Prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$) de la atenuación del sonido en la prueba de acusticidad de los ladrillos por interacción AC

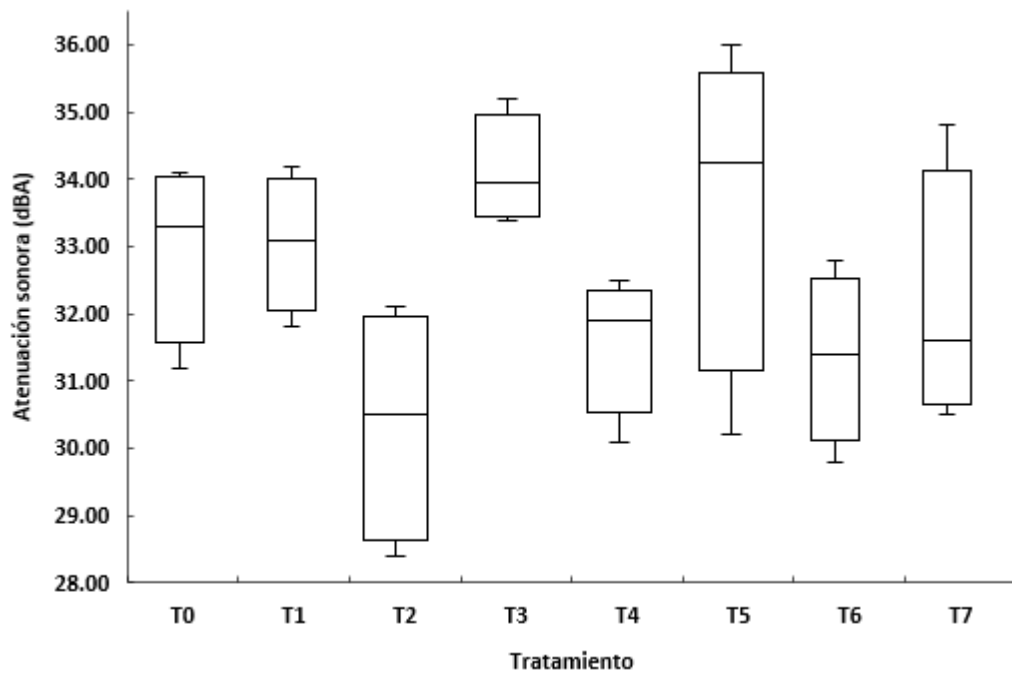
PET	CCH	Media (dBA)	Significancia
0,00	0,00	33,01	a
14,30	14,30	32,86	a b
14,30	0,00	32,03	a b
0,00	14,30	31,74	b

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Estos resultados se visualizan en la Figura 4, donde el diagrama de caja muestra la dispersión y la mediana de la reducción sonora para cada tratamiento. Se observa que T3 (CCH) presentó un comportamiento más favorable y similar a T4 (EPS ; PET), mientras que T2 tuvo una reducción sonora significativamente menor que el resto de tratamientos.

Figura 4

Diagrama de caja de la atenuación del sonido en la prueba de acusticidad de los ladrillos por tratamiento



5.2 Discusión de resultados

5.2.1 Discusión de la influencia de la adición de los tres residuos (PET, EPS y cenizas de cáscara de huevo) en el comportamiento de curado y secado de los ladrillos elaborados

El análisis de la variación de peso entre el día 1 y el día 28 evidenció que la incorporación de residuos alteró significativamente el comportamiento de secado de los ladrillos. En particular, el PET presentó un efecto significativo, generando una ligera ganancia de peso al día 28, lo

que sugiere una retención mayor de humedad estructural en comparación con el resto de tratamientos. Este comportamiento puede atribuirse a su estructura porosa y su baja densidad aparente, que permite retener agua entre las partículas del material polimérico (Silva et al.,2019).

Aunque EPS y CCH no mostraron efectos significativos por separado, las interacciones PET; EPS y PET; CCH sí influyeron significativamente en la pérdida de peso, indicando una relación compleja entre los materiales que modificó la dinámica de secado. Por ejemplo, la combinación de PET y EPS produjo una mayor retención de humedad que cuando se emplearon de forma aislada, debido probablemente a su efecto combinado sobre la microestructura porosa de la mezcla cementante (Ribeiro et al.,2021).

Además, al analizar los pesos finales de los ladrillos, se observó que los residuos afectaron significativamente su masa total. Los ladrillos elaborados con EPS (14,30 %) fueron los más ligeros, con un peso final promedio de 2,85 kg, seguidos por los que contenían PET (14,30 %), con 2,68 kg. En contraste, los ladrillos sin residuos alcanzaron los valores más altos, con pesos superiores a 3,17 kg. Esta reducción puede explicarse por

la baja densidad de los residuos plásticos en comparación con los agregados tradicionales (arena y grava), lo cual concuerda con estudios como el de Ahmad et al. (2022), quienes documentaron disminuciones de hasta un 20 % en el peso de elementos constructivos al incorporar materiales reciclados ligeros.

La incorporación de ceniza de cáscara de huevo (3,60 %) produjo una variación leve, con una disminución de apenas 0,06 kg respecto al peso sin ceniza, lo que indica un efecto no significativo en la masa total del ladrillo, atribuible a su densidad intermedia y su forma de reemplazo parcial de arena.

El coeficiente de variación observado (1,48 % para secado y 12,67 % para peso final) indica que los datos fueron consistentes y que los efectos identificados se deben al tipo y proporción de residuo incorporado. Este tipo de control sobre el peso es relevante para aplicaciones estructurales y de transporte, dado que una reducción significativa disminuye la carga muerta y facilita el manejo en obra, sin comprometer necesariamente el desempeño funcional (Neville,2011).

5.2.2 Discusión de la influencia de la adición de los tres residuos (PET, EPS y cenizas de cáscara de huevo) en las propiedades físicas y el comportamiento mecánico de los ladrillos

La incorporación de residuos en la elaboración de ladrillos generó efectos diferenciados sobre sus propiedades físicas y resistencia mecánica. Entre los parámetros físicos, se observó que la adición de EPS y PET afectó significativamente el alabeo, siendo EPS el residuo con mayor contribución a la deformación superficial, mientras que el PET ayudó a disminuirla. Esto concuerda con lo reportado por Ribeiro et al. (2021), quienes señalan que materiales livianos como el EPS alteran la cohesión interna de la mezcla, promoviendo deformaciones no homogéneas durante el secado. Por el contrario, el PET aporta cierta rigidez que contribuye a la estabilidad dimensional.

En cuanto a la variabilidad dimensional (longitud, ancho y altura), los factores por separado no mostraron efectos significativos, aunque se identificaron algunas interacciones que modificaron ligeramente la altura. Sin embargo, los valores obtenidos se mantuvieron dentro de márgenes aceptables, lo que indica que la inclusión de residuos no comprometió la regularidad geométrica del producto final. Este hallazgo es relevante desde

una perspectiva constructiva, ya que permite garantizar la compatibilidad de los ladrillos en sistemas modulares (Neville,2011),

Respecto a la absorción y succión, se observó un incremento general con la incorporación de residuos, especialmente con EPS y CCH, los cuales presentaron efectos significativos tanto en los factores individuales como en sus interacciones. En particular, la succión fue mayor cuando se emplearon combinaciones con EPS y CCH, lo cual se atribuye a la estructura porosa y la alta capilaridad de ambos materiales, que facilitan el ingreso de agua por acción capilar (Rashi et al., 2021). Aunque esto podría representar una desventaja en ambientes húmedos, también puede ser útil en aplicaciones donde se requiere una mayor adherencia con morteros.

