Universidad Católica de Santa María

Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

Evaluación de las propiedades físico-mecánicas y costo de ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y partículas de papel reciclado, Arequipa 2024

Tesis presentada por:

Paredes Aroquipa, Emerson

ORCID: 0009-0006-9836-3038

para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

Asesor:

Mg. Ugarte Calderon, Enrique Alfonso

ORCID: 0000-0001-8440-2012

Arequipa - Perú

2026

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA CIVIL

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 24 de Septiembre del 2026

Dictamen: 013540-C-EPIC-2026

Visto el borrador del expediente 013540, presentado por:

2017223681 - PAREDES AROQUIPA EMERSON

Titulado:

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS Y COSTO DE LADRILLOS ECOLÓGICOS DE CONCRETO CON SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL AGREGADO FINO POR PARTÍCULAS DE CAUCHO RECICLADO Y PARTÍCULAS DE PAPEL RECICLADO, AREQUIPA 2024

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Titulo Profesional/Titulo de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO CIVIL

46735424 - LOAYZA RODRIGUEZ JOSE GERMAN
DICTAMINADOR

71256920 - TORRES ALMIRON JENIFFER CARLA
DICTAMINADOR

46309156 - MONTOYA VILLANUEVA FILIBERTO RODY
DICTAMINADOR

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS Y COSTO DE LADRILLOS ECOLÓGICOS DE CONCRETO CON SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL AGREGADO FINO POR PARTÍCULAS DE CAUCHO RECICLADO Y PARTÍCULAS DE PAPEL RECICLADO,

INFORME DE ORIGINALIDAD

8%	11%	7%	4%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	4%
2	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	1%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
4	repositorio.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	1%

Excluir citas	Apagado	Excluir coincidencias	< 1%
Excluir bibliografía	Apagado		

Dedicatoria

A Dios, guía de mi camino, por ser la luz en momentos de duda y ser la fuente de sabiduría que me permitió culminar esta tesis.

A mis padres Cirilo y Francisca por enseñarme que la perseverancia se construye con trabajo, responsabilidad y convicción; cada esfuerzo realizado durante mi formación profesional lleva parte de lo que aprendí de ellos.

A mis hermanas Milagros y Flor Karina, por comprender las horas de estudio, los momentos de incertidumbre y el esfuerzo que exigió culminar este trabajo de investigación; este trabajo también representará el resultado de su acompañamiento.

A mi familia, quienes creyeron en mi capacidad para culminar esta etapa, les dedico estas páginas como una muestra de valor que tendrá contar con personas que impulsan el crecimiento personal y profesional.

Agradecimientos

Primero a Dios, por ser la fuente de sabiduría y paciencia en este camino y por haber hecho posible cada logro deseado a nivel personal y profesional, asimismo, por haber hecho posible concluir esta tesis y esta etapa académica.

A la Universidad Católica de Santa María, por la formación académica que me permitió consolidar conocimientos y por las facilidades institucionales que hicieron posible el desarrollo de este trabajo de investigación.

A mi asesor de tesis Enrique Ugarte, por su orientación metodológica, sus observaciones y el seguimiento durante las diferentes etapas de la tesis; sus aportes permitieron culminar los procedimientos, sustentar las decisiones tomadas y presentar los resultados con mayor rigor.

A los docentes de la carrera de Ingeniería Civil, por los conocimientos aportados, además de su colaboración durante cada etapa de mi formación profesional y así culminar este trabajo de investigación.

A mi familia, por su paciencia, confianza y apoyo constante durante el desarrollo de esta tesis, además de su acompañamiento que fue una parte valiosa de este logro.

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar las propiedades físico-mecánicas y el costo del ladrillo ecológico de concreto elaborado mediante la sustitución parcial del agregado fino por partículas de papel reciclado y partículas de caucho reciclado, con el propósito de determinar su comportamiento técnico bajo condiciones de laboratorio en Arequipa.

Se desarrolló una investigación de tipo básica, con nivel explicativo y diseño experimental, ya que se tuvo un grupo patrón y 6 dosificaciones experimentales; se fabricaron ladrillos de concreto con sustituciones parciales del agregado fino de 2.5%, 5% y 7.5% para cada material reciclado, las unidades se evaluaron mediante ensayos físicos y mecánicos establecidos en la Norma E.070 del RNE, considerando variación dimensional, alabeo, porcentaje de vacíos, absorción, succión, resistencia a compresión de unidades, resistencia a compresión axial de pilas y resistencia a compresión diagonal de muretes; asimismo, se estimó el costo de elaboración de cada dosificación.

Los resultados mostraron que todas las unidades conservaron características geométricas aceptables; la dosificación con 2.5% de partículas de papel reciclado presentó una resistencia media mayor pero estadísticamente equivalente al alcanzar una resistencia a compresión de 103.28 kg/cm², mayor que la del ladrillo patrón de 97.09 kg/cm²; también se obtuvieron mayores resistencias en promedio en pilas y muretes; en contraste, el incremento del contenido de caucho reciclado redujo progresivamente la resistencia a compresión.

Se concluyó que la sustitución parcial del agregado fino por 2.5% de partículas de papel reciclado (LCP1), presentó en promedio el mejor comportamiento experimental físico-mecánico además de tener el menor costo de las dosificaciones evaluadas con S/. 1.62; esto bajo las condiciones experimentales, sin constituir una validación de aplicación estructural.

Palabras clave: Papel, Caucho, Ladrillos ecológicos.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the physical and mechanical properties and the cost of eco-friendly concrete bricks produced by partially replacing the fine aggregate with recycled paper particles and recycled rubber particles, in order to determine their technical performance under laboratory conditions in Arequipa.

A basic research study was conducted, with an explanatory approach and an experimental design, as it included a control group and six experimental treatments; concrete bricks were manufactured with partial substitutions of the fine aggregate at 2.5%, 5%, and 7.5% for each recycled material; the units were evaluated using physical and mechanical tests established in RNE Standard E.070, considering dimensional variation, warping, void percentage, absorption, suction, compressive strength of individual units, axial compressive strength of stacks, and diagonal compressive strength of low walls; in addition, the production cost of each mix design was estimated.

The results showed that all units retained acceptable geometric characteristics; the mixture containing 2.5% recycled paper particles exhibited a higher average strength but was statistically equivalent, achieving a compressive strength of 103.28 kg/cm², which was higher than that of the standard brick at 97.09 kg/cm²; higher average strengths were also obtained in stacks and low walls; in contrast, increasing the recycled rubber content progressively reduced the compressive strength.

It was concluded that the partial replacement of the fine aggregate with 2.5% recycled paper particles (LCP1) exhibited, on average, the best experimental physical-mechanical performance and also had the lowest cost among the dosages evaluated, at S/. 1.62; this was under experimental conditions and does not constitute a validation for structural application.

Keywords: Paper, Rubber, Eco-friendly bricks.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN **1**

CAPÍTULO I. ASPECTOS GENERALES **3**

1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 3

1.2. PROBLEMA 9

1.2.1. Problema general 9
1.2.2. Problemas específicos 10
1.3. JUSTIFICACIÓN 10

1.3.1. Justificación social 10
1.3.2. Justificación económica 11
1.3.3. Justificación tecnológica 11
1.3.4. Justificación ambiental 11
1.4. HIPÓTESIS 11

1.4.1. Hipótesis general 11
1.4.2. Hipótesis específicas 12
1.5. OBJETIVOS 12

1.5.1. Objetivo principal 12
1.5.2. Objetivos específicos 12
1.6. ALCANCES 13

1.7. LIMITACIONES 14

1.8. VARIABLES DE INVESTIGACIÓN 15

1.8.1. Variable independiente 15
1.8.2. Variable dependiente 15
1.8.3. Matriz de operacionalización de variables 15

2. CAPITULO II. MARCO TEÓRICO **17**

2.1. ESTADO DEL ARTE 17

2.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN 21

2.2.1. Antecedente internacional 21
2.2.2. Antecedente nacional 24
2.2.3. Antecedente local 27
2.3. MARCO TEÓRICO 29

2.3.1. Problemática ambiental en la construcción 29
2.3.2. Economía circular de materiales de construcción 32
2.3.3. Ladrillo de concreto 33
2.3.4. Ladrillo ecológico 36
2.3.5. Partícula de caucho reciclado 41
2.3.6. Partículas de papel reciclado 45
2.3.7. Muros de albañilería 48
2.3.8. Ensayos y pruebas de laboratorio a los componentes 48
2.4. MARCO LEGAL 49

3. CAPITULO III. METODOLOGÍA 52

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN 52

3.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN 52

3.3. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN 52

3.4. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN 53

3.5. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN 56

3.6. MÉTODO DE MUESTREO 56

3.7. TAMAÑO DE LA MUESTRA 56

3.8. TÉCNICAS DE MEDICIÓN 57

3.9. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS 57

3.10. INSTRUMENTOS DE CAMPO Y DE LABORATORIO 58

3.11. MATERIALES Y EQUIPOS DE LABORATORIO 58

3.12. POBLACIÓN Y MUESTRA 59

3.12.1. Población 59
3.12.2. Muestra 59
3.13. PROCESAMIENTO DE DATOS 62

3.14. CONTRASTACIÓN DE RESULTADOS 67

4. CAPÍTULO IV. PREPARACIÓN, FABRICACIÓN Y ENSAYOS DE LADRILLOS DE CONCRETO 68

4.1. PROPIEDADES DEL AGREGADO GRUESO 68

4.1.1. Granulometría 68
4.1.2. Contenido de humedad 70
4.1.3. Peso específico 72
4.1.4. Absorción 74
4.1.5. Peso unitario suelto 76
4.1.6. Peso unitario compactado 78
4.2. PROPIEDADES DEL AGREGADO FINO 80

4.2.1. Granulometría 80
4.2.2. Contenido de humedad 83
4.2.3. Peso especifico 85
4.2.4. Absorción 87
4.2.5. Peso unitario suelto 89
4.2.6. Peso unitario compactado 91
4.2.7. Detección de arcillas nocivas 92
4.3. DISEÑO DE MEZCLAS 95

4.3.1. Diseño de mezclas 95
4.3.2. Diseño de mezcla de ladrillo de concreto 105
4.3.3. Diseño de mezcla de ladrillo de concreto con partículas de caucho 106
4.3.4. Diseño de mezcla de ladrillo de concreto con papel 107
4.4. FABRICACIÓN DE LADRILLOS 109

4.4.1. Obtención de materias primas 109
4.4.2. Fabricación de ladrillos de concreto 109
4.5. ENSAYOS DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA 110

4.5.1. Variación de dimensiones 110
4.5.2. Alabeo 111
4.5.3. Porcentaje de área de vacíos 113
4.5.4. Absorción 116
4.5.5. Succión 117
4.5.6. Compresión simple de unidades de albañilería 120
4.6. ENSAYO DE COMPRESIÓN AXIAL DE PRISMAS DE ALBAÑILERÍA 122

4.6.1. Fabricación de prismas de albañilería 122
4.6.2. Ensayo de compresión axial 123
4.7. ENSAYO DE COMPRESIÓN DIAGONAL DE MURETES DE ALBAÑILERÍA 125

4.7.1. Fabricación de muretes de albañilería 125
4.7.2. Ensayo de compresión diagonal 126

5. CAPÍTULO V. RESULTADOS 128

5.1. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES 128

5.2. PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LOS LADRILLOS 130

5.2.1. Ladrillos de concreto 130
5.2.2. Ladrillos de concreto con añadido de partículas de caucho reciclado 133
5.2.3. Ladrillos de concreto con añadido de papel reciclado. 137
5.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS 141

5.4. ESTADÍSTICO DE PRUEBA 150

5.4.1. Requisitos para el ANOVA 151
5.4.2. Regla de decisión 151
5.4.3. Análisis inferencial 151
5.4.4. Análisis de distribución normal de Shapiro-Wilk 153
5.4.5. Análisis de homogeneidad de varianzas de Levene 155
5.4.6. Análisis de varianza de ANOVA de un factor 156
5.4.7. Análisis de prueba post hoc de Tukey 158
5.5. COSTO DE LADRILLO ECOLÓGICO 162

5.5.1. Costo de obtención de partículas de caucho reciclado 162
5.5.2. Costo de obtención de partículas de papel reciclado 162
5.5.3. Costo de obtención de materiales 163
5.5.4. Transporte de materiales 164
5.5.5. Rendimiento para elaboración de ladrillos 165
5.5.6. Análisis de precios unitarios 168

6. CAPÍTULO VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS 173

7. CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 181

7.1. CONCLUSIONES 181

7.2. RECOMENDACIONES 183

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 185

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables. 16

Tabla 2. Bibliografía relevante consultada. 20

Tabla 3. Granulometría de la arena para ladrillos de concreto 35

Tabla 4. Densidad de distintos ladrillos. 46

Tabla 5. Métodos para determinar f´m y v'm 48

Tabla 6. Número de elementos por pila / murete. 60

Tabla 7. Número de elementos por resistencia característica de unidad de albañilería. 60

Tabla 8. Tabla de muestras por ensayo. 61

Tabla 9. Ensayos realizados en la investigación 66

Tabla 10. Contrastación de resultados de ensayos a albañilería. 67

Tabla 11. Ensayo de granulometría para el agregado grueso 69

Tabla 12. Ensayo de contenido de humedad para el agregado grueso 71

Tabla 13. Ensayo de peso específico para el agregado grueso 73

Tabla 14. Ensayo de absorción para el agregado grueso 75

Tabla 15. Datos del molde 1 para el ensayo de peso unitario 77

Tabla 16. Datos del molde 2 para el ensayo de peso unitario 77

Tabla 17. Datos del molde 3 para el ensayo de peso unitario 78

Tabla 18. Ensayo de peso unitario suelto para el agregado grueso 78

Tabla 19. Ensayo de peso unitario compactado para el agregado grueso 80

Tabla 20. Ensayo de granulometría para el agregado fino 82

Tabla 21. Ensayo de contenido de humedad para el agregado fino 84

Tabla 22. Ensayo de peso específico para el agregado fino 86

Tabla 23. Ensayo de absorción para el agregado fino 89

Tabla 24. Ensayo de peso unitario suelto para el agregado fino 90

Tabla 25. Ensayo de peso unitario compactado para el agregado fino 92

Tabla 26. Datos de materiales a usar en la dosificación de mezcla 95
Tabla 27. Resistencia a la compresión promedio..... 96
Tabla 28. Recomendaciones de slump para varios tipos de construcciones..... 97
Tabla 29. Valores recomendados de estimación del contenido de aire 98
Tabla 30. Requisitos aproximados de agua de mezcla 98
Tabla 31. Relación agua / cemento..... 99
Tabla 32. Cálculo de contenido de cemento en kg y bolsas 100
Tabla 33. Volumen de agregado grueso seco compactado..... 100
Tabla 34. Obtención de volumen total de agregado grueso, cemento, agua y aire..... 101
Tabla 35. Diseño de mezcla en estado seco..... 102
Tabla 36. Calculo de corrección por humedad en agregados. 103
Tabla 37. Cálculo de agua en la mezcla..... 104
Tabla 38. Cálculo de agua efectiva..... 104
Tabla 39. Diseño de mezcla en estado corregido por humedad para dosificación 104
Tabla 40. Diseño de dosificación para m³ de concreto..... 105
Tabla 41. Resistencias de probetas con f'c = 175 kg/cm² elaboradas en laboratorio..... 105
Tabla 42. Dosificación m³ para ladrillo de concreto patrón. 106
Tabla 43. Dosificación m³ para ladrillo ecológico de concreto - caucho 2.5%. 106
Tabla 44. Dosificación m³ para ladrillo ecológico de concreto - caucho 5%. 107
Tabla 45. Dosificación m³ para ladrillo ecológico de concreto - caucho 7.5%. 107
Tabla 46. Dosificación m³ para ladrillo ecológico de concreto - papel 2.5%..... 108
Tabla 47. Dosificación m³ para ladrillo ecológico de concreto - papel 5%..... 108
Tabla 48. Dosificación m³ para ladrillo ecológico de concreto - papel 7.5%..... 108
Tabla 49. Clase de unidades de albañilería para fines estructurales. 110
Tabla 50. Corrección por esbeltez. 124

Tabla 51. Resumen de propiedades de materiales. 128
Tabla 52. Resumen de variación de dimensiones en ladrillo de concreto. 130
Tabla 53. Resumen de Alabeo en ladrillo de concreto. 130
Tabla 54. Resumen de porcentaje de área de vacíos en ladrillo de concreto. 130
Tabla 55. Resumen de absorción en ladrillo de concreto. 131
Tabla 56. Resumen de succión en ladrillo de concreto. 131
Tabla 57. Resumen de compresión simple en ladrillo de concreto. 132
Tabla 58. Resumen de resistencia a compresión de prisma en ladrillo de concreto. 132
Tabla 59. Resumen de resistencia a compresión diagonal de murete de ladrillo de concreto……. 133
Tabla 60. Resumen de variación de dimensiones en ladrillo de concreto con partículas de caucho reciclado. 133
Tabla 61. Resumen de alabeo en ladrillo de concreto con partículas de caucho reciclado. .. 134
Tabla 62. Resumen de porcentaje de área de vacíos en ladrillo de concreto con partículas de caucho reciclado. 134
Tabla 63. Resumen de absorción en ladrillo de concreto con partículas de caucho reciclado……. 135
Tabla 64. Resumen de succión en ladrillo de concreto con partículas de caucho reciclado.. 135
Tabla 65. Resumen de compresión simple en ladrillo de concreto con partículas de caucho reciclado.. 136
Tabla 66. Resumen de resistencia a compresión de prisma en ladrillo de concreto con partículas de caucho reciclado. 136
Tabla 67. Resumen de resistencia a compresión diagonal de murete de ladrillo de concreto con partículas de caucho reciclado. 137
Tabla 68. Resumen de variación de dimensiones en ladrillo de concreto con partículas de papel

reciclado.. 137
Tabla 69. Resumen de alabeo en ladrillo de concreto con partículas de papel reciclado. 138
Tabla 70. Resumen de porcentaje de área de vacíos en ladrillo de concreto con partículas de papel reciclado. 138
Tabla 71. Resumen de absorción en ladrillo de concreto con partículas de papel reciclado. 139
Tabla 72. Resumen de succión en ladrillo de concreto con partículas de papel reciclado. ... 139
Tabla 73. Resumen de compresión simple en ladrillo de concreto con partículas de papel reciclado.. 140
Tabla 74. Resumen de resistencia a compresión de prisma en ladrillo de concreto con partículas de papel reciclado. 140
Tabla 75. Resumen de resistencia a compresión diagonal de murete de ladrillo de concreto con partículas de papel reciclado. 141
Tabla 76. Resistencia a compresión de ladrillos ecológicos. 141
Tabla 77. Clasificación final de ladrillos ecológicos de concreto muestreados. 142
Tabla 78. Porcentaje de área de vacíos de ladrillos ecológicos de concreto muestreados. 143
Tabla 79. Variación de dimensiones de ladrillos ecológicos de concreto muestreados. 144
Tabla 80. Alabeo de ladrillos ecológicos de concreto muestreados. 144
Tabla 81. Absorción de ladrillos ecológicos de concreto muestreados. 145
Tabla 82. Succión de ladrillos ecológicos de concreto muestreados. 146
Tabla 83. Resistencia a compresión de ladrillos ecológicos de concreto muestreados. 147
Tabla 84. Resistencia a compresión axial de pilas de ladrillos ecológicos de concreto muestreados. 148
Tabla 85. Resistencia a compresión diagonal de muretes de ladrillos ecológicos de concreto muestreados. 149
Tabla 86. Porcentaje de vacíos de los ladrillos ecológicos de concreto. 152

Tabla 87. Absorción de los ladrillos ecológicos de concreto.....152
Tabla 88. Succión de los ladrillos ecológicos de concreto. 152
Tabla 89. Resistencia a compresión de los ladrillos ecológicos de concreto.....152
Tabla 90. Resistencia a compresión axial de pilas de ladrillos ecológicos de concreto. 153
Tabla 91. Resistencia a compresión diagonal de muretes de ladrillos ecológicos de concreto…… 153
Tabla 92. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk de porcentaje de vacíos. 153
Tabla 93. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk de absorción. 153
Tabla 94. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk de succión.....154
Tabla 95. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk de resistencia a compresión.....154
Tabla 96. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk de resistencia a compresión axial de pilas…….....154
Tabla 97. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk de resistencia a compresión diagonal de muretes… 154
Tabla 98. Prueba de homogeneidad de Levene de porcentaje de vacíos. 155
Tabla 99. Prueba de homogeneidad de Levene de absorción. 155
Tabla 100. Prueba de homogeneidad de Levene de succión. 155
Tabla 101. Prueba de homogeneidad de Levene de resistencia a compresión. 155
Tabla 102. Prueba de homogeneidad de Levene de resistencia a compresión axial de pilas.156
Tabla 103. Prueba de homogeneidad de Levene de resistencia a compresión diagonal de muretes… 156
Tabla 104. Análisis de varianza ANOVA de un factor de porcentaje de vacíos. 156
Tabla 105. Análisis de varianza ANOVA de un factor de absorción. 157
Tabla 106. Análisis de varianza ANOVA de un factor de succión. 157
Tabla 107. Análisis de varianza ANOVA de un factor de resistencia a compresión. 157

Tabla 108. Análisis de varianza ANOVA de un factor de resistencia a compresión axial de pilas…….....157
Tabla 109. Análisis de varianza ANOVA de un factor de resistencia a compresión diagonal de muretes… 157
Tabla 110. Prueba de post hoc de Tukey de porcentaje de vacíos.....158
Tabla 111. Prueba de post hoc de Tukey de absorción.....159
Tabla 112. Prueba de post hoc de Tukey de succión. 160
Tabla 113. Prueba de post hoc de Tukey de resistencia a compresión. 161
Tabla 114. Prueba de post hoc de Tukey de resistencia a compresión axial de pilas. 161
Tabla 115. Costo horario de trituradora y procesadora de papel. 163
Tabla 116. APU de trituración de papel reciclado.....163
Tabla 117. Costo de transporte por kg de material. 165
Tabla 118. Cantidad de mano de obra en elaboración de ladrillos ecológicos. 165
Tabla 119. Cantidad de mezcladora en elaboración de ladrillos ecológicos. 166
Tabla 120. Cantidad de material para 1 ladrillo de concreto. 166
Tabla 121. Cantidad de material para 1 ladrillo ecológico de concreto - papel 2.5%. 167
Tabla 122. Cantidad de material para 1 ladrillo ecológico de concreto - papel 5%. 167
Tabla 123. Cantidad de material para 1 ladrillo ecológico de concreto - papel 7.5%. 167
Tabla 124. Cantidad de material para 1 ladrillo ecológico de concreto - caucho 2.5%.....167
Tabla 125. Cantidad de material para 1 ladrillo ecológico de concreto - caucho 5%.....168
Tabla 126. Cantidad de material para 1 ladrillo ecológico de concreto - caucho 7.5%.....168
Tabla 127. Elaboración de ladrillo de concreto patrón. 169
Tabla 128. Elaboración de ladrillo ecológico de concreto- papel 2.5%. 169
Tabla 129. Elaboración de ladrillo ecológico de concreto - papel 5%. 170
Tabla 130. Elaboración de ladrillo ecológico de concreto - papel 7.5%. 170

Tabla 131. Elaboración de ladrillo ecológico de concreto - caucho 2.5%.....171

Tabla 132. Elaboración de ladrillo ecológico de concreto - caucho 5%.....171

Tabla 133. Elaboración de ladrillo ecológico de concreto - caucho 7.5%.....172

Tabla 134. Comparativa de resultados con la Norma E.070.....180

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fotografías después del sismo de 6.8 en Bella Unión, Arequipa. 5

Figura 2. Esfuerzo cortante de entrepiso en muros de ladrillo pandereta. 6

Figura 3. Probetas de concreto con adición de caucho. 30

Figura 4. Partículas de cáscara de arroz, plástico PET y neumáticos. 33

Figura 5. Tipos de ladrillos de concreto 34

Figura 6. Cemento Yura MAX. 34

Figura 7. Muestra de agregado grueso. 36

Figura 8. Ladrillos ecológicos de distintas características. 37

Figura 9. Neumáticos en desuso y triturado 42

Figura 10. Obtención de partículas de neumáticos. 45

Figura 11. Papel reciclado 46

Figura 12. Protocolo de selección previo para ensayo de pilas y muretes de ladrillos ecológicos. 55

Figura 13. Diagrama de flujo de esquema metodológico. 65

Figura 14. Procedimiento del ensayo de granulometría en agregado grueso. 69

Figura 15. Curva granulométrica del agregado grueso. 70

Figura 16. Procedimiento del ensayo de contenido de humedad en agregado grueso. 71

Figura 17. Procedimiento del ensayo de peso específico en agregado grueso. 73

Figura 18. Procedimiento del ensayo de absorción en agregado grueso. 75

Figura 19. Procedimiento del ensayo de peso unitario suelto en agregado grueso. 77

Figura 20. Procedimiento del ensayo de peso unitario compactado en agregado grueso. 80