La humedad residual también se vio influenciada por todos los factores. EPS y CCH generaron un aumento significativo del contenido de humedad, lo cual puede estar asociado a su capacidad de retención de agua libre o capilar en la mezcla. El PET, en cambio, redujo levemente este parámetro, posiblemente por su baja afinidad con el agua y su rol en mejorar la compactación interna (Silva et al.,2019).

En cuanto a la densidad, todos los residuos redujeron significativamente este valor. El EPS tuvo el mayor efecto, seguido por el PET, mientras que la ceniza de cáscara de huevo tuvo un impacto más moderado. La disminución de densidad es consistente con las características físicas de estos residuos, que presentan una densidad mucho menor que los agregados tradicionales como la grava o la arena (Admad et al.,2022). Esta propiedad convierte a los ladrillos elaborados con residuos en alternativas livianas, lo cual puede favorecer su manipulación, transporte e incluso contribuir a reducir la carga estructural en edificaciones.

Finalmente, la resistencia a la compresión se vio principalmente afectada por el EPS, el cual produjo una disminución considerable en la capacidad de carga del ladrillo. Por el contrario, la ceniza de cáscara de huevo mejoró la resistencia, lo cual es coherente con su contenido de óxidos cálcicos y su capacidad puzolánica, que favorece las reacciones de hidratación del cemento (Ribeiro et al.,2021). El PET no mostró un efecto significativo en este parámetro. Si bien la resistencia media de los ladrillos con residuos fue menor en algunos casos, ciertos tratamientos aún se mantuvieron dentro del rango mínimo aceptable para unidades no portantes según normativas técnicas (NTP 399.613, 2017).

En conjunto, los resultados sugieren que la incorporación de estos residuos permite modular las propiedades del ladrillo en función del uso final. Por ejemplo, combinaciones con EPS y PET pueden orientarse a aplicaciones donde se prioriza baja densidad, mientras que formulaciones con CCH pueden destinarse a aplicaciones que exigen mayor resistencia mecánica.

5.2.3 Discusión de la influencia de la adición de los tres residuos (PET, EPS y cenizas de cáscara de huevo) en el comportamiento acústico de los ladrillos

La evaluación del comportamiento acústico mostró que, si bien ninguno de los residuos presentó un efecto significativo de manera individual, las interacciones PET–EPS (AB) y PET–CCH (AC) sí influyeron de forma significativa en la atenuación del sonido. Esta observación sugiere que la respuesta acústica del material no depende únicamente de un residuo en particular, sino de cómo estos interactúan en la matriz del ladrillo.

Los valores promedio de reducción sonora (entre 30,86 y 33,55 dBA) revelan que ciertas combinaciones de residuos modifican la capacidad de aislamiento del ladrillo. En especial, la combinación sin residuos (0–0)

presentó la mayor atenuación, mientras que la inclusión de EPS sin PET (0–14,30) resultó en la menor. Esto puede explicarse por el hecho de que el EPS, debido a su baja densidad y estructura celular cerrada, puede favorecer la transmisión de ondas sonoras en lugar de atenuarlas, especialmente cuando no se encuentra equilibrado por un componente más denso como el PET (Silva et al.,2019).

Este resultado coincide con la revisión de Amran et al. (2021), donde se destaca que la capacidad de absorción acústica (NRC) de un material depende en gran medida de su densidad y masa. Los materiales más livianos tienden a ser menos eficientes en bloquear el paso del sonido, ya que se requiere mayor masa para reducir eficazmente la transmisión sonora por vía aérea. Por tanto, la incorporación de residuos como el PET, que aunque ligero, posee mayor rigidez y densidad relativa en comparación con el EPS, podría haber contribuido a compensar parcialmente este efecto, como se evidenció en las combinaciones que incluyeron ambos materiales (PET;EPS).

Por otro lado, la ceniza de cáscara de huevo no mostró efecto individual significativo, aunque su combinación con otros residuos sí modificó el comportamiento acústico. Esto puede deberse a su textura fina

y su posible acción como relleno, que puede cerrar porosidad y afectar la absorción superficial del ladrillo, alterando el patrón de reflexión del sonido.

En síntesis, los resultados confirman que la densidad, rigidez y estructura interna del ladrillo determinan en gran medida su desempeño acústico. Si bien la introducción de residuos puede comprometer la masa del material y con ello su capacidad de atenuación, una adecuada dosificación y combinación de residuos como el PET podría permitir mantener niveles aceptables de aislamiento, especialmente en aplicaciones no estructurales o de división interna.

CONCLUSIONES

Se evaluó la influencia de la adición de tereftalato de polietileno (PET), poliestireno expandido (EPS) y ceniza de cáscara de huevo (CCH) en la elaboración de ladrillos. Se comprobó que estos residuos influyen en distintas propiedades físicas, mecánicas y acústicas del material, tanto de forma individual como por interacción. La incorporación de residuos permitió modificar características clave como densidad, absorción, resistencia a la compresión y reducción sonora, destacando que el tratamiento T3 (CCH) mostró un buen desempeño general al equilibrar propiedades mecánicas, físicas y acústicas sin comprometer la calidad del ladrillo.

Se concluye que sí se encontró influencia significativa en el comportamiento de curado y secado, principalmente por el efecto del PET y por las interacciones entre los residuos. El PET contribuyó a una ligera retención de humedad estructural, mientras que el EPS y la CCH, aunque no influyeron individualmente, afectaron el comportamiento de secado al interactuar con otros residuos. El tratamiento con PET (14,30 %) sin EPS ni CCH presentó la menor pérdida de peso, indicando una mayor estabilización de humedad durante el curado.

Se determinó que los tres residuos influyeron significativamente en distintas propiedades físicas y en la resistencia a la compresión. El EPS tuvo mayor efecto sobre el alabeo, la absorción, la succión y la disminución de densidad, mientras que la CCH mejoró la resistencia a la compresión, aumentando en promedio de 49,03 a 59,38 kg/cm². El PET ayudó a reducir el alabeo y la humedad, y también contribuyó a disminuir la densidad. El tratamiento T1 (PET 14,30 %) presentó menor alabeo (0,76 mm), menor humedad (2,17 %) y densidad intermedia. Sin embargo, el mayor valor de resistencia a la compresión se obtuvo con la CCH (3,60 %) sin EPS ni PET.

Se identificó que no hubo influencia significativa de los residuos individualmente en la atenuación del sonido, aunque las interacciones PET-EPS y PET-CCH sí fueron significativas. Se concluye que la respuesta acústica depende más de la combinación de residuos que de su efecto aislado. El tratamiento T3 (PET-EPS) presentó una mayor atenuación sonora (32,90 dBA), superado solo por el ladrillo sin residuos. Esto indica que es posible mantener un desempeño acústico aceptable al incorporar residuos, siempre que se equilibre la densidad y rigidez del ladrillo.