Figura 21. Procedimiento del ensayo de granulometría en agregado fino. 82

Figura 22. Curva granulométrica del agregado fino. 83

Figura 23. Procedimiento del ensayo de contenido de humedad en agregado fino. 84

Figura 24. Procedimiento del ensayo de peso específico en agregado fino 86

Figura 25. Procedimiento del ensayo de absorción en agregado fino.....88
Figura 26. Procedimiento del ensayo de peso unitario suelto en agregado fino.....90
Figura 27. Procedimiento del ensayo de peso unitario compactado en agregado fino. 92
Figura 28. Ensayo de detección de arcillas nocivas en agregado fino.....95
Figura 29. Procedimiento de variación dimensional en ladrillos de concreto. 111
Figura 30. Procedimiento de alabeo en ladrillos de concreto. 113
Figura 31. Procedimiento de porcentaje de área de vacíos en ladrillos de concreto. 115
Figura 32. Procedimiento de absorción en ladrillos de concreto. 117
Figura 33. Procedimiento de ensayo de succión en albañilería. 119
Figura 34. Procedimiento de ensayo de resistencia a compresión en albañilería. 122
Figura 35. Procedimiento de ensayo de resistencia a compresión en pilas de albañilería.....125
Figura 36. Procedimiento de ensayo de resistencia a compresión diagonal en murete de albañilería. 127
Figura 37. Curva granulométrica de la arena gruesa. 129
Figura 38. Porcentaje de área de vacíos en ladrillos ecológicos de concreto muestreados. ..143
Figura 39. Alabeo de ladrillos ecológicos de concreto muestreados. 145
Figura 40. Absorción de ladrillos ecológicos de concreto muestreados. 146
Figura 41. Succión de ladrillos ecológicos de concreto muestreados.....147
Figura 42. Resistencia a compresión de ladrillos ecológicos de concreto muestreados. 148
Figura 43. Resistencia a compresión axial de pilas de ladrillos ecológicos de concreto muestreados. 149
Figura 44. Resistencia a compresión diagonal de muretes de ladrillos ecológicos de concreto muestreados. 150
Figura 45. Compra de insumos para elaboración de ladrillo ecológico de concreto. 164

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Contenido de humedad de agregado grueso. 70

Ecuación 2. Absorción de agregado grueso. 74

Ecuación 3. Peso unitario suelto de agregado grueso. 76

Ecuación 4. Peso unitario compactado de agregado grueso. 79

Ecuación 5. Contenido de humedad de agregado fino. 83

Ecuación 6. Absorción de agregado fino. 88

Ecuación 7. Peso unitario suelto de agregado fino. 90

Ecuación 8. Ecuación peso unitario compactado de agregado fino. 91

Ecuación 9. Ecuación de azul de metileno para agregado fino. 94

Ecuación 10. Ecuación de contenido de cemento para diseño de mezclas. 99

Ecuación 11. Ecuación de ajuste por humedad de agregados para diseño de mezclas. 102

Ecuación 12. Ecuación de ajuste de agua para diseño de mezclas. 103

Ecuación 13. Ecuación de variación dimensional en ladrillos. 111

Ecuación 14. Ecuación de porcentaje de área de vacíos en ladrillos. 115

Ecuación 15. Ecuación de absorción en ladrillos. 117

Ecuación 16. Ecuación de succión en ladrillos. 119

Ecuación 17. Ecuación de resistencia a compresión en ladrillos. 121

Ecuación 18. Ecuación de resistencia a compresión representativa en ladrillos. 121

Ecuación 19. Ecuación de resistencia a compresión axial de pilas de albañilería. 123

Ecuación 20. Ecuación de resistencia a compresión axial representativa en pilas de albañilería… 124

Ecuación 21. Ecuación de esfuerzo cortante en muretes de albañilería. 126

Ecuación 22. Ecuación de área bruta del murete de albañilería. 127

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Total de ensayos de laboratorio a ladrillos de concreto. 191

Anexo 2. Matriz de consistencia. 192

Anexo 3. Ensayo de granulometría del agregado fino. 195

Anexo 4. Ensayo de granulometría de agregado grueso. 198

Anexo 5. Ensayo de contenido de humedad del agregado fino. 201

Anexo 6. Ensayo de contenido de humedad del agregado grueso. 202

Anexo 7. Ensayo de peso específico y absorción del agregado fino. 203

Anexo 8. Ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso. 204

Anexo 9. Cálculo de volumen del recipiente y factor F para peso unitario del agregado fino…….....205

Anexo 10. Ensayo de peso unitario del agregado fino.....206

Anexo 11. Cálculo de volumen del recipiente y factor F para peso unitario del agregado grueso…. 207

Anexo 12. Ensayo de peso unitario del agregado grueso. 208

Anexo 13. Ensayo de resistencia a la compresión de probetas. 209

Anexo 14. Ensayo de alabeo de ladrillos de concreto. 210

Anexo 15. Ensayo de variación dimensional de ladrillos de concreto. 214

Anexo 16. Ensayo de porcentaje de área de vacíos de ladrillos de concreto. 218

Anexo 17. Ensayo de absorción de ladrillos de concreto. 222

Anexo 18. Ensayo de succión de ladrillos de concreto. 224

Anexo 19. Ensayo de resistencia a la compresión de ladrillos de concreto. 227

Anexo 20. Ensayo de variación dimensional de pilas de ladrillos de concreto. 231

Anexo 21. Ensayo de resistencia a la compresión axial de pilas de ladrillos de concreto.....232

Anexo 22. Ensayo de variación dimensional de muretes de ladrillos de concreto. 233

Anexo 23. Ensayo de resistencia a la compresión diagonal de muretes de ladrillos de concreto… 234

INTRODUCCIÓN

El amplio crecimiento urbano y el incremento de actividades comerciales e industriales generan una gran demanda de materiales de construcción, especialmente ladrillos de mampostería; por lo cual es necesario obtener materiales ecológicos; por esto, se propone la realización de ladrillos ecológicos, para lo cual se usa como base el concreto y se realiza la sustitución en determinados porcentajes del agregado fino por partículas recicladas de caucho reciclado y partículas de papel reciclado. En Perú, la gestión de residuos fue un gran desafío, ya que, según el MINAM, durante el 2023 se generaron 8 706 238 toneladas de residuos sólidos municipales, de los cuales se valorizaron 184 761 toneladas; dentro de estos, los neumáticos fuera de uso reciben una atención especial, debido a que se reporta que en 2021 ingresaron 99 789 toneladas de neumáticos al mercado peruano y esto tiene tendencia al aumento debido al uso elevado de movilidad personal y maquinarias en el sector industrial y minero; asimismo, se consideró al papel como uno de los residuos con mayor uso y potencial de reúso en otras industrias.

Es así que, en el capítulo I, referido a aspectos generales, se presentó la problemática que giró en torno a la identificación del ladrillo ecológico de caucho o papel más recomendado por medio de las propiedades físico-mecánicas y se indicaron los objetivos, hipótesis, justificaciones, alcance, limitaciones y las variables de investigación, con lo cual se estableció el marco conceptual que orientó la tesis.

En el capítulo II, referido al marco teórico, se sustentó la investigación, comenzando con investigaciones sobre ladrillos ecológicos de concreto, así como las propiedades físico-mecánicas de los mismos, para su comparación con la norma E.070.

En el capítulo III, referido a la metodología de investigación, se detallaron las consideraciones tomadas para la selección de los porcentajes de reemplazo, tanto del caucho y

papel por agregado fino; así como los criterios para la comparativa de los ladrillos ecológicos realizados.

En el capítulo IV, referido a la preparación, fabricación y ensayos de ladrillos de concreto, se detallaron todos los criterios referidos a los ensayos de los componentes para el diseño de mezclas de los ladrillos de concreto ecológicos, así como el procedimiento de fabricación de los ladrillos de concreto; finalmente, se realizaron los ensayos de laboratorio realizados a las unidades de albañilería, así como a prismas y muretes previamente definidos.

En el capítulo V, referido a los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio se procesaron los resultados, de los componentes del diseño de mezcla; asimismo, se procesaron los resultados de las unidades de albañilería y los ensayos realizados a los prismas y muretes previamente seleccionados; así también, se presentaron los procesamientos estadísticos realizados y los costos de elaboración experimental de los ladrillos ecológicos de concreto.

En este sentido la investigación buscó aportar evidencia experimental sobre el uso del caucho reciclado y papel reciclado en ladrillos de concreto, con una comparativa entre ambas dosificaciones y un ladrillo patrón sin modificaciones; esta evaluación se circunscribió a las dosificaciones, materiales, procedimientos y condiciones de laboratorio definidos en la investigación, de tal forma que los resultados podrán servir como referencia para futuras investigaciones que lleguen a ampliar la evaluación hacia otras condiciones de aplicación.

CAPÍTULO I. ASPECTOS GENERALES

1.1.Formulación del Problema

El amplio crecimiento urbano y el incremento de las actividades tanto industriales como comerciales generan una mayor demanda de los materiales de construcción, especialmente los ladrillos usados en mampostería. En Arequipa los ladrillos constituyen uno de los materiales más usados en las edificaciones urbanas debido a su accesibilidad, su facilidad constructiva y su capacidad de resistencia; según el (INEI, 2022), las viviendas urbanas de la ciudad utilizan de manera predominante unidades de albañilería fabricadas con concreto o arcilla, representando más del 69% de los sistemas constructivos que son empleados en zonas urbanas, lo cual evidencia la importancia estructural de estos elementos dentro del sector construcción.

Esto resulta de mayor importancia en la ciudad de Arequipa, debido a la alta presencia de actividad sísmica generada por la interacción de las placas tectónicas de Nazca y Sudamérica; por esta razón, las propiedades físico-mecánicas de las unidades de albañilería adquieren importancia, debido a que influyen de manera directa en la resistencia, asimismo la norma E.030 clasifica a Arequipa dentro de las zonas sísmicas 3 y 4 en grado de peligro, mientras que la norma E.070 establece los requisitos mínimos relacionados con el comportamiento físico-mecánico de las unidades de albañilería; por ello es de gran importancia desarrollar alternativas constructivas que mantengan las condiciones adecuadas de resistencia, pero al mismo tiempo permitan reducir el impacto ambiental y los costos de producción de estos materiales.

Además, Kuroiwa (2016) indica que el ladrillo más usado por el sector construcción es el ladrillo pandereta debido a su precio, el cual actualmente se cotiza en S/. 1.00; mientras que, el ladrillo King Kong 18 huecos se cotiza en S/. 1.29, por unidad, la diferencia no es notoria, pero en millares ya se nota la diferencia.

Además, según Salinas y Lazares (2007), se afirma que el ladrillo pandereta se diferencia del ladrillo King Kong en cuanto a sus dimensiones, ubicación y sentido de la zona tubular, estas características permiten aprovechar las propiedades físico-mecánicas de estos ladrillos; mientras que el sentido y distribución de los ladrillos pandereta lo vuelven más inestable para funciones portantes de la edificación; además, estos ladrillos tubulares no cumplen lo especificado en la normativa para muros portantes; para visualizar las distintas características de estos materiales se realizaron ensayos a muestras de ladrillos pandereta y muestras de ladrillos King Kong 18 huecos, cuyos resultados no difieren mucho en la resistencia a corte entre muretes de ladrillo artesanal e industrial, al procesar los resultados de los ensayos se tienen curvas de histéresis las cuales indican el comportamiento de la capacidad de disipación de energía ante cargas cíclicas.

En la región Arequipa se notó el mal uso de los ladrillos pandereta después del sismo de magnitud de 6.8 mb ocurrido en enero del 2018, donde se visualizó en distintas viviendas colapsadas que los muros perimetrales se construyeron con ladrillo pandereta, el caso más visible de esta mala práctica es el Instituto en Bella Unión tal como muestra la Figura 1.

El ladrillo pandereta según el Reglamento Nacional de Edificaciones: Norma E.070 Albañilería (2020), al ser tubulares no deben ser usados en muros portantes, pero en el país debido a su precio bajo y a la masificación de fabricación, se usaron ladrillos pandereta en el sector informal, los cuales se observaron en los distintos fenómenos telúricos de gran magnitud que sufrió el país, este masivo uso de pandereta fue advertido por el exdirector del CISMID Miguel Estrada, quien indica que el 80% de viviendas informales son de albañilería tubular (pandereta).

Figura 1.
Fotografías después del sismo de 6.8 en Bella Unión, Arequipa.

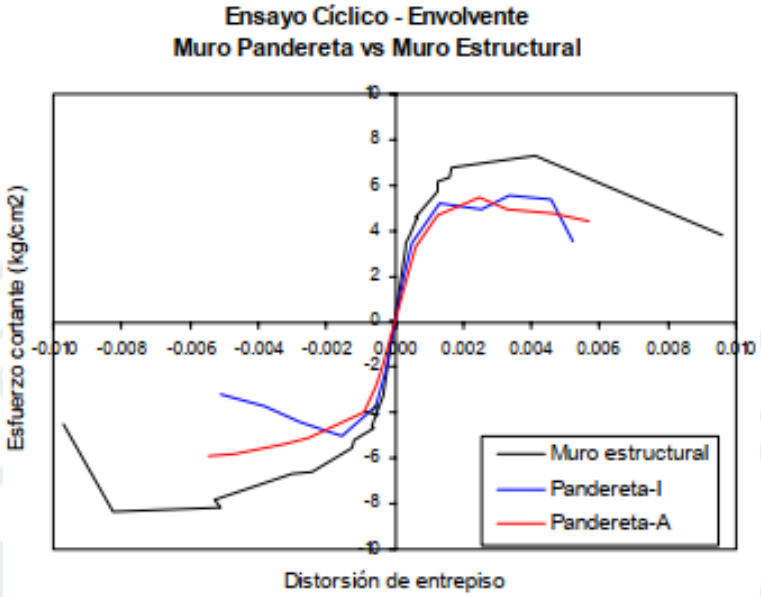


Nota: Fotografías del Instituto en Bella Unión, Arequipa; días después del sismo de 6.8 grados (Vera, 2018).

En la Figura 2, se observan las curvas de comportamiento de los ladrillos tipo pandereta, industrial y artesanal, en los cuales se observa que la capacidad máxima del muro de ladrillo pandereta industrial es de 15.86 toneladas con deformación máxima de 11.6 mm, a partir de estos resultados, se estima una deformación de fluencia de 1.6 mm; mientras que el muro de ladrillo pandereta artesanal tiene una capacidad de 15.27 toneladas con deformación máxima de 13.4 mm, lo cual estima una deformación de fluencia de 2.2 mm; se muestra una gráfica comparativa de la curva de comportamiento de los distintos especímenes del muro de ladrillo King Kong 18 huecos y ladrillo pandereta artesanal e industrial; el ladrillo King Kong presenta una distorsión máxima de 0.005.

Figura 2.

Esfuerzo cortante de entrepiso en muros de ladrillo pandereta.



Nota: Comparativa de ladrillos pandereta industrial, artesanal y ladrillo King Kong 18 huecos (Salinas y Lazares, 2007).

Además, la expansión o crecimiento urbano genera un aumento de la contaminación ambiental, tal como indican Park et al. (2018), el consumo de neumáticos por parte del sector automotriz, tiende a aumentar debido al incremento de los procesos de compra-venta de vehículos; entre el 2002 y el 2015 se tuvo un aumento de 3.8 millones a 12 millones en los vehículos que circulan por las autopistas, este aumento posiciona al sector automotor como uno de los principales artífices de la contaminación del país, esto se comprueba con los datos proporcionados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y la Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales, esta fuente indica que se importan anualmente entre 5.5 a 6.7 millones de unidades de neumáticos, para satisfacer las demandas de movilidad.

Con respecto al sector nacional, El Peruano (2021), indica que en 2014 ingresaron al Perú 55673 toneladas de neumáticos, mientras que, en 2018, ingresaron 92659 toneladas; esto causó que exista un aumento del 40% de Neumáticos Fuera de Uso (NFU), como consecuencia se suscitó la necesidad de cambio de estos por parte del sector automotriz nacional, generando

que el Ministerio del Ambiente (MINAM) apruebe el Régimen Especial de Gestión de NFU, esto mediante Decreto Supremo N.º 024-2021-MINAM.

Actualmente, uno de los problemas ambientales que tiende a aumentar es la contaminación por NFU debido a la dificultad para eliminarlos; según Mauricci (2021), uno de los principales agentes contaminantes son los neumáticos provenientes de los camiones y maquinarias mineras, los cuales en Perú representan el 50% de la contaminación por NFU debido a su alto uso en estas actividades, por las condiciones climáticas y accesibilidad de las zonas; por lo tanto, se trata de reutilizar algunos materiales para disminuir su impacto ambiental negativo; sumado a esto se observa que en Europa y de manera reciente, en Chile está en vigencia la ley Responsabilidad Extendida del Productor (REP), este ley compromete a importadores y fabricantes de neumáticos a reciclar un porcentaje de 25% de lo que desechen a finales de 2021 y 100% a finales de 2026 en empresas mineras; esto causaría el incremento del precio de neumáticos nuevos; la optimización de las políticas de reciclaje y reúso de los NFU es necesario debido a que los neumáticos tienen una degradación química progresiva muy lenta con un tiempo promedio de 1000 años; esto genera que los NFU puedan convertirse en nidos de parásitos y enfermedades, y al ser quemados liberen gran cantidad de compuestos que son perjudiciales para la salud, por lo cual se debe de optar por otros métodos de reciclaje o reúso. En Perú se desechan miles de toneladas de neumáticos, de los cuales aproximadamente el 50% provienen del sector minero debido a que esta industria es la que realiza el mayor uso de maquinarias y vehículos, los cuales presentan una mayor tendencia al desgaste a corto plazo; sumado a ello, no se encuentra totalmente implementada una política de manejo de estos elementos, por lo cual los neumáticos representan un material susceptible de ser reutilizado en el sector de la construcción; los neumáticos están compuestos de polímeros con propiedades que pueden ser aprovechadas en el sector de la construcción.

Además, se debe indicar que en Iberoamérica se tienen distintos sistemas de reciclado de los neumáticos; este es el caso de México, ya que la ciudad de Morelos se desecha aproximadamente 28 millones de neumáticos al año de los cuales solo se llegan a recolectar 500 toneladas; mientras que, en Bolivia, en la ciudad de Santa Cruz se llegan a recolectar de 3000 a 4000 neumáticos en desuso por semana.

Actualmente, en Perú no se tienen políticas o normas específicas sobre la disposición final de los NFU, los últimos reportes obtenidos indican que la forma de afrontamiento usual es enterrar los NFU, pero esto genera una contaminación en la zona donde se entierran; otra alternativa de solución que se observa en Perú es realizar el apilamiento de los neumáticos al aire libre, pero esto también genera una contaminación en el aire debido a los compuestos que emite el neumático como son los bifenilos policlorados (PCB), por lo cual otros optan por realizar el quemado de estos elementos, pero esto genera una mayor cantidad de problemas, debido al riesgo sanitario asociado a enfermedades que provienen del apilado de los neumáticos o del quemado de estos.

Según un estudio realizado en la Universidad Agraria en 2006, se indica que aproximadamente el 80% de los neumáticos se encuentran en espacios públicos y el resto fue utilizado como parte de la atracción de parques infantiles o en su defecto, se quemó; debido a este panorama, resulta de importancia realizar el estudio del porcentaje de neumáticos que se puede reusar para esta propuesta de unidad de albañilería a base de concreto.

Actualmente, en Perú la información sobre el tratamiento de los NFU es limitada a estudios de tesis y trabajos de investigación académica de universidades; estos indican que, mientras menor sea el porcentaje de sustitución de caucho por agregado fino, se tiene mayor posibilidad de mejorar las propiedades de las propuestas de ladrillos con adición de partículas de neumático desechado.

Asimismo otro de los agentes contaminantes generados por el crecimiento urbano, según indica Docusign (2021), son los papeles, debido a que el promedio global de su uso es de 55 kilogramos por persona de manera anual, se observa un incremento de esto debido al crecimiento del comercio electrónico, aun cuando en Europa se tiene reducciones de su uso; el promedio mundial se mantiene alto lo cual lo empuja a efectos insostenibles; por lo tanto, se trata de reutilizar algunos materiales para disminuir su impacto ambiental, adicionalmente se tiene que los papeles presentan un tiempo de degradación de 1 año, lo cual es rápido, pero debido a su alto uso lo convierten en un material muy contaminante.

Según el MINAM, en Perú, en el año 2024, se dispone de más de 2,688,313 toneladas de residuos sólidos todos los días, esto genera un desafío en la gestión de residuos, lo cual dificulta una transición hacia una economía circular sostenible, debido a que solo se reciclan un aproximado de 1.9%; por esto, es necesario realizar acciones para aumentar la cantidad de residuos que se puedan reusar en otras industrias. Además, según Diario el Pueblo (2023), en Arequipa se tiene 33,000 toneladas de residuos de los cuales solo se recicla el 3%, este panorama tiende a la mejora debido a que, según MINAM, se está planteando la construcción de infraestructura de disposición final de residuos sólidos, plantas de transferencia, equipamiento moderno, entre otros.

Es por ello, que surge la necesidad de la presente investigación de evaluar el ladrillo ecológico utilizando la sustitución del agregado fino por partículas de caucho reciclado y partículas de papel reciclado.

1.2.Problema

1.2.1. Problema general

- Ante el problema identificado en el presente trabajo de investigación, se plantea la siguiente interrogante; ¿la sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado o la sustitución parcial del agregado fino por partículas de papel

reciclado en el proceso de fabricación de ladrillos ecológicos de concreto permitirá mejorar las propiedades físico-mecánicas del ladrillo, reduciendo su costo, pero sin perjudicar la calidad y las propiedades del ladrillo?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuáles serán las propiedades físico-mecánicas de las propuestas de ladrillo ecológico de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y con sustitución parcial del agregado fino por partículas de papel reciclado?
- ¿Cómo se compararán las propiedades físico-mecánicas del ladrillo ecológico de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y las del ladrillo ecológico de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de papel reciclado?
- ¿Cuál será la dosificación de mejor comportamiento entre los ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y los ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de papel reciclado?
- ¿Cuáles serán los costos de elaboración de los ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y de los ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de papel reciclado?

1.3.Justificación

1.3.1. Justificación social

La investigación evaluará experimentalmente la incorporación de partículas de caucho reciclado y papel reciclado en ladrillos ecológicos de concreto, con el propósito de generar evidencia técnica sobre el aprovechamiento de residuos sólidos en la elaboración de ladrillos;

los resultados permitirán ampliar el conocimiento sobre el comportamiento físico-mecánico de las dosificaciones evaluadas de estos materiales en unidades de albañilería de concreto; asimismo, constituirá un referente para futuras investigaciones relacionadas.

1.3.2. Justificación económica

La investigación analizará el costo de elaboración de las distintas dosificaciones experimentales y se comparará con el costo de la mezcla patrón, este análisis permitirá identificar el costo de cada dosificación de ladrillo ecológico de concreto dentro de las condiciones de laboratorio realizadas, sin extrapolar los resultados a procesos de producción industrial o comercial.

1.3.3. Justificación tecnológica

La investigación determinará la influencia de la sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y papel reciclado sobre las propiedades físico-mecánicas de los ladrillos ecológicos de concreto; adicionalmente, la información obtenida permitirá caracterizar el comportamiento técnico de las dosificaciones elaboradas en laboratorio y servirá como base para futuras investigaciones.

1.3.4. Justificación ambiental

La investigación evaluará el aprovechamiento experimental de residuos de caucho y papel mediante su incorporación en ladrillos ecológicos de concreto; este enfoque contribuirá a generar evidencia técnica sobre alternativas de reúso de residuos, sin extender las conclusiones hacia aplicaciones constructivas que requieren estudios complementarios.

1.4.Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

- La sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y por partículas de papel reciclado genera diferencias en las propiedades físico-mecánicas

y en el costo referencial de elaboración de los ladrillos ecológicos con respecto a las unidades de albañilería de concreto patrón.

1.4.2. Hipótesis específicas

- La sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y por partículas de papel reciclado modifica las propiedades físico-mecánicas de los ladrillos ecológicos de concreto con respecto al ladrillo de concreto patrón.
- Las diferentes proporciones de sustitución del agregado fino por partículas de caucho reciclado y partículas de papel reciclado producirán diferencias significativas en las propiedades físico-mecánicas de los ladrillos ecológicos de concreto, con respecto al ladrillo de concreto patrón.
- Existirán diferencias en el comportamiento físico-mecánico de las dosificaciones evaluadas entre los ladrillos ecológicos de concreto elaborados con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y los elaborados con partículas de papel reciclado y el ladrillo de concreto patrón.
- Existirán diferencias en el costo de elaboración entre los ladrillos ecológicos de concreto elaborados con partículas de caucho reciclado y partículas de papel reciclado con respecto al ladrillo de concreto patrón.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo principal

- Evaluar las propiedades físico-mecánicas y el costo del ladrillo ecológico con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y partículas de papel reciclado en Arequipa, 2024.

1.5.2. Objetivos específicos

- Determinar las propiedades físico-mecánicas de las propuestas de ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de

caucho reciclado y de los ladrillos ecológicos con sustitución parcial del agregado fino por partículas de papel reciclado.

- Comparar las propiedades físico-mecánicas de las propuestas de ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y de los ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de papel reciclado, con respecto al ladrillo de concreto patrón elaborado.
- Identificar la dosificación de mejor comportamiento físico-mecánico experimental de las propuestas de ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y de los ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de papel reciclado, comparándolo con el ladrillo de concreto patrón elaborado.
- Evaluar los costos referenciales de elaboración experimental de las propuestas de ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y de los ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de papel reciclado.

1.6.Alcances

El presente trabajo de investigación comprende la evaluación experimental de las propiedades físico-mecánicas y del costo de elaboración de los ladrillos ecológicos de concreto, los cuales se elaboraron por medio de la sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y partículas de papel reciclado, las cuales se recolectaron en la ciudad de Arequipa debido a su disponibilidad de material base proveniente desde los distintos puntos de la ciudad; esta investigación considera el proceso de diseño de mezclas, fabricación de las unidades de albañilería ecológica de concreto, su curado correspondiente y, finalmente, la ejecución de los ensayos necesarios para determinar las propiedades físico-mecánicas exigidas

por la Norma Técnica E.070 del Reglamento Nacional de Edificaciones siguiendo las recomendaciones y procesos determinados por las NTP relacionadas; asimismo, se analiza el efecto que producen los distintos porcentajes de sustitución sobre el comportamiento del material y se comparan los resultados que se obtuvieron con el ladrillo de concreto patrón realizado y con la evidencia científica publicada y consultada en los antecedentes de esta investigación; asimismo, esta investigación incluye un análisis comparativo del costo de elaboración de cada dosificación, considerando los insumos requeridos para la fabricación de las unidades de albañilería de concreto, la obtención de los materiales reciclados y su incorporación en la mezcla; los resultados permiten identificar la dosificación que presenta un comportamiento más favorable desde el criterio técnico; los resultados se limitan al ámbito de laboratorio, sin extender sus conclusiones hacia su aplicación industrial, social, constructiva o comercial.