RECOMENDACIONES

- Optimizar el uso de EPS en proporciones controladas, ya que su exceso disminuye la resistencia mecánica y favorece el alabeo y la absorción.
- Aplicar estos residuos principalmente en ladrillos no portantes o divisorios, donde la reducción de peso y la eficiencia térmica y acústica son más valoradas que la alta resistencia estructural.
- Realizar ensayos acústicos bajo normas específicas (como ISO 10140 o ASTM E90) en futuras investigaciones, a fin de obtener valores absolutos de aislamiento sonoro.
- Explorar nuevas combinaciones con aditivos estabilizantes o puzolánicos para compensar las pérdidas de resistencia ocasionadas por residuos livianos como el EPS.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akhtar, F. U., y Kim, Y. S. (2017). Use of waste expanded polystyrene (EPS) concrete for masonry applications. *Construction and Building Materials*, 152, 776-786. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.035>
- Alengaram, U. J., Al-Muhit, B. A., Jumaat, M. Z., Ahmmad, R., y Rehman, M. A. (2022). Sustainable bricks from waste materials: A review. *Journal of Building Engineering*, 48, 103967. <https://doi.org/10.1016/j.job.2022.103967>
- Aprianti, E. (2017). A huge number of artificial waste material can be supplementary cementitious material (SCM) for concrete production— a review part II. *Journal of Cleaner Production*, 142, 4178-4194. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.115>
- ASTM C177-19. (2019). Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus. ASTM International.
- Aware, M. V., y Gonbare, P. S. (2020). Study on properties of brick using waste plastic and fly ash. *Materials Today: Proceedings*, 43, 1162-1167. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.447>
- Ahmad, A., Al-Oqla, F., Al-Dhafar, F., Hanson, E., y Khedr, M. (2022). Optimization of plastic waste integration in cement bricks. *Journal of Engineering and Applied Science*, 70, Article 55. <https://doi.org/10.1186/s44147-023-00229-1>

- Balvin Cerron, R.J.; Barrios Liza, K.; Canchari Sotomayor, J. C. (2019). Fabricación de ladrillos ecológicos para la construcción utilizando poliestireno expandido granular Biowall [Tesis para obtener título profesional, Universidad San Ignacio de Loyola]. <https://repositorio.usil.edu.pe/handle/20.500.14005/9586>
- Chindaprasirt, P., y Rukzon, S. (2008). Strength, porosity and corrosion resistance of ternary blend F cement, rice husk ash and fly ash mortar. *Construction and Building Materials*, 22(8), 1601-1606. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.06.010>
- Castro Gálvez, Y. A. y Mori Ramírez, L. M. (2021). Bloque de concreto de 10×20×40 cm incorporando fibras de plástico reciclado, para mejorar su resistencia a la compresión [Tesis para obtener título profesional, Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/95829>
- Díaz, A., y Molina, B. (2017). Aplicaciones del polietileno tereftalato (PET) en la industria alimentaria. *Revista de Investigación Científica*, 12(1), 45-56.
- Fernández, C., Barbarán, H. M. y Cabanillas P. (2018). El PET como material para envases de productos de cuidado personal y limpieza. *Revista de Ingeniería Química*, 20(2), 78-89.
- García, D., Oliveira, M. L., y Almeida, L. F. (2018). Resistencia térmica del polietileno tereftalato (PET) en aplicaciones de envasado de alimentos. *Journal of Food Packaging*, 5(2), 112-125.
- Gerónimo, M., y Gómez, M. A. (2017). Análisis del impacto ambiental de la industria de la construcción. Dykinson.

- Gómez, E., y Ortiz, F. (2021). Aplicaciones médicas del polietileno tereftalato (PET) en equipos de diagnóstico por imágenes. *Journal of Medical Engineering*, 8(3), 205-217.
- Gómez Barzola, A. F. M. (2023). Incidencia de ceniza de cáscara de huevo y plástico PET reciclado en las propiedades físico mecánicas del ladrillo artesanal para viviendas [Tesis para obtener título profesional, Universidad César Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/130455>
- Hernández, J. Yang, D., & Zou, T.. (2020). Transparencia del polietileno tereftalato (PET) en envases de alimentos y bebidas. *Food Science Review*, 15(1), 30-42.
- Hidalgo Laguna, D. E., & Poveda Calderón, R. A. (2013). Obtención de adoquines fabricados con vidrio reciclado como agregado. [Tesis para obtener título profesional, Escuela Politécnica Nacional]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/5633>
- ISO 10140-2:2010. (2010). Acoustics — Laboratory measurement of sound insulation of building elements — Part 2: Measurement of airborne sound insulation. International Organization for Standardization.
- Jayarajan, J., Ganesh, A., y Sivaraj, R. (2021). Study on mechanical properties of concrete using eggshell powder as partial replacement of cement. *Materials Today: Proceedings*, 45, 4223-4227. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.776>
- Kazmi, S. M. S., Abbas, S., Munir, M. J., y Khitab, A. (2017). Exploratory study on the effect of waste rice husk and polyethylene terephthalate (PET) resin on mechanical, thermal and burning characteristics of clay

bricks. *Applied Clay Science*, 148, 53-69.
<https://doi.org/10.1016/j.clay.2017.07.036>

Kazmi, S. M. S., Abbas, S., Munir, M. J., y Khitab, A. (2017). Exploratory study on the effect of waste rice husk and polyethylene terephthalate (PET) resin on mechanical, thermal and burning characteristics of clay bricks. *Applied Clay Science*, 148, 53-69.
<https://doi.org/10.1016/j.clay.2017.07.036>

Kulkarni, G. S., Rohankar, S. S., Brediya, S. S., y Rathod, S. M. (2020). *Sustainable construction materials and technology: green concrete*. Elsevier.

López, M., y Gutiérrez, R. (2022). Estabilidad dimensional del PET en componentes industriales y piezas de maquinaria. *Industrial Engineering Journal*, 25(3), 145-158.

Martínez, L., y Pérez, S. (2021). Resistencia química del polietileno tereftalato (PET) en productos de limpieza. *Chemical Engineering Perspectives*, 18(2), 90-103.

Mehta, M., y Monteiro, P. J. M. (2016). *Concrete: microstructure, properties, and materials*. Elsevier.