1.7. Limitaciones

Esta investigación se desarrolla de manera exclusiva bajo condiciones controladas en laboratorio, por lo cual los resultados obtenidos corresponden únicamente a las dosificaciones realizadas y a los materiales usados durante el avance de la investigación; la cantidad de las unidades de albañilería de concreto fabricadas es la necesaria para cumplir con los ensayos establecidos en la norma E.070 del RNE, considerando las limitaciones de tiempo y la disponibilidad de materiales, sin incluir las evaluaciones relacionadas con el proceso de producción industrial, el análisis de factibilidad técnico-económica para la fabricación a gran escala, el desempeño real en edificaciones o su aceptación o implementación comercial; por lo cual, cualquier aplicación en proyectos constructivos o procesos de industrialización requerirá investigaciones adicionales que validen su desempeño.

1.8. Variables de Investigación

1.8.1. Variable independiente.

- Porcentaje de sustitución de partículas de caucho reciclado.
- Porcentaje de sustitución de partículas de papel reciclado.

1.8.2. Variable dependiente.

- Propiedades físico-mecánicas del ladrillo ecológico de concreto.
- Costo de elaboración del ladrillo ecológico de concreto.

1.8.3. Matriz de operacionalización de variables

En la Tabla 1 se tiene la matriz de operacionalización de variables.

Tabla 1.

Matriz de operacionalización de variables.

Variables	Definición conceptual	Dimensión	Definición Operacional	Indicador	Unidad	Técnica de medición	Instrumento	Método de análisis	Escala	Norma
Independiente										
Porcentaje de sustitución de partícula de caucho reciclado	Material extraído previo tratamiento a partir de neumáticos en desuso, los cuales están en estado de residuo sólido (Villa et al., 2020).	Dosificación porcentual de partículas de caucho reciclado	Material de sustitución en proporción al volumen del agregado fino, según dosificación porcentual previamente determinada para verificar influencia en propiedades.	Sustitución de 2.5% Sustitución de 5% Sustitución de 7.5%	% % %	Diseño de mezcla	- Ficha de recopilación de información - Programa Office Excel	Frecuencia	De razón	ACI 211.1-22
Porcentaje de sustitución de partícula de papel reciclado	Material tratado de materia prima formada por la superposición de hojas adheridas unas a otras por compresión (Pimentel, 2023).	Dosificación porcentual de papel reciclado	Material de sustitución en proporción al volumen del agregado fino, según dosificación porcentual previamente determinada para verificar influencia en propiedades.	Sustitución de 2.5% Sustitución de 5% Sustitución de 7.5%	% % %					
Dependiente										
Propiedades físico-mecánicas de ladrillo ecológico de concreto	Se refiere al aprovechamiento de las características y propiedades positivas con respecto al ladrillo ecológico propuesto (Fuentes et al., 2021).	Propiedades físicas del ladrillo ecológico	Son las características físicas que se verifican en unidades de albañilería mediante instrumentos y equipos de laboratorio para determinar sus características y límites según la norma E.070.	Variación dimensional	mm	Ensayo NTP	- Ficha de recopilación de información - Equipos e Instrumentos de Laboratorio - Programa Office Excel	Media ± desviación estándar	De razón	NTP 399.604 RNE E.070
				Alabeo	mm				De razón	NTP 399.613 RNE E.070
				Porcentaje de vacíos	%			ANOVA + Tukey	De razón	NTP 399.604 RNE E.070
				Absorción	%					
				Succión	g/200 cm²-min					
		Propiedades mecánicas del ladrillo ecológico	Son las características mecánicas que se verifican en unidades de albañilería mediante uso de prensa hidráulica para determinar sus características y límites según la norma E.070.	Resistencia a la compresión de ladrillo	kg/cm²	Ensayo NTP	- Ficha de recopilación de información - Equipos e Instrumentos de Laboratorio - Programa Office Excel	ANOVA + Tukey	De razón	NTP 399.605 RNE E.070
				Resistencia a la compresión axial de pilas de albañilería	kg/cm²					
				Resistencia a compresión diagonal de muretes de albañilería	kg/cm²	Ensayo NTP			De razón	NTP 399.621 RNE E.070
Costo de elaboración de ladrillo ecológico de concreto	Se refiere al aprovechamiento de disponibilidad y costos con respecto al ladrillo ecológico propuesto (Fuentes et al., 2021).	Costos de elaboración del ladrillo ecológico	Es lo referido a los costos de elaboración de ladrillos ecológicos, pasando por los costos de obtención de los materiales, así como la elaboración misma.	Costo de adquisición de materia prima	S/.	APU	Formato CAPECO	Descriptivo	De razón	
				Costo de adaptación del material	S/.					
				Costo del ladrillo	S/. / unidad					

Nota: Elaboración propia.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1.Estado del arte

En años recientes, la industria de la construcción ha impulsado investigaciones sobre el desarrollo de materiales sostenibles que produzcan una reducción del impacto ambiental que generan los residuos sólidos, además de un elevado consumo de recursos naturales; diversos estudios han evaluado la incorporación de materiales reciclados en el concreto, en este caso, el caucho que viene de los neumáticos fuera de uso (NFU). Por esto, según la investigación "Análisis de las propiedades físico-mecánicas del bloque hueco de concreto con la incorporación de fibras de caucho neumático reciclado, Abancay 2023", realizada en Abancay, Perú, por Soras (2023), se indica que la adición de fibras de caucho reciclado influye de manera directa en las propiedades del bloque de concreto; adicionalmente, este estudio nos indica que pequeñas proporciones de incorporación mejoran algunas propiedades físicas, principalmente las de flexibilidad y peso; no obstante, porcentajes elevados disminuyen de manera significativa la resistencia de los elementos; esto es relevante porque demuestra el uso del caucho de los neumáticos en unidades de albañilería, pero, así mismo evidencia la necesidad de obtener porcentajes buenos que permitan equilibrar la resistencia con el costo.

Asimismo, existen otras investigaciones que proponen partículas de otros materiales a la mezcla convencional de la unidad de albañilería, tal como lo indica el estudio realizado en México por Campoy-Bencomo et al. (2021), quienes analizaron el comportamiento de módulos de ruptura del concreto y su resistencia a la compresión, así como otras propiedades mediante la consideración de mezclas con distintos porcentajes (0.25%, 0.50%, 0.75%, 1.00% y 1.50%) de polímeros incorporados a los especímenes de fibra de sintético trefilado y fibra de sintético ondulado; de esta investigación se asume que no se obtiene incremento significativo de módulos de ruptura, incluso con altas proporciones de fibra; más bien, se reduce la trabajabilidad y el revenimiento de la mezcla, siendo cero las mezclas superiores a 1% de

contenido de polímeros; de los ensayos se obtiene que el tamaño del agregado influye significativamente en el desempeño de las fibras; de la investigación descrita se obtiene que, para obtener mejores propiedades de materiales de concreto, es necesario no tener un alto porcentaje de cambios de agregados por partículas de polímeros.

Asimismo, también tenemos el estudio de Campoverde et al. (2023), quienes realizaron ensayos para obtener un ladrillo ecológico a base de suelo limo-arenoso, cemento, papel bond y virutas de madera, buscando de esta forma las propiedades óptimas; el primer paso fue estabilizar el suelo por medio de la adición de cemento, posteriormente se colocó en saturación el papel bond por 48 horas para evitar una absorción incorrecta durante el mezclado; la primera dosificación fue de la mitad de volumen con papel, siendo la segunda y tercera dosificación con variación de +/- 10% respectivamente, estos ensayos se realizaron siguiendo los lineamientos de la normativa colombiana, al culminar los ensayos, se obtuvo que al reemplazo de 40% se tiene una resistencia de 39 kg/cm^2, siendo 28% más que el tradicional, mientras que, ante un ladrillo con reemplazo de 50% se tiene una resistencia de 31 kg/cm^2, la cual es 22% más que el tradicional; así también, se visualiza que el ladrillo ecológico tiene mayor capacidad para deformarse y seguir recibiendo carga frente al ladrillo tradicional, esto permite que la edificación presente un comportamiento más elástico.

Asimismo, también se tienen investigaciones sobre la mejora de propiedades por medio de eco-bloques a base de caucho, tal como lo indica la investigación de Castro et al. (2020), la cual tiene como finalidad la elaboración de eco-bloques compactos con caucho triturado y aserrín en reemplazo de los materiales tradicionales; esta usa una metodología exploratoria debido al estudio obtenido de investigaciones y tesis, complementando con la parte experimental de los ensayos realizados, se realizaron 7 prototipos de eco-bloques, de los cuales solo 5 cumplen con los requisitos de resistencia solicitados por la normativa ecuatoriana INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización); estos también optimizan los costos y calidad, de esto

se visualiza que el uso de caucho triturado es recomendable para la fabricación de eco ladrillos; además, al ser un material reciclado de los neumáticos, ayuda a reducir el impacto ambiental.

Adicionalmente, según indican Fernández et al. (2022), se tiene una disminución de la resistencia a la compresión al sustituir un 22.5% de partículas de neumático en la mezcla; así también, se tiene que para un reemplazo de 50% de partículas de neumático se tiene una reducción de 58.5% de tracción, esta tendencia tiene mantenimiento también en la flexión, de esto se tiene que un reemplazo fuerte de partículas de neumáticos genera el efecto contrario al buscado; por esto, se debe de obtener un porcentaje de sustitución óptimo el cual es menor que 20%.

Además, se realizó una revisión literaria, la cual se adjunta en la Tabla 2, donde se muestra la relevancia de las investigaciones relacionadas con el presente estudio:

Tabla 2.

Bibliografía relevante consultada.

Autor	Método	Significancia o Relevancia
Da Costa et al. (2023)	Ensayos de Laboratorio	Determinan la influencia del adicionante reciclable en el ladrillo ecológico, logrando una mejora en las propiedades, como la absorción y resistencia a la compresión, demostrando que se puede considerar la producción sustentable de ladrillos, con la reutilización de residuos industriales en lugar de la incorporación de cemento Portland.
Fernandez-Torres et al. (2022)	Ensayos de Laboratorio	Determinan las propiedades físicas y mecánicas del hormigón con residuos de caucho de neumático (RCN), el cual es sustituido parcialmente por la arena; para esto, se realiza sustitución de agregado en 0%, 5%, 10%, 20%, con lo cual se tiene una mejora en las propiedades.
Zhang et al. (2022)	Revisión Literaria	Identifican las características del caucho para una mejora en la trabajabilidad, tasa de absorción, resistencia a la carbonatación, inhibición de iones cloruro y porosidad en el hormigón con reemplazo parcial del agregado.
Brown (2024)	Revisión Literaria	Identifica los problemas relacionados con la toxicidad y contaminación de los ladrillos con base en hormigón, se determina que uno de los principales problemas está relacionado con el hormigón en general, con lo cual se demuestra que es posible reducir esta contaminación con ladrillos ecológicos con base en materias recicladas.
Campoverde et al. (2023)	Ensayos de Laboratorio	Determinan la mejora de las propiedades físicas y mecánicas de ladrillos ecológicos a base de cemento y viruta de papel; se realizó sustitución de agregados por virutas de papel en función de +/-10%, con lo cual se determina que la sustitución produce una mejora en las resistencias de los ladrillos ecológicos.
Castro et al. (2020)	Ensayos de Laboratorio	Determinan la mejora de las propiedades de los eco-bloques por medio de la fabricación de 7 prototipos; estos eco-bloques resultan del reemplazo de agregado por caucho triturado, se demuestra que el reemplazo es posible, además de reducir la contaminación.
Pimentel (2023)	Ensayos de Laboratorio	Determina la mejora de las propiedades por medio de la combinación de partículas de cartón de huevo reciclado con cemento, en relación de 2:1; se tiene una mejora en propiedades de resistencia a compresión y fuego, con lo cual se demuestra que es posible realizar la sustitución de agregados por cartón.
Alva (2020)	Ensayos de Laboratorio	Determina la mejora de la resistencia a compresión por medio de la fabricación de 5 tipos de ladrillos, en función de cambio de proporciones (cemento: arena: papel); se demuestra que al realizar la sustitución es posible mejorar esta propiedad en los ladrillos ecológicos.
Ganesan et al. (2020)	Revisión Literaria	Identifican el grado de reemplazo de agregado por papel para mejorar las propiedades de los ladrillos de papel; se demuestra que a un reemplazo menor al 50% se puede obtener esta mejora debido a que influye positivamente en la unión química del hormigón.
De Maeijer et al. (2021)	Revisión Literaria	Identifican la mejora en características y propiedades de densidad, trabajabilidad, resistencia a abrasión, resistencia a iones cloruros, contracción y carbonatación, con el reemplazo parcial de agregados por caucho granulado, con un reemplazo máximo en 20%.
Fuentes et al. (2021)	Revisión Literaria	Determinan la mejora de las propiedades frescas y endurecidas del concreto por medio de sustitución de agregados pétreos por subproductos poliméricos; las propiedades que mejoran son resistencia a compresión, aislamiento térmico y eléctrico, además de minimizar la contaminación.
Assaggaf et al. (2022)	Ensayos de Laboratorio	Determinan las propiedades de resistencia a compresión, resistencia a abrasión, rendimiento acústico y resistencia térmica, mediante el reemplazo de arena por caucho granulado en términos de 2%, 8%, 16%, 24%, y 40%;
Dantas et al. (2021)	Revisión Literaria	Identifican el desarrollo de una metodología para realizar la adición de papel en la fabricación de ladrillos ecológicos, para reducir la contaminación ambiental; esto apoya en la determinación de una forma de adicionar el papel en la fabricación de ladrillo ecológico a base de papel.