Murthi, P. y Poongodi, K. (2023). Investigation of the impact of eggshell powder blended mortar on brick masonry compressive strength. *Materials Today: Proceedings*.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.03.255>

- Mymrine, V., Ponte, M., González, M., y Catarino, J. (2019). Production of bricks from concrete waste. *Materiales de Construcción*, 69(336), e208. <https://doi.org/10.3989/mc.2019.09918>
- Neves, R. D., Silva, R. V., Veiga, R. M., y Fernandes, H. M. (2015). Properties of concrete with eggshell aggregate. *Journal of Cleaner Production*, 107, 81-88. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.113>
- Neville, R. (2011). Optimizing clay bricks with HDPE and polyethylene PET as a sustainable construction material. *Geomate Journal*, 26(94), 117–126. <https://doi.org/10.21660/2023.94.4097>
- NTP 339.604. (2002). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas. Instituto Nacional de Calidad.
- NTP 399.605. (2013). Unidades de albañilería. Método de ensayo para la determinación de la resistencia en pilas de albañilería de ladrillo. Instituto Nacional de Calidad.
- NTP 399.613. (2017). Unidades de albañilería. Ladrillos de arcilla usados en albañilería. Requisitos. Instituto Nacional de Calidad.
- Pakharin, S., Thongtha, A., & Tangchirapat, W. (2021). Properties of lightweight concrete incorporating expanded polystyrene (EPS) beads and fly ash. *KMUTNB International Journal of Applied Science and Technology*, 14(1), 1-10. <https://doi.org/10.14416/j.ijast.2021.01.001>
- Pérez Pérez, L. L. y Zamora Fernández, H. J. (2020). Diseño de bloques de concreto modificados con fibras de plástico reciclado para la reducción de cargas en edificaciones [Tesis para obtener título

profesional, Universidad César Vallejo].
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/51339repositorio.upn.edu.pe+7repositorio.ucv.edu.pe+7repositorio.ucv.edu.pe+7>

Pérez, A., y Ramos, D. (2020). Aplicaciones textiles del polietileno tereftalato (PET) en la industria de la moda. *Textile Engineering Journal*, 30(4), 275-288.

Rahim, A., Shuhaili, A. F. A., y Zin, M. S. M. (2022). Solid waste management issues and challenges in Malaysia. *Environment, Development and Sustainability*, 24(5), 6773-6794.
<https://doi.org/10.1007/s10668-021-01655-2>

Rivera Mayta, G. (2017). Disminución de la contaminación acústica con bloques de concreto hueco incorporando fibras de caucho de neumático en muros de viviendas en la ciudad del Cusco [Tesis para obtener título profesional, Universidad Alas Peruanas].
<https://hdl.handle.net/20.500.12990/4397>

Ribeiro, T. M., Baueregger, S., & Plank, J. (2021). Influence of temperature and moisture on the shelf-life of cement admixed with redispersible polymer powder. *Construction and Building Materials*, 115, 336–344.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.04.056>

Rahmani, E., Hajjani, M., Shokrieh, M. M., y Vatani, A. (2014). An investigation into the compressive strength of lightweight aggregate concrete containing rice husk. *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, 8(3), 263-272. <https://doi.org/10.1007/s11709-014-0262-1>

- Rashid, K., Razzaq, A., Ahmad, M., Ayub, T., y Rashid, T. (2021). Experimental investigation on plastic waste as an aggregate substitute in concrete. *Construction and Building Materials*, 270, 121435. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121435>
- Singh, H., Mavi, S., Khan, M. I., Chauhan, S. S., Joshi, B. R., y Chapagain, S. (2021). An overview on recycling plastic wastes in bricks. *Materials Today: Proceedings*, 47(Part_13), 4067–4073. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.697>
- Rodríguez, F., Pérez, M., Sánchez, L. y Gómez, A. (2019). Barrera a la humedad del polietileno tereftalato (PET) en envases de productos sensibles. *Packaging Technology Review*, 7(4), 200-215.
- Saleem, M., Rafique, R., y Khan, M. N. (2021). Utilization of waste materials in manufacturing of sustainable construction materials. *Materials Today: Proceedings*, 45, 4302-4307.
- Shafigh, P., Mahmud, H. B., Jumaat, M. Z., y Ahmmad, R. (2014). Structural lightweight aggregate concrete using two types of waste from the palm oil industry as aggregate. *Journal of Cleaner Production*, 80, 187-196. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.05.051>
- Singh, R., y Srivastava, V. C. (2019). Light-weight insulating bricks from cellulosic waste: Development, characterization and life cycle assessment. *Journal of Building Engineering*, 25, 100784. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.100784>
- Smith, J., y Johnson, K. (2019). Resistencia mecánica del polietileno tereftalato (PET) en envases y embalajes. *Packaging Engineering Review*, 10(1), 55-68.

- Sánchez, M., y González, R. (2020). Reciclabilidad del polietileno *tereftalato* (PET) y su impacto en la sostenibilidad ambiental. *Environmental Science Journal*, 14(3), 180-195.
- Silva, T. R., Cecchin, D., de Azevedo y Monteiro, S. N. (2019). Technological characterization of PET—Polyethylene terephthalate—added soil-cement bricks. *Materials*, 14(17), 5035. <https://doi.org/10.3390/ma14175035>
- UNEP. (2020). 2020 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector. United Nations Environment Programme.
- UNEP. (2021). Plastic Planet: How Single-Use Plastics are Failing Humanity and the Earth. United Nations Environment Programme.
- Wong, H. Y., Shui, J. M., y Chen, B. (2016). Utilization of recycled PET waste for concrete block production. *Journal of Cleaner Production*, 127, 101-111. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.140>
- Zulkifli, N. I. A., Saman, H. M., Rahman, M. A. A., y Othman, N. (2022). Utilization of eggshell waste as sustainable construction materials: A review. *Journal of Building Engineering*, 49, 103983. <https://doi.org/10.1016/j.jzobe.2022.103983>

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

Título: Influencia de la adición de tres residuos (PET, EPS y cenizas de cáscara de huevo) en la elaboración de ladrillos

Formulación del problema	Hipótesis específica	Objetivos específicos	Variables	Dimensión	Indicadores	Prueba estadística
¿Cómo influye la adición de tres residuos (PET, EPS y cenizas de cáscara de huevo) en el comportamiento de curado y secado de los ladrillos?	La adición de tres residuos (PET, EPS y cenizas de cáscara de huevo) influye en el comportamiento de curado y secado de los ladrillos elaborados.	Estudiar la influencia de la adición de tres residuos (PET, EPS y cenizas de cáscara de huevo) en el comportamiento de curado y secado de los ladrillos.	Independiente X ₁ : Residuo PET X ₂ : Residuo EPS X ₃ : Ceniza de cáscara de huevo	Física	Proporción de la mezcla (%)	Mediante un diseño factorial de 2 ³ .
¿Cuál es la influencia de la adición de tres residuos (PET, EPS y cenizas de cáscara de huevo) en las propiedades físicas y el comportamiento mecánico de los ladrillos?	La adición de tres residuos (PET, EPS y cenizas de cáscara de huevo) influye en las propiedades físicas y el comportamiento mecánico de los ladrillos elaborados.	Analizar la influencia de la adición de tres residuos (PET, EPS y cenizas de cáscara de huevo) en las propiedades físicas y el comportamiento mecánico de los ladrillos.	Dependiente	Física	Variabilidad dimensional (mm) Alabeo (mm) Absorción (%) Humedad (%) Densidad (kg/m ³) Succión (g/cm ²)	Análisis de varianza ANOVA complementando con la prueba de contraste múltiple de Tukey a un 95 %.
¿Cuál es la influencia de la adición de tres residuos (PET, EPS y cenizas de cáscara de huevo) en el comportamiento acústico de los ladrillos?	La adición de tres residuos (PET, EPS y cenizas) influye en el comportamiento acústico de los ladrillos elaborados.	Evaluar la influencia de la adición de tres residuos (PET, EPS y cenizas de cáscara de huevo) en el comportamiento acústico de los ladrillos.	Y: Ladrillo	Mecánica Acústica	Resistencia a la comprensión (kg/cm ²) Atenuación sonora (dBA)	

Anexo 2
Panel fotográfico del desarrollo de la investigación

Foto 1

Muestra de residuos PET



Foto 2

Muestra de residuo EPS



Foto 3

Elaboración de ladrillos



Foto 4

Ladrillo después de 28 días de curado



Foto 5

Pesado de ladrillos



Foto 6

Empaquetado de muestras para el laboratorio



Foto 7

Muestras de ladrillos sumergidos 24 h



Foto 8

Secado de ladrillos

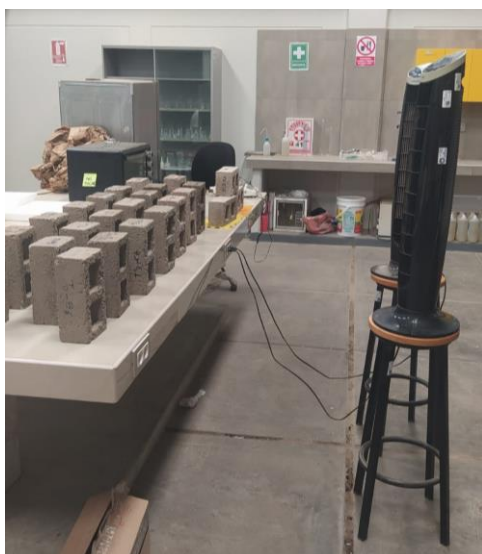


Foto 9

Muestra de ladrillo en ensayo de succión



Foto 10

Ensayo de ruido



Foto 11

Ensayo de ruido sellado



Anexo 3

Resultados del análisis de laboratorio de los ladrillos



Universidad Privada de Tacna
Sin Fines de Lucro

LABORATORIO DE MECÁNICA
DE SUELOS, CONCRETOS Y
PAVIMENTOS

INFORME DE ENSAYO

Número de Páginas: 1

CÓDIGO 016-099-1-2025 MÉTODOS DE MUESTREO Y ENSAYO DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA DE CONCRETO NTP 399.604 2002 (revisada el 2015) ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ADOQUINES DE CONCRETO

Proyecto (*) : EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE TEREFALATO DE POLIETILENO EXPANDIDO Y GENIZA DE CASCARA DE HUEVO EN LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS			
Cliente (*) : EDDI FRANCISCO NOA ACHO			
RUC/DNI (*) : 10748769485	Correo (*) : anosas@uniptg.edu.pe	Teléf. / Celular (*) : 927565842	
Fecha de ensayo : 2025-03-03	Hora del ensayo : 10:00 Hrs.	Fecha de emisión del informe : 2025-03-04	
Temperatura ambiente : 25,9 °C	Humedad : 50,3 %	Ensayo realizado en : Ambiente del laboratorio de ensayos de concreto	

1. TABLA DE DATOS DEL ENSAYO

N°	CÓDIGO DE LA MUESTRA	FECHA		EDAD (Días)	DIMENSIONES			AREA BRUTA (mm²)	CARGA MÁXIMA (kN)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
		VACIADO (*)	ROTURA		L (longitud) (mm)	A (ancho) (mm)	H (altura) (mm)			kg/cm² (f'c')	MPa
22	016-099-M1	-	2025-03-03	>28	241,0	132,0	85,0	31 812,0	193,54	62,0	6,1
23	016-099-M2	-	2025-03-03	>28	241,0	132,0	84,0	31 812,0	213,75	68,5	6,7
24	016-099-M3	-	2025-03-03	>28	241,0	133,0	89,0	32 053,0	253,54	80,7	7,9

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas

2. DE LA IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS

Código asignado Por el Laboratorio	Código Asignado por Cliente (*)	Observaciones	f'c de Diseño (**)	Fecha Recepción
016-099-M1	TD-B10	Solo concreto. GRUPO 01	n/a	2025-02-25
016-099-M2	TD-B09	Solo concreto. GRUPO 01	n/a	2025-02-25
016-099-M3	TD-B08	Solo concreto. GRUPO 01	n/a	2025-02-25

Consideraciones

- Colización 017C-2025
- Las muestras fueron proporcionadas por el cliente y corresponden a adoquines de concreto.
- (*) Datos brindados por el cliente.
- (**) Fecha en la que las muestras se internaron en el Laboratorio.
- n/a (No específico).
- Las muestras fueron referendadas utilizando un mortero de cal con cemento.
- Ensayo realizado en Máquina de ensayo Uniaxial FORNEY con código patrimonial 3311.10.032725
- Las muestras fueron recibidas a las 10:15 Hrs. y fueron mantenidas en un ambiente con las condiciones requeridas según numeral 7.2.1 de la norma.

Está prohibida la reproducción total o parcial del informe de ensayo sin la autorización por escrito del Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concretos y Pavimentos de la Universidad Privada de Tacna



- (fin del Informe) -



Ing. Pedro Maquera Cruz
JEFE DE LA DE MECÁNICA DE SUELOS
CONCRETOS Y PAVIMENTOS

He revisado y autorizado la emisión de este documento
Firmado el 2025-03-04 a las 11:45 Hrs. en la ciudad de Tacna, Perú



INFORME DE ENSAYO

Número de Páginas: 1

CÓDIGO 016-099-2-2025
MÉTODOS DE MUESTREO Y ENSAYO DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA DE CONCRETO
NTP 399.604 2002 (revisada el 2015)
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ADOQUINES DE CONCRETO

Proyecto (*) :	EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE TEREFALATO DE POLIETILENO EXPANDIDO Y CENIZA DE CASCARA DE HUEVO EN LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS		
Cliente (*) :	EDDI FRANCISCO NOA ACHO		
RUC/DNI (*) :	10748769485	Correo (*) :	enooaa@unipt.edu.pe
		Teléf. / Celular (*) :	927565842
Fecha de ensayo:	2025-03-03	Hora del ensayo:	10:00 Hrs.
Temperatura ambiente:	25,9 °C	Humedad:	50,3 %
		Fecha de emisión del informe:	2025-03-04
		Ensayo realizado en:	Ambiente del laboratorio de ensayos de concreto

1. TABLA DE DATOS DEL ENSAYO

N°	CÓDIGO DE LA MUESTRA	FECHA		EDAD (Días)	DIMENSIONES			AREA BRUTA (mm²)	CARGA MÁXIMA (kN)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
		VACIADO (*)	ROTURA		L (longitud) (mm)	A (ancho) (mm)	H (altura) (mm)			kg/cm² (f'c)	MPa
22	016-099-M4	-	2025-03-03	>28	241,0	131,0	87,0	31 571,0	244,00	78,8	7,7
23	016-099-M5	-	2025-03-03	>28	241,0	132,0	91,0	31 812,0	194,25	62,3	6,1
24	016-099-M6	-	2025-03-03	>28	241,0	132,0	88,0	31 812,0	189,80	60,8	6,0

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas

2. DE LA IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS

Código asignado Por el Laboratorio	Código Asignado por Cliente (*)	Observaciones	f'c de Diseño (f'')	Fecha Recepción
016-099-M4	T1-P09	PET/CONCRETO, GRUPO 02	n/e	2025-02-25
016-099-M5	T1-P08	PET/CONCRETO, GRUPO 02	n/e	2025-02-25
016-099-M6	T1-P04	PET/CONCRETO, GRUPO 02	n/e	2025-02-25

Consideraciones

- Cotización 017C-2025
- Las muestras fueron proporcionadas por el cliente y corresponden a adoquines de concreto.
- (*) Datos brindados por el cliente.
- (**) Fecha en la que las muestras se internaron en el Laboratorio.
- n/e (No especificó).
- Las muestras fueron refrendadas utilizando un mortero de cal con cemento.
- Ensayo realizado en Máquina de ensayo Uniaxial FORNEY con código patrimonial 3311.10.032725
- Las muestras fueron recibidas a las 10:15 Hrs. y fueron mantenidas en un ambiente con las condiciones requeridas según numeral 7.2.1 de la norma.