Nota: Elaboración propia.

2.2.Antecedentes de la investigación

2.2.1. Antecedente internacional

En la investigación realizada en Puebla, México por Pimentel (2023) se determinaron las propiedades físico-mecánicas de ladrillos de concreto con añadido de cartón, esto se realizó haciendo uso de una investigación experimental, en la que se reemplazó un porcentaje del agregado por cartón reciclado en el diseño de la mezcla, mediante este procedimiento se obtuvo 21 probetas de concreto, con las cuales se realizaron ensayos de: contenido de agua, resistencia al calor, resistencia a la compresión simple y módulo de elasticidad, a partir de estos ensayos, se obtuvo que la relación óptima correspondió a 2 kg de cartón reciclado por 1 kg de cemento, esta relación es la que entregó los mejores resultados en los ensayos realizados para la resistencia al calor, con una temperatura de 220 °C, y la resistencia a la compresión simple con un valor de 2,058.0 kg/cm^2 lo cual cumple con la normativa, pero no supera la expectativa en el módulo de elasticidad ni el contenido de agua; a partir de estos resultados, se obtuvo que la propuesta de adicionar cartón reciclado al ladrillo de concreto reduciría el nivel de contaminación generado por este tipo de material.

En la investigación realizada en Talca, Chile por Muñoz et al. (2020) se realizó la adición de un porcentaje de papel reciclado en la fabricación de adobe, se hizo uso de una metodología de estudio experimental y cuantitativa, se realizaron un conjunto de muestras con la finalidad de ensayarlas para verificar el cumplimiento de sus propiedades físicas y mecánicas, las cuales fueron: la resistencia a la compresión, grado de conductividad térmica, resistencia al agua y grado de toxicidad en la elaboración; de estas, se obtuvo que a un porcentaje de 12.5% se tuvo un aumento de la resistencia a la compresión de hasta un 190%, además de reducir la conductividad térmica hasta un 30%; así también, con este porcentaje de reemplazo, se estuvo al límite en resistencia al agua, con una reducción de la toxicidad en valor de hasta un 20%, de esto se puede concluir que el uso de PPR (Residuos de papel y celulosa)

ayuda a producir adobes livianos, con menor conductividad térmica y una mejor resistencia a la compresión, al realizar un análisis de rendimiento se obtiene que un reemplazo de 10% en la relación, optimiza las propiedades del adobe, esto ayuda a identificar los posibles porcentajes de sustitución y adición del papel reciclado en la tesis que se quiere plantear.

En la investigación realizada en La Guajira, Colombia por Fuentes et al. (2021) cuya finalidad era realizar una revisión de la literatura actualizada sobre la adición de residuos poliméricos como agregados de concreto, se realizó el uso de una metodología cualitativa debido a que se realizó un estudio de todos los temas que se ven afectados al momento de realizar una sustitución del agregado por algún material, de esto se tiene que es posible realizar una sustitución de agregados por residuos poliméricos, se realizó un análisis de las propiedades tanto en el estado fresco como en el estado endurecido, teniendo en cuenta que el ladrillo de concreto con adición de polímeros pueda trabajar de manera óptima en un muro, sea portante o no portante; el reemplazo de 10% de polímeros genera un aumento en la resistencia a la compresión con un valor de 110 MPa, de esto se puede concluir que existe una estrecha relación entre las propiedades y la estructura de los polímeros residuales debido a esto es muy posible realizar un buen diseño de concreto que se desempeñe de manera óptima como un sustituto de otros materiales, además de que no se reduce el grado de trabajabilidad cuando está en un estado fresco si el grado de porcentaje de sustitución es menor que el 15%, de esto se puede indicar que, en el caso de la propuesta de ladrillo de concreto con adición de partículas de neumáticos reciclado, es óptimo realizar una sustitución hasta el 15%.

En la investigación desarrollada por Thakur et al. (2022), cuya finalidad era estudiar el efecto de las fibras de caucho granulado (CR) sobre ladrillos de hormigón mediante un conjunto de ensayos, la investigación presentó un enfoque cuantitativo con un alcance exploratorio explicativo, se realizaron diseños de mezcla con distintos porcentajes de reemplazo con respecto al volumen de incidencia de los agregados, se realizaron moldes de

ladrillos, a los cuales se vaciaron las mezclas para el posterior proceso de vibrado y curado; los ensayos realizados fueron los siguientes: Eflorescencia, absorción de agua, resistencia de sulfatos, densidad y resistencia a la compresión; de este conjunto de procedimientos, se procesaron los resultados y se obtuvieron relaciones resistencia/peso, así como patrones de fallo, de los cuales se tiene que la densidad disminuyó 5.68% en comparación con la mezcla de control, además de obtener un incremento de la capacidad de absorción de energía de impacto con valores menores al 6% de reemplazo de caucho granulado, este estudio nos indica que, ante un porcentaje corto de reemplazo de caucho granulado, las propiedades del ladrillo de concreto mejoran con respecto a las mezclas de control sin adicionante.

En la investigación realizada por Dou et al. (2022) cuya finalidad era obtener un método de modificación de partículas de caucho para su correcta adecuación en las mezclas de concreto, para reducir el daño por congelación en áreas de clima frío, esto se obtuvo mediante un diseño de mezcla y un conjunto de pruebas para evidenciar su uso y funcionalidad; la investigación presentó un enfoque cuantitativo con un alcance exploratorio explicativo, se realizaron diseños de mezclas con una mezcla patrón y una mezcla con reemplazo de caucho granulado por arena; las pruebas realizadas fueron resistencia a la compresión, uniformidad del CRP (Partícula de Caucho Modificado), resistencia a la congelación, etc. De estas se obtuvo una mejora en la porosidad, con lo cual se mejoró la fuerza de adhesión interfacial del CRP, además de obtener una mejora de las propiedades mecánicas, con una resistencia a la compresión superior al valor de 40 MPa, lo cual es levemente superior a la resistencia estándar del concreto; de esto se tiene que, al realizar un buen tratamiento del caucho granulado de dimensiones menores, se pueden realizar mejoras en las propiedades para reducir los daños por congelación en elementos de concreto.

2.2.2. Antecedente nacional

En la investigación realizada en Pimentel, Perú, por Chinchay (2023) en su tesis, se determinó el porcentaje óptimo de adición de celulosa de papel reciclado en la elaboración de unidades de albañilería de concreto, esto se obtuvo por medio de una metodología de estudio aplicativo y experimental debido a que se usó distintos porcentajes de sustitución de manera deliberada, con el fin de obtener la mejor relación; para esto, se realizaron 25 moldes de unidades de albañilería con porcentajes de 1%, 2%, 3% y 4%; al realizar un estudio de cada relación, se obtuvo que la sustitución del 1% es la que tiene el mayor número de aciertos al comparar con lo que manda la normativa; además, al aumentar el porcentaje de celulosa a la mezcla, esta tiene una reducción en costo, pero afecta de manera negativa las propiedades físico-mecánicas que se requieren, ya que ante un porcentaje de reemplazo de 4% se tiene una absorción de 8.4%, con una resistencia a la compresión de 39.07 kg/cm², mientras que para un reemplazo de 1% se tiene una absorción de 5.9%, con una resistencia a la compresión de 57.42 kg/cm²; de esto se puede concluir que la adición de papel reciclado y celulosa tiene un efecto positivo en el ámbito económico, con esto se infiere que realizar el reemplazo de papel reciclado, influirá de manera positiva en el aspecto económico, pero se debe verificar el grado óptimo de reemplazo para cumplir las características que solicitan las normas.

En la investigación realizada en Lima, Perú, por Camacllanqui (2021) en su tesis, se evaluó la viabilidad técnica de los ladrillos elaborados con residuos de papel y poliestireno, bajo criterios de sostenibilidad y cumplimiento de normas técnicas peruanas, esto se consiguió siguiendo una metodología cuantitativa experimental, debido a que se realizó la sustitución de los residuos de papel y poliestireno de manera deliberada para obtener la mejor relación posible para su uso óptimo, se realizaron 40 moldes para ensayar y, con esto, poder obtener las propiedades físico-mecánicas y así lograr obtener la relación más óptima, de esto obtenemos que la composición más óptima es la de 90% papel con 10% de poliestireno, debido a que esta

es la que tiene la mayor cantidad de aciertos a la hora de realizar la comparativa, ya que se logró una resistencia a la compresión de 95 kg/cm² y una resistencia a la flexión de 12.2 kg/cm², con esto se infiere que el seleccionar al papel reciclado como material de sustitución en la mezcla de un ladrillo de concreto es un acierto, debido a que las propiedades que se obtuvieron con los ensayos realizados tuvieron resultados buenos, por lo cual profundizar esto es lo más recomendable.

En la investigación realizada en Pimentel, Perú, por Idrogo (2023) en su tesis, se realizó la evaluación del comportamiento mecánico del concreto con la acción de caucho reciclado como reemplazo de agregado; el trabajo de investigación presenta un enfoque cuantitativo, ya que se basa en el procesamiento de los resultados de laboratorio para su posterior análisis, con el propósito de explicar sus propiedades mecánicas y finalmente fundamentar los resultados para la resolución, de estos, se concluyó que el porcentaje de cambio óptimo de caucho reciclado por agregado es 8%, debido a que este incrementa significativamente las propiedades físicas y mecánicas en comparación con el concreto patrón, ya que tiene una resistencia a la compresión de 329.28 kg/cm², mientras que se logra una mejora en la resistencia a la tracción de hasta 19.35% por encima del concreto patrón; asimismo, se tiene una resistencia a la flexión de 80 kg/cm², pero el porcentaje no debe de superar el 10% de reemplazo, debido a que después de este se empieza a parecer las características a las del concreto patrón; de este trabajo de investigación se tiene que el uso de caucho reciclado como reemplazo de agregado común mejora las propiedades mecánicas del concreto mientras que el reemplazo sea menor al 10% en el diseño de mezcla.

En la investigación realizada en Ilave, Puno, por Quispe (2024) en su tesis, se realizó la elaboración de ladrillos ecológicos con plástico PET y papel reciclado, como una alternativa para la construcción de viviendas en el distrito de Ilave; el trabajo de investigación es de tipo aplicado, con enfoque cuantitativo, con un alcance exploratorio descriptivo, con la finalidad de

elaborar ladrillos ecológicos de PET y papel reciclado para verificar los lineamientos dados por la Norma Técnica E.070, se realizaron 3 muestras con distintas proporciones; se realizó un muestreo no probabilístico por conveniencia para realizar los ensayos necesarios en las muestras obtenidas. Como conclusión, se obtuvo que es factible la elaboración de ecoladrillos de PET y papel reciclado como alternativa para las viviendas en Ilave, debido a que cumple con los lineamientos necesarios; el ecoladrillo con proporción de 64 g de PET y 85 g de papel reciclado alcanzó una resistencia de 37.1 kg/cm² y una absorción de 6.08% con una densidad de 1.853 kg/m³; del presente trabajo de investigación se visualiza que es factible realizar ecoladrillos para construir viviendas y que estos mismos ecoladrillos cumplen con los lineamientos dados por la Norma Técnica E.070.

En la investigación realizada en Pimentel, Perú, por Torres (2023), con la finalidad de realizar la evaluación del comportamiento físico-mecánico de bloques de concreto tipo P con la acción de fibras de celulosa de papel reciclado como reemplazo de agregado; el trabajo de investigación presenta un enfoque cuantitativo de nivel explicativo, ya que se basa en el procesamiento de los resultados de laboratorio para su posterior análisis, con el propósito de explicar sus propiedades físico-mecánicas y finalmente fundamentar los resultados para la resolución; de estos, se concluyó que el porcentaje de cambio óptimo de fibras de celulosa de papel reciclado por agregado es 3%, debido a que este incrementa significativamente en comparación con concreto patrón, ya que se logró una resistencia a la compresión de 52.15 kg/cm², con una absorción de 9.22%; mientras que la resistencia a compresión de pilas tiene un valor de 7.33 MPa, con una resistencia a la compresión diagonal de muretes con valor de 0.80 MPa; pero el porcentaje no debe de superar el 7% de reemplazo, debido a que después de este presenta una similitud con las características del concreto patrón; de este trabajo de investigación se tiene que el uso de fibras de celulosa de papel reciclado como reemplazo de

agregado común mejora las propiedades físico-mecánicas del concreto mientras que el reemplazo sea menor al 7% en el diseño de mezcla.