Está prohibida la reproducción total o parcial del informe de ensayo sin la autorización por escrito del Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concretos y Pavimentos de la Universidad Privada de Tacna



- (fin del Informe) -



Ing. Pedro Maquera Cruz
JEFE(a) DE LAB. DE MECÁNICA DE SUELOS
CONCRETOS Y PAVIMENTOS

He revisado y autorizado la emisión de este documento
Firmado el 2025-03-04 a las 11:45 Hrs. en la ciudad de Tacna, Perú



INFORME DE ENSAYO

Número de Páginas: 1

CÓDIGO 016-099-3-2025
MÉTODOS DE MUESTREO Y ENSAYO DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA DE CONCRETO
NTP 399.604 2002 (revisada el 2015)
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ADOQUINES DE CONCRETO

Proyecto (*) :	EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE TEREFALATO DE POLIETILENO EXPANDIDO Y CENIZA DE CASCARA DE HUEVO EN LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS		
Cliente (*) :	EDDI FRANCISCO NOA ACHO		
RUC/DNI (*) :	10748769485	Correo (*) :	pcnpaa@un@q.edu.pe
		Teléf. / Celular (*) :	927565842
Fecha de ensayo: 2025-03-03	Hora del ensayo: 10:00 Hrs.	Fecha de emisión del informe: 2025-03-04	
Temperatura ambiente: 25,9 °C	Humedad: 50,3 %	Ensayo Ambiente del laboratorio de ensayos de concreto	
		realizado en: concreto	

1. TABLA DE DATOS DEL ENSAYO

N°	CÓDIGO DE LA MUESTRA	FECHA		EDAD (Días)	DIMENSIONES			AREA BRUTA (mm²)	CARGA MÁXIMA (kN)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
		VACIADO (*)	ROTURA		L (longitud) (mm)	A (ancho) (mm)	H (altura) (mm)			kg/cm² (f'c)	MPa
22	016-099-M7	-	2025-03-03	>28	241,0	132,0	91,0	31 812,0	91,25	29,2	2,9
23	016-099-M8	-	2025-03-03	>28	241,0	132,0	94,0	31 812,0	91,90	29,5	2,9
24	016-099-M9	-	2025-03-03	>28	241,0	131,0	98,0	31 571,0	103,43	33,4	3,3

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas

2. DE LA IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS

Código asignado Por el Laboratorio	Código Asignado por Cliente (*)	Observaciones	f'c de Diseño (**)	Fecha Recepción
016-099-M7	T2-EP1	EP5/CONCRETO. GRUPO 03	n/e	2025-02-25
016-099-M8	T2-EP4	EP5/CONCRETO. GRUPO 03	n/e	2025-02-25
016-099-M9	T2-EP6	EP5/CONCRETO. GRUPO 03	n/e	2025-02-25

Consideraciones

- Cotización 017C-2025
- Las muestras fueron proporcionadas por el cliente y corresponden a adoquines de concreto.
- (*) Datos brindados por el cliente.
- (**) Fecha en la que las muestras se internaron en el Laboratorio.
- n/e (No especificó).
- Las muestras fueron refrendadas utilizando un mortero de cal con cemento.
- Ensayo realizado en Máquina de ensayo Uniaxial FORNEY con código patrimonial 3311.10.032725
- Las muestras fueron recibidas a las 10:15 Hrs. y fueron mantenidas en un ambiente con las condiciones requeridas según numeral 7.2.1 de la norma.

Está prohibida la reproducción total o parcial del informe de ensayo sin la autorización por escrito del Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concretos y Pavimentos de la Universidad Privada de Tacna



- (fin del Informe) -



Ing. Pedro Maquera Cruz
JEFE(a) DE LAB. DE MECÁNICA DE SUELOS
CONCRETOS Y PAVIMENTOS

He revisado y autorizado la emisión de este documento
Firmado el 2025-03-04 a las 11:45 Hrs. en la ciudad de Tacna, Perú



INFORME DE ENSAYO

Número de Páginas: 1

CÓDIGO 016-099-4-2025
MÉTODOS DE MUESTREO Y ENSAYO DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA DE CONCRETO
NTP 399.604 2002 (revisada el 2015)
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ADOQUINES DE CONCRETO

Proyecto (*) :	EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE TEREFALATO DE POLIETILENO EXPANDIDO Y CENIZA DE CASCARA DE HUEVO EN LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS		
Cliente (*) :	EDDI FRANCISCO NOA ACHO		
RUC/DNI (*) :	10748769485	Correo (*) :	pcnpaa@unpt.edu.pe
		Teléf. / Celular (*) :	927565842
Fecha de ensayo: 2025-03-03	Hora del ensayo: 10:00 Hrs.	Fecha de emisión del informe: 2025-03-04	
Temperatura ambiente: 25,9 °C	Humedad: 50,3 %	Ensayo Ambiente del laboratorio de ensayos de concreto	
		realizado en: concreto	

1. TABLA DE DATOS DEL ENSAYO

N°	CÓDIGO DE LA MUESTRA	FECHA		EDAD (Días)	DIMENSIONES			AREA BRUTA (mm²)	CARGA MÁXIMA (kN)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
		VACIADO (*)	ROTURA		L (longitud) (mm)	A (ancho) (mm)	H (altura) (mm)			kg/cm² (f'c)	MPa
22	016-099-M10	-	2025-03-03	>28	241,0	132,0	98,0	31 812,0	220,60	70,7	6,8
23	016-099-M11	-	2025-03-03	>28	241,0	130,0	91,0	31 330,0	252,82	82,3	8,1
24	016-099-M12	-	2025-03-03	>28	242,0	131,0	89,0	31 702,0	245,37	78,9	7,7

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas

2. DE LA IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS

Código asignado Por el Laboratorio	Código Asignado por Cliente (*)	Observaciones	f'c de Diseño (f'')	Fecha Recepción
016-099-M10	T3-C10	CENIZA/CONCRETO. GRUPO 04	n/e	2025-02-25
016-099-M11	T3-C07	CENIZA/CONCRETO. GRUPO 04	n/e	2025-02-25
016-099-M12	T3-C08	CENIZA/CONCRETO. GRUPO 04	n/e	2025-02-25

Consideraciones

- Cotización 017C-2025
- Las muestras fueron proporcionadas por el cliente y corresponden a adoquines de concreto.
- (*) Datos brindados por el cliente.
- (**) Fecha en la que las muestras se internaron en el Laboratorio.
- n/e (No especificó).
- Las muestras fueron refrendadas utilizando un mortero de cal con cemento.
- Ensayo realizado en Máquina de ensayo Uniaxial FORNEY con código patrimonial 3311.10.032725
- Las muestras fueron recibidas a las 10:15 Hrs. y fueron mantenidas en un ambiente con las condiciones requeridas según numeral 7.2.1 de la norma.