2.2.3. Antecedente local

En la investigación realizada en Arequipa, Perú, por Caceres y Mamani (2021) en su tesis, se encontró la proporción óptima de materiales utilizados para la fabricación de unidades de albañilería empleando morteros con adición de fibras de caucho reciclado de neumáticos desechados para cumplir con la normativa peruana; esta investigación se realizó empleando una investigación experimental correlacional, usándose los laboratorios de concreto de la UNSA; haciendo uso de esto, se encontró que el grado de adición óptimo para la elaboración de ladrillos de concreto con añadido de fibras de caucho reciclado es del 15% de fibras de caucho reciclado con un 25% de cemento; de lo cual se concluye que el comportamiento de las fibras de caucho en las unidades de albañilería LCR es beneficioso al bajarle la densidad, debido a que se logró una absorción de 3.64%, con una densidad de 1.93 g/cm³, resistencia a tracción por flexión de 11.76 kg/cm² y resistencia a compresión de 115.813 kg/cm²; mientras el porcentaje de fibras de caucho aumenta hasta un 11.25% en volumen, esto ayuda a ubicar el posible punto de partida con respecto a las relaciones en porcentajes a utilizar de los materiales principales en el diseño de mezcla de los ladrillos de concreto.

En la investigación realizada en Arequipa, Perú, por Ruiz y Tassara (2023) en su tesis, se propuso la elaboración y diseño de eco-ladrillos modulares a base de papel y cartón reciclado para la construcción de muros en viviendas de la ciudad de Arequipa y así poder mejorar las propiedades físico-mecánicas del ladrillo convencional, reduciendo así el impacto ambiental que genera su fabricación; esto se realizó por medio de una investigación mixta, debido a que se realizaron gran cantidad de ensayos con el fin de obtener las propiedades físico-mecánicas; con esto se realizó el procesamiento para su posterior estudio; al realizar estos procedimientos, se encontró que el grado óptimo de relación cartón reciclado: cemento es 1:2, que significa que

por cada 2 kg de cartón reciclado corresponde 1 kg de cemento; de esto se puede concluir que es posible la adición del cartón reciclado con porcentajes del 15% para muros portantes y no portantes, ya que se logró una resistencia a la compresión de 144.1 kg/cm², una resistencia a la compresión axial de 153.14 kg/cm² y una resistencia a corte diagonal en muretes de 17.28 kg/cm²; esto ayuda a definir el punto de partida con respecto al porcentaje de reemplazo inicial para continuar con el estudio correspondiente.

En la investigación realizada en la ciudad de Arequipa, Perú, por Ramos (2022) en su tesis, se propuso el reciclaje de restos de celulosa (madera y cartón) en la elaboración de briquetas para su posterior evaluación de disponibilidad de segundo uso en otras actividades para propiciar la protección del medio ambiente; se realizó por medio de la fabricación de briquetas de celulosa a presión con una mejora estadística matricial completa; la investigación tuvo un enfoque mixto debido al uso de la metodología Complex Box, este consiste en escoger variables y establecer rangos para configurar matrices de experimentación; de la mejora de esto se tiene 18 pruebas con 18 valores de friabilidad; al evaluar estos resultados, se tiene el óptimo experimental para cantidad de celulosa, aglomerante y presión; al aplicar la metodología descrita, se obtuvo que el óptimo experimental es 2154.07 g de celulosa, con 146.69 g de aglomerante y 62.48 kg/cm² de presión; esto permitió la consolidación de viabilidad de la briqueta para su disposición de segundo uso; de esta investigación se tiene que los residuos de celulosa pueden ser usados después de un tratamiento en otras industrias con previo análisis y procesamiento de la materia prima.

En la investigación realizada en Sabandia, Arequipa, por Choquenaira (2022), cuya finalidad era evaluar las propiedades mecánicas del concreto con la adición de caucho en polvo sustituyendo al agregado fino, la investigación tuvo un enfoque cuantitativo de alcance aplicado-experimental, debido a que se realizaron testigos de sección cilíndrica y cúbica con resistencias de 175 kg/cm², 210 kg/cm², 280 kg/cm², con porcentajes de reemplazo de 10%,

15% 20%, 25% y 30%; se realizaron un conjunto de ensayos mecánicos con el objetivo de obtener las propiedades de las mismas; como conclusión del conjunto de procedimientos, se obtuvo que el mejor porcentaje de reemplazo es del 10%, debido a que se obtuvo resistencia a la compresión de 168 kg/cm², una resistencia a la flexión de 31.38 kg/cm² y una resistencia a la tracción de un aproximado de 90.15% respecto al concreto patrón; esta investigación es útil debido a que logró saber que mientras mayor sea el porcentaje de reemplazo de caucho en el agregado fino, menor será las propiedades mecánicas favorables que se obtengan de los mismos.

2.3.Marco teórico

2.3.1. Problemática ambiental en la construcción

2.3.1.1.Definición.

La industria de la construcción representa uno de los sectores con mayor consumo de recursos naturales y, al mismo tiempo, es uno de los mayores generadores de residuos sólidos a nivel mundial; el enorme crecimiento poblacional, así como la amplia expansión humana, ocasionaron una alta demanda de materiales de construcción, especialmente lo referido al concreto, agregados pétreos y las unidades de albañilería; estos mismos generan como consecuencia la explotación intensiva de canteras y la acumulación de residuos industriales producto de las mismas, las cuales, a largo plazo, generaron impactos ambientales significativos.

En años recientes, se promovió la expansión de materiales sostenibles capaces de reducir la contaminación ambiental y, de esta forma, reducir el consumo de recursos no renovables; diversas investigaciones lograron demostrar que la reutilización de los residuos reciclados en componentes de base de cemento permite reducir los impactos ambientales asociados a la industria de la construcción; uno de estos estudios es el de Bu et al. (2022), quienes indican que el hormigón adicionado con caucho contribuye a la reducción de la

contaminación ambiental causada por la acumulación de los residuos de caucho provenientes de los neumáticos fuera de uso, ya que estos elementos presentan una lenta degradación y un amplio volumen de acumulación.

Figura 3.
Probetas de concreto con adición de caucho.



Nota: Probetas de concreto encauchado (Sarmiento, 2022).

Asimismo, se tiene a Marinelli et al. (2023), los cuales señalaron que el uso de residuos reciclados de concreto y mortero apoya al progreso de tecnologías sostenibles por medio de la reducción del uso de los agregados pétreos naturales y, asimismo, la valorización de residuos sólidos urbanos e industriales.

2.3.1.2. Panorama nacional

La problemática ambiental relacionada con los residuos sólidos está en aumento; los elementos que tienen mayor presencia son los residuos de papel y neumáticos fuera de uso; estos representan un problema significativo, ya que se tiene:

- Disposición inadecuada.
- Contaminación Visual.
- Proliferación.

- Emisiones tóxicas generadas por su quema indiscriminada e informal.

Debido a estos aspectos, resulta de gran importancia la reutilización de estos materiales en procesos de fabricación de ladrillos ecológicos de concreto, ya que estos constituyen elementos con gran potencial técnico y, asimismo, es ambientalmente eficaz debido a que se reutilizan materiales que usualmente tienen un uso único; así lo señala la investigación realizada por Muñoz et al. (2021), los cuales indicaron que gran parte de los residuos de construcción son depositados en terrenos baldíos, en las riberas de los ríos o en botaderos informales, los cuales usualmente están en la periferia de la ciudad y generan contaminación del suelo, un deterioro del paisaje y afectan el ecosistema en general; los investigadores recomiendan que el reciclaje y la reutilización de residuos representan alternativas para disminuir la depredación de los recursos naturales y, asimismo, avanzar hacia modelos de economía circular.

2.3.1.3.Panorama local.

En la ciudad de Arequipa, la problemática ambiental relacionada con los residuos de construcción y demolición fue documentada por distintas investigaciones académicas; el estudio realizado por Hinojosa y Meza (2020), los cuales identificaron que la Municipalidad Distrital de Miraflores presentaba deficiencias en la gestión de residuos provenientes de las actividades del sector de la construcción; evidencia el impacto económico y ambiental asociado a la disposición inadecuada de los escombros y los materiales residuales; los investigadores sostienen que la ausencia de estrategias integrales de reaprovechamiento incrementa los costos asociados a su manejo y agrava los impactos ambientales de la ciudad.

Asimismo, tenemos la investigación desarrollada por Begazo y Flores (2025), los cuales destacan que la ciudad de Arequipa aún enfrenta dificultades para implementar sistemas eficientes de valorización y reciclaje de los residuos provenientes de la construcción; esta

situación incrementa la contaminación visual y la degradación progresiva del ambiente de la ciudad de Arequipa.

2.3.2. Economía circular de materiales de construcción

2.3.2.1. Definición.

Este constituye un modelo productivo que está orientado a maximizar el aprovechamiento de los recursos por medio de la reutilización, el reciclaje y la reincorporación de los residuos al ciclo productivo; en el sector de la ingeniería civil, este enfoque ha impulsado investigaciones que tienen relación con:

- Agregados reciclados.
- Fibras de materiales reciclados.
- Residuos plásticos.
- Materiales cementicios ecoeficientes.

Adicionalmente, la economía circular busca una reducción en:

- Extracción de recursos naturales.
- Generación de residuos.
- Consumos energéticos.
- Emisiones de carbono.

Una de las investigaciones que aporta una idea sobre este tema es la realizada por Helmy et al. (2023), quienes señalan que la incorporación de materiales reciclados dentro del concreto permite obtener una reducción significativa en la disposición de estos materiales en los vertederos y, de esta forma, promover soluciones sostenibles para la industria del sector construcción.

Figura 4.

Partículas de cáscara de arroz, plástico PET y neumáticos.



Nota: Materiales reciclados en partículas (Franco et al., 2025).

2.3.3. Ladrillo de concreto

2.3.3.1.Definición.

La unidad de albañilería usada de manera convencional será el ladrillo, según el Reglamento Nacional de Edificaciones: Norma E.070 Albañilería (2020), el ladrillo es la unidad cuya dimensión y peso permitirán su manipulación con una sola mano; estas unidades pueden ser sólidas, huecas o tubulares, con fabricación artesanal o industrial, y estarán elaboradas con materiales como arcilla cocida, sílice-cal o concreto; en el caso de los ladrillos de concreto, estos serán usados una vez que logren una resistencia específica con estabilidad volumétrica; en el caso de aplicar curado, esta deberá realizarse durante un periodo mínimo de 28 días.

La principal diferencia entre la unidad de albañilería de ladrillo y la unidad de albañilería de bloque será la dimensión, debido a que el bloque será de mayor dimensión, lo que hará que su manipulación sea con las 2 manos debido a su mayor peso; además, por sus propiedades, los ladrillos tendrán mayores usos que los bloques.

Figura 5.
*Tipos de ladrillos de concreto***.**



Nota: Ladrillos de concreto (bloqueras.org, 2024).

2.3.3.2.Componentes del ladrillo de concreto

- **Cemento HS**

Este material actúa como el aglomerante principal debido al conjunto de características y componentes que tiene; adicionalmente, al ser un material hidráulico, al combinarse con agua, crea una pasta que fragua y se endurece con el paso del tiempo, lo cual genera la adquisición de resistencia mecánica y estabilidad; para el estudio se usará Cemento Yura MAX; el porcentaje de uso suele variar entre el 10% y el 15% de la mezcla usada para la fabricación del ladrillo; Se deberá cumplir con lo indicado por la normativa NTP 334.009:2023 CEMENTOS. Cementos Portland. Requisitos. 9ª Edición.

Figura 6.
Cemento Yura MAX.



Nota: Ficha técnica de cemento Portland tipo I (CEMENTO YURA, 2024).

- **Agregado fino**

Este material le proporciona una cohesión a la mezcla, además de ayudarlo a obtener una textura fina en la superficie del ladrillo; este tiene que ser limpio de impurezas y restos de materia orgánica; deberá ser arena que cumpla con las granulometrías dadas por la Norma E.070 ALBAÑILERÍA, la cual se visualiza en la Tabla 3; además, se recomienda evitar que quede más del 50% de retenido de arena entre 2 mallas consecutivas, con un módulo de finura entre 1.60 y 2.50; se deberá de evitar el uso de arena de mar por las características y condiciones de esta; corresponderá tomar en cuenta la NTP 400.037:2021 AGREGADOS. Agregados para concreto. Especificaciones 5° Edición; el porcentaje de uso suele variar entre el 30% y el 40% de la mezcla usada para la fabricación del ladrillo; para el proyecto se usará arena gruesa; la cual se adquirirá como parte de agregados embolsados de SUPERMIX.

Tabla 3.

Granulometría de la arena para ladrillos de concreto

Granulometría de la Arena	
MALLA ASTM	% QUE PASA
N.º 4 (4.75 mm)	100
N.º 8 (2.36 mm)	95 a 100
N.º 16 (1.18 mm)	70 a 100
N.º 30 (0.60 mm)	40 a 75
N.º 50 (0.30 mm)	10 a 35
N.º 100 (0.15 mm)	2 a 15
N.º 200 (0.075 mm)	Menos de 2

Nota: Tabla de granulometría de la arena para ladrillos de concreto adaptado de *(SENCICO, 2020)*.