Está prohibida la reproducción total o parcial del informe de ensayo sin la autorización por escrito del Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concretos y Pavimentos de la Universidad Privada de Tacna



- (fin del Informe) -



Ing. Pedro Maquera Cruz
JEFE(a) DE LAB. DE MECÁNICA DE SUELOS
CONCRETOS Y PAVIMENTOS

He revisado y autorizado la emisión de este documento
Firmado el 2025-03-04 a las 11:45 Hrs. en la ciudad de Tacna, Perú



INFORME DE ENSAYO

Número de Páginas: 1

CÓDIGO 016-099-5-2025
MÉTODOS DE MUESTREO Y ENSAYO DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA DE CONCRETO
NTP 399.604 2002 (revisada el 2015)
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ADOQUINES DE CONCRETO

Proyecto (*) :	EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE TEREFALATO DE POLIETILENO EXPANDIDO Y CENIZA DE CASCARA DE HUEVO EN LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS		
Cliente (*) :	EDDI FRANCISCO NOA ACHO		
RUC/DNI (*) :	10748769485	Correo (*) :	pcnpaa@unpt.edu.pe
		Teléf. / Celular (*) :	927565842
Fecha de ensayo:	2025-03-03	Hora del ensayo:	10:00 Hrs.
Temperatura ambiente:	25,9 °C	Humedad:	50,3 %
		Fecha de emisión del informe:	2025-03-04
		Ensayo realizado en:	Ambiente del laboratorio de ensayos de concreto

1. TABLA DE DATOS DEL ENSAYO

N°	CÓDIGO DE LA MUESTRA	FECHA		EDAD (Días)	DIMENSIONES			AREA BRUTA (mm²)	CARGA MÁXIMA (kN)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
		VACIADO (*)	ROTURA		L (longitud) (mm)	A (ancho) (mm)	H (altura) (mm)			kg/cm² (f'c)	MPa
22	016-099-M13	-	2025-03-03	>28	241,0	133,0	91,0	32 053,0	233,43	74,3	7,3
23	016-099-M14	-	2025-03-03	>28	241,0	133,0	91,0	32 053,0	222,51	70,8	6,9
24	016-099-M15	-	2025-03-03	>28	242,0	131,0	87,0	31 702,0	277,42	89,2	8,8

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas

2. DE LA IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS

Código asignado Por el Laboratorio	Código Asignado por Cliente (*)	Observaciones	f'c de Diseño (f'c)	Fecha Recepción
016-099-M13	T4-PC06	PET/EPS/CONCRETO. GRUPO 05	n/e	2025-02-25
016-099-M14	T4-PC08	PET/EPS/CONCRETO. GRUPO 05	n/e	2025-02-25
016-099-M15	T4-PC09	PET/EPS/CONCRETO. GRUPO 05	n/e	2025-02-25

Consideraciones

- Cotización 017C-2025
- Las muestras fueron proporcionadas por el cliente y corresponden a adoquines de concreto.
- (*) Datos brindados por el cliente.
- (**) Fecha en la que las muestras se internaron en el Laboratorio.
- n/e (No especificó).
- Las muestras fueron refrendadas utilizando un mortero de cal con cemento.
- Ensayo realizado en Máquina de ensayo Uniaxial FORNEY con código patrimonial 3311.10.032725
- Las muestras fueron recibidas a las 10:15 Hrs. y fueron mantenidas en un ambiente con las condiciones requeridas según numeral 7.2.1 de la norma.

Está prohibida la reproducción total o parcial del informe de ensayo sin la autorización por escrito del Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concretos y Pavimentos de la Universidad Privada de Tacna



- (fin del Informe) -



Ing. Pedro Maquera Cruz
JEFE(a) DE LAB. DE MECÁNICA DE SUELOS
CONCRETOS Y PAVIMENTOS

He revisado y autorizado la emisión de este documento
Firmado el 2025-03-04 a las 11:45 Hrs. en la ciudad de Tacna, Perú



INFORME DE ENSAYO

Número de Páginas: 1

CÓDIGO 016-099-6-2025
MÉTODOS DE MUESTREO Y ENSAYO DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA DE CONCRETO
NTP 399.604 2002 (revisada el 2015)
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ADOQUINES DE CONCRETO

Proyecto (*) :	EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE TEREFALATO DE POLIETILENO EXPANDIDO Y CENIZA DE CASCARA DE HUEVO EN LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS		
Cliente (*) :	EDDI FRANCISCO NOA ACHO		
RUC/DNI (*) :	10748769485	Correo (*) :	pcnpaa@un@q.edu.pe
		Teléf. / Celular (*) :	927565842
Fecha de ensayo: 2025-03-03	Hora del ensayo: 10:00 Hrs.	Fecha de emisión del informe: 2025-03-04	
Temperatura ambiente: 25,9 °C	Humedad: 50,3 %	Ensayo Ambiente del laboratorio de ensayos de concreto	
		realizado en: concreto	

1. TABLA DE DATOS DEL ENSAYO

N°	CÓDIGO DE LA MUESTRA	FECHA		EDAD (Días)	DIMENSIONES			AREA BRUTA (mm ²)	CARGA MÁXIMA (kN)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
		VACIADO (*)	ROTURA		L (longitud) (mm)	A (ancho) (mm)	H (altura) (mm)			kg/cm ² (f'c)	MPa
22	016-099-M16	-	2025-03-03	>28	242,0	132,0	98,0	31 944,0	98,65	31,5	3,1
23	016-099-M17	-	2025-03-03	>28	241,0	132,0	87,0	31 812,0	80,11	25,7	2,5
24	016-099-M18	-	2025-03-03	>28	241,0	132,0	84,0	31 812,0	80,74	25,9	2,5

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas

2. DE LA IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS

Código asignado Por el Laboratorio	Código Asignado por Cliente (*)	Observaciones	f'c de Diseño (MPa)	Fecha Recepción
016-099-M16	T5-PEP02	EP5/CENIZA/CONCRETO. GRUPO 06	n/e	2025-02-25
016-099-M17	T5-PEP07	EP5/CENIZA/CONCRETO. GRUPO 06	n/e	2025-02-25
016-099-M18	T5-PEP08	EP5/CENIZA/CONCRETO. GRUPO 06	n/e	2025-02-25

Consideraciones

- Cotización 017C-2025
- Las muestras fueron proporcionadas por el cliente y corresponden a adoquines de concreto.
- (*) Datos brindados por el cliente.
- (**) Fecha en la que las muestras se internaron en el Laboratorio.
- n/e (No especificó).
- Las muestras fueron refrendadas utilizando un mortero de cal con cemento.
- Ensayo realizado en Máquina de ensayo Uniaxial FORNEY con código patrimonial 3311.10.032725
- Las muestras fueron recibidas a las 10:15 Hrs. y fueron mantenidas en un ambiente con las condiciones requeridas según numeral 7.2.1 de la norma.

Está prohibida la reproducción total o parcial del informe de ensayo sin la autorización por escrito del Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concretos y Pavimentos de la Universidad Privada de Tacna



- (fin del Informe) -



Ing. Pedro Maquera Cruz
JEFE(a) DE LAB. DE MECÁNICA DE SUELOS
CONCRETOS Y PAVIMENTOS

He revisado y autorizado la emisión de este documento
Firmado el 2025-03-04 a las 11:45 Hrs. en la ciudad de Tacna, Perú



INFORME DE ENSAYO

Número de Páginas: 1

CÓDIGO 016-099-7-2025
MÉTODOS DE MUESTREO Y ENSAYO DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA DE CONCRETO
NTP 399.604 2002 (revisada el 2015)
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ADOQUINES DE CONCRETO

Proyecto (*) :	EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE TEREFALATO DE POLIETILENO EXPANDIDO Y CENIZA DE CASCARA DE HUEVO EN LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS		
Cliente (*) :	EDDI FRANCISCO NOA ACHO		
RUC/DNI (*) :	10748769485	Correo (*) :	enooaa@unipt.edu.pe
		Teléf. / Celular (*) :	927565842
Fecha de ensayo:	2025-03-03	Hora del ensayo:	10:00 Hrs.
Temperatura ambiente:	25,9 °C	Humedad:	50,3 %
		Fecha de emisión del informe:	2025-03-04
		Ensayo realizado en:	Ambiente del laboratorio de ensayos de concreto

1. TABLA DE DATOS DEL ENSAYO

N°	CÓDIGO DE LA MUESTRA	FECHA		EDAD (Días)	DIMENSIONES			AREA BRUTA (mm²)	CARGA MÁXIMA (kN)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
		VACIADO (*)	ROTURA		L (longitud) (mm)	A (ancho) (mm)	H (altura) (mm)			kg/cm² (f'c)	MPa
22	016-099-M19	-	2025-03-03	>28	241,0	131,0	90,0	31 571,0	146,31	47,3	4,6
23	016-099-M20	-	2025-03-03	>28	241,0	132,0	84,0	31 812,0	149,35	47,9	4,7
24	016-099-M21	-	2025-03-03	>28	239,0	131,0	90,0	31 309,0	148,51	48,4	4,7

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas

2. DE LA IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS

Código asignado Por el Laboratorio	Código Asignado por Cliente (*)	Observaciones	f'c de Diseño (f'')	Fecha Recepción
016-099-M19	T6-EPC08	PET/CENIZA CEMENTO. GRUPO 07	n/e	2025-02-25
016-099-M20	T6-EPC06	PET/CENIZA CEMENTO. GRUPO 07	n/e	2025-02-25
016-099-M21	T6-EPC09	PET/CENIZA CEMENTO. GRUPO 07	n/e	2025-02-25

Consideraciones

- Cotización 017C-2025
- Las muestras fueron proporcionadas por el cliente y corresponden a adoquines de concreto.
- (*) Datos brindados por el cliente.
- (**) Fecha en la que las muestras se internaron en el Laboratorio.
- n/e (No especificó).
- Las muestras fueron refrendadas utilizando un mortero de cal con cemento.
- Ensayo realizado en Máquina de ensayo Uniaxial FORNEY con código patrimonial 3311.10.032725
- Las muestras fueron recibidas a las 10:15 Hrs. y fueron mantenidas en un ambiente con las condiciones requeridas según numeral 7.2.1 de la norma.

Está prohibida la reproducción total o parcial del informe de ensayo sin la autorización por escrito del Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concretos y Pavimentos de la Universidad Privada de Tacna



- (fin del Informe) -



Ing. Pedro Maquera Cruz
JEFE(a) DE LAB. DE MECÁNICA DE SUELOS
CONCRETOS Y PAVIMENTOS

He revisado y autorizado la emisión de este documento
Firmado el 2025-03-04 a las 11:45 Hrs. en la ciudad de Tacna, Perú



INFORME DE ENSAYO

Número de Páginas: 1

CÓDIGO 016-099-8-2025
MÉTODOS DE MUESTREO Y ENSAYO DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA DE CONCRETO
NTP 399.604 2002 (revisada el 2015)
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ADOQUINES DE CONCRETO

Proyecto (*) :	EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE TEREFALATO DE POLIETILENO EXPANDIDO Y CENIZA DE CASCARA DE HUEVO EN LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS		
Cliente (*) :	EDDI FRANCISCO NOA ACHO		
RUC/DNI (*) :	10748769485	Correo (*) :	pcnpaa@un@q.edu.pe
		Teléf. / Celular (*) :	927565842
Fecha de ensayo:	2025-03-03	Hora del ensayo:	10:00 Hrs.
Temperatura ambiente:	25,9 °C	Humedad:	50,3 %
		Fecha de emisión del informe:	2025-03-04
		Ensayo realizado en:	Ambiente del laboratorio de ensayos de concreto

1. TABLA DE DATOS DEL ENSAYO

N°	CÓDIGO DE LA MUESTRA	FECHA		EDAD (Días)	DIMENSIONES			AREA BRUTA (mm²)	CARGA MÁXIMA (kN)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
		VACIADO (*)	ROTURA		L (longitud) (mm)	A (ancho) (mm)	H (altura) (mm)			kg/cm² (f'c)	MPa
22	016-099-M22	-	2025-03-03	>28	240,0	131,0	90,0	31 440,0	106,20	34,4	3,4
23	016-099-M23	-	2025-03-03	>28	241,0	130,0	89,0	31 330,0	116,53	37,9	3,7
24	016-099-M24	-	2025-03-03	>28	240,0	131,0	99,0	31 440,0	93,66	30,4	3,0

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas

2. DE LA IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS

Código asignado Por el Laboratorio	Código Asignado por Cliente (*)	Observaciones	f'c de Diseño (f'')	Fecha Recepción
016-099-M22	T7-PEPC07	PET/EPS/CENIZA/CONCRETO. GRUPO 08	n/e	2025-02-25
016-099-M23	T7-PEPC08	PET/EPS/CENIZA/CONCRETO. GRUPO 08	n/e	2025-02-25
016-099-M24	T7-PEPC10	PET/EPS/CENIZA/CONCRETO. GRUPO 08	n/e	2025-02-25

Consideraciones

- Cotización 017C-2025
- Las muestras fueron proporcionadas por el cliente y corresponden a adoquines de concreto.
- (*) Datos brindados por el cliente.
- (**) Fecha en la que las muestras se internaron en el Laboratorio.
- n/e (No especificó).
- Las muestras fueron refrendadas utilizando un mortero de cal con cemento.
- Ensayo realizado en Máquina de ensayo Uniaxial FORNEY con código patrimonial 3311.10.032725
- Las muestras fueron recibidas a las 10:15 Hrs. y fueron mantenidas en un ambiente con las condiciones requeridas según numeral 7.2.1 de la norma.

Está prohibida la reproducción total o parcial del informe de ensayo sin la autorización por escrito del Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concretos y Pavimentos de la Universidad Privada de Tacna



- (fin del Informe) -



Ing. Pedro Maquera Cruz
JEFE(a) DE LAB. DE MECÁNICA DE SUELOS
CONCRETOS Y PAVIMENTOS

He revisado y autorizado la emisión de este documento
Firmado el 2025-03-04 a las 11:45 Hrs. en la ciudad de Tacna, Perú