- **Agregado grueso**

Este material le proporciona una resistencia mecánica a la mezcla, siendo los usuales aquellos con dimensiones menores a 10 mm para facilitar el proceso de moldeo y evitar las cangrejeras en el proceso de fabricación de los ladrillos; estos mismos son agregados con retenido en el tamiz de 4.75 mm (N° 04), los cuales provienen de la desintegración de la roca, que se encuentra en las canteras o en forma natural; se deberá de tomar en cuenta la NTP

400.037:2021 AGREGADOS. Agregados para concreto. Especificaciones 5° Edición; el porcentaje de uso suele variar entre el 40% y el 60% de la mezcla usada para la fabricación del ladrillo; para la investigación usaremos el confitillo; por lo cual se realizará la adquisición de confitillo de la cantera Imapalca, la cual está ubicada en el distrito de Socabaya.

Figura 7.
Muestra de agregado grueso.



Nota: Elaboración propia.

- **Agua**

Este material ayuda a activar el proceso de hidratación del cemento usado; esta debe ser de calidad potable y deberá de estar libre de sustancias álcalis, ácidas, sales o materia orgánica, en caso no contar con agua potable se usará agua que cumpla con la normativa vigente señalada por la Norma Técnica Peruana 339.088:2024 CONCRETO. Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento hidráulico. Requisitos. 5° Edición.

2.3.4. Ladrillo ecológico

2.3.4.1.Definición.

Según indica el RNE E.070 ALBAÑILERIA (2020), los ladrillos son las unidades cuya dimensión y peso permiten su manipulación con solo una mano; asimismo, indica que las

unidades de albañilería de concreto serán usadas después de conseguir la resistencia especificada y la estabilidad volumétrica; en caso se tenga unidades curadas con agua, serán usadas en 28 días, lo cual será comprobado según los lineamientos de la NTP 399.602.

Asimismo, Saldaña et al. (2016), indican que para que una vivienda pueda ser considerada ecológica debe cumplir con ciertos requisitos, los cuales son: reducir impactos ambientales, interrelación con los ciclos de la naturaleza y la diversidad funcional de la vivienda.

Por lo tanto, al construir viviendas se debe priorizar materiales inocuos para la protección del medio ambiente, así como usar materiales con aislamiento, poca conductividad eléctrica y con capacidad de almacenamiento de calor; el uso de materiales desechados , inútiles o de procesos de transformación, al generar materiales alternativos, permite insertar estos en ciclos autosustentables; el uso de materiales reciclados no solo tiene ventajas en el campo de recuperación de material, protección ambiental o reducción de contaminación, sino también en el campo económico debido al reducido precio de estos, lo cual genera un impacto en la economía de las sociedades, además de una disminución importante en la generación de CO_2 hacia la atmósfera.

Figura 8.
Ladrillos ecológicos de distintas características.



Nota: Ladrillos ecológicos (AUTODESK JOURNAL, 2019).

Es por esto que se pretende realizar la propuesta de adicionar algunos elementos reciclados al proceso de fabricación de los ladrillos de concreto con el fin de optimizar las

propiedades de estas unidades de albañilería, al mismo tiempo que se busca reusar elementos como son partículas de caucho reciclado o partículas de papel reciclado.

Además, los ladrillos ecológicos cada año tienen más importancia debido a que se está en la búsqueda de la reducción del impacto ambiental de nuestros materiales tradicionales, es por esto que se propone la utilización de materiales reciclados para poder clasificar la albañilería de concreto con partículas de elementos reciclados; al juntar la información obtenida por varios trabajos de investigación, se puede obtener una propuesta de normativa que ayude a clasificar este tipo de unidad de albañilería.

2.3.4.2.Propiedades del ladrillo ecológico de concreto.

Se tiene distintas propiedades físicas y mecánicas de los elementos de albañilería ecológica de concreto; estas permitirán obtener la clasificación de los mismos según la normativa vigente.

- **Variación dimensional**

Consiste en realizar la medición de todos los lados que tienen los ladrillos para observar el nivel de variación de las dimensiones, para su posterior clasificación; se deberá medir todas las dimensiones del ladrillo para evitar el uso de ladrillos con una variación amplia, debido a que esta diferencia podría producir un mal funcionamiento del mismo durante la construcción. El procedimiento de este ensayo está regulado por la NTP 399.613 y la NTP 399.604.

Para realizar el ensayo se usará una regla metálica de acero graduada de 30 cm con divisiones en milímetros o, en su defecto, un calibrador con escala de 25 mm a 300 mm; se deberá medir 10 unidades enteras y secas; el procedimiento consiste en realizar las medidas en 3 zonas por cara, 2 al extremo y 1 al medio, para su posterior registro con una aproximación de 1 mm; al obtener las medidas, se realizará la obtención del promedio de cada dimensión (largo, ancho y altura).

- **Alabeo**

Consiste en la obtención de la medida desde el eje plano hasta la zona de curvatura del ladrillo; se refiere a la curvatura que presentan los ladrillos en sus superficies; se deberá evitar una curvatura demasiado amplia debido a que la misma puede afectar la resistencia en la construcción; el procedimiento de este ensayo está regulado por la NTP 399.613.

Para realizar el ensayo se usará una escobilla de cerdas suaves, una varilla de acero con borde recto y una regla con división de 1 mm o, en su defecto, una cuña de medición de 60 mm de longitud, por 12.5 mm de ancho y altura de extremo al cero del otro extremo; esta cuña deberá ser graduada y numerada con división de 1 mm para mostrar el espesor de separación entre la proyección horizontal y la curvatura del ladrillo; se deberá medir 10 unidades enteras y secas; el procedimiento consiste en colocar la varilla de borde recto en la zona con más altura y posteriormente colocar la cuña graduada o la regla graduada para medir el espesor de diferencia; se deberá realizar las medidas en las zonas con mayor curvatura visible en cada lado del ladrillo, para su posterior registro con una aproximación de 1 mm; al obtener las medidas, se realizará la obtención del mayor grado de curvatura y se deberá registrar de acuerdo a su característica, pudiendo ser superficies cóncavas o convexas en su superficie o bordes.

- **Absorción de agua**

Consiste en realizar el humedecimiento de las muestras de ladrillo para obtener el porcentaje de absorción de los mismos; es de gran importancia determinar el porcentaje de absorción de agua de los ladrillos debido a que, al momento de usarlos en la construcción, llegan a influir en la resistencia; el procedimiento de este ensayo está regulado por la NTP 399.613 y NTP 399.604.

Para el ensayo se realiza la colocación de las muestras en un horno para obtener el peso seco; posteriormente, se sumergen las muestras por un periodo de 24 horas; luego, se retiran de la poza de inmersión y se secan con un paño húmedo para pesarlas; posteriormente, se

registran los pesos con una aproximación de 1 g, al obtener las medidas, se realizan los cálculos correspondientes para obtener la absorción de las muestras.

- **Succión de agua**

Consiste en realizar el humedecimiento de las muestras de ladrillo para obtener la velocidad y el porcentaje de succión de los mismos; es de mucha importancia controlar el porcentaje de succión de agua de los ladrillos debido a que, al momento de usarlos en la construcción, pueden influir en la resistencia; el procedimiento de este ensayo está regulado por la Norma Técnica Peruana 399.613 y la Norma Técnica Peruana 399.604.

Para realizar el ensayo se usará una bandeja rectangular de material no corrosible con una profundidad de 38.1 mm, con largo y ancho mayor a 76.2 mm pero no mayor de 127 mm; se usará unos soportes de barras rectangulares no corrosibles de 6.4 mm de alto y ancho, con una longitud igual a la de la bandeja con reducción de 25.4 mm; ambas barras de soporte estarán separadas en orden de 101.6 mm menos de la longitud del ladrillo; finalmente, se deberá de usar un dispositivo que indique el nivel de agua y un cronómetro con aproximación de 1 s; se deberá usar 6 unidades enteras y secas; el procedimiento consiste en realizar el sumergimiento por completo de las unidades a ensayar por un periodo de 2 horas para posteriormente retirarlas y colocarlas en bandejas para su prehumedecimiento; luego, el espécimen prehumedecido se coloca sobre las barras de apoyo para posteriormente rellenar con agua hasta unos 3 mm por encima de los apoyos de ladrillo; luego, retirar e inclinar el ladrillo para realizar el escurrimiento; después, colocarlo de nuevo sobre las barras de apoyo y llenarlas por medio de un cilindro de agua hasta que toque el agua el nivel de 3 mm de profundidad; para su posterior registro con una aproximación de 1 mm, al obtener las medidas se realizará los cálculos correspondientes para obtener el volumen de agua absorbida.

- **Resistencia a la compresión**

Consiste en obtener el nivel de resistencia a la compresión de las unidades de albañilería para su posterior clasificación; se deberá obtener la resistencia a compresión de las unidades de albañilería para evitar el uso de ladrillos con una variación amplia, debido a que esta diferencia podría producir una mala influencia en la resistencia de la construcción; el procedimiento de este ensayo está regulado por la NTP 399.613 y la NTP 399.604; adicionalmente, según la norma E.070, la resistencia a compresión axial (f'_b) se deberá de obtener al realizar la resta de la desviación estándar al valor promedio de las muestras.

Para realizar el ensayo se usará una máquina de ensayo de compresión; se deberá de ensayar 6 unidades enteras y secas; el procedimiento consiste en realizar el uso de la máquina de compresión, alineando el centroide de la superficie de la muestra con el centro de empuje de la máquina, y esta se realizará en la superficie de cara amplia, cubriendo las superficies de apoyo toda la cara de apoyo del ladrillo, para su posterior registro de la carga de compresión máxima.

2.3.5. Partícula de caucho reciclado

2.3.5.1.Definición.

Las partículas de caucho tienen una gran cantidad de usos en la industria de la construcción; de manera individual, se usan como apoyos de señalamiento al costado de las carreteras, o también como obstáculos en vías clausuradas, también son usadas como elementos de contención en zonas recreativas o como material de estabilización en rellenos sanitarios; sin embargo, el campo donde más se usan los neumáticos en desuso es al triturarlos y obtener caucho en polvo como parte del asfalto en vías, esto debido a sus propiedades ante los cambios de temperatura; además, su elasticidad ayuda a ampliar la vida útil de las vías.

Figura 9.
Neumáticos en desuso y triturado.



Nota: Partículas de neumáticos en concreto (Valdes, 2022).

Así también, Delgado y Bedoya (2018), indican la existencia del bajo perfil de las autoridades en el campo del procesamiento o reaprovechamiento de los materiales que se puedan reciclar; esto, sumado a que la mayoría de la población tiene la costumbre de desechar de manera general sus residuos, origina un incremento innecesario en los botaderos, de los cuales se tiene registro de que solo entre un 20% y 30% son utilizados en procesos de reencauchado; sumado a esto, la mayor parte de estos residuos podría ser reutilizada y tener un segundo uso en otras industrias, como sería en ornamento o en sectores industriales; debido a esto, se propone reusar materiales como las partículas de caucho reciclado o los papeles, para ver la posibilidad de industrializar su uso en el campo de los materiales, como sería la conversión en un elemento base del diseño de mezcla de los ladrillos de concreto.

Según indica Mauricci (2021), en Perú se desechan miles de toneladas de neumáticos, de los cuales aproximadamente el 50% provienen del sector minero, debido a que esta industria es la que realiza el mayor uso de maquinarias y vehículos, con mayor tendencia al desgaste a corto plazo; de los elementos desechados, en su mayoría, son usados en el ornato de la ciudad.

2.3.5.2.Propiedades del neumático.

Según indica CEDEX (2013), la base de los neumáticos está constituida mayoritariamente por polímeros de caucho, los cuales representan el 50% del total del neumático; el resto está compuesto por negro de carbono, acero entre otros compuestos, los cuales hacen que el proceso de descomposición en la naturaleza sea mucho mayor de lo

necesario; su uso está dirigido a funciones de carga y movilidad de vehículos, debido a que brindan adherencia y fricción para un contacto óptimo con la superficie.

- Polímeros de caucho natural: Encargados de brindar la elasticidad y flexibilidad a los neumáticos; estos son obtenidas del látex, el cual es obtenido de las cortezas de los árboles y de otras especies vegetales; el uso principal de estos es en ligas, hilos, guantes quirúrgicos, etc.
- Polímeros de caucho sintético: Encargados de ofrecer resistencia y durabilidad a los neumáticos; estos tienen como base la obtención y procesamiento de hidrocarburos, lo cual es más sencillo de obtener, ya que de estos se obtienen los neumáticos, calzados, adhesivos entre otros.
- Negro de carbono: Encargado de aumentar la resistencia al desgaste, así como mejorar la capacidad de agarre de los neumáticos.
- Sílice: Encargada de mejorar la adherencia, así como reducir la generación de calor en los neumáticos.
- Aceites y resinas: Estos se consideran plastificantes y se los usa para dar flexibilidad y mejorar la resistencia a la rodadura.
- Azufre y óxido de zinc: Estos son esenciales para el proceso de vulcanización, el cual convierte el caucho crudo en un material elástico y resistente.
- Otros aditivos: Se usan aditivos adicionales para el proceso de antienvejecimiento, pigmentación, así como para realizar la mejora de la durabilidad y las propiedades visuales del mismo.

Según indica Reyes (2024), los polímeros de caucho tienen gran cantidad de propiedades químicas, mecánicas, térmicas y ópticas; las propiedades de elasticidad y rigidez del caucho aumentan las propiedades del concreto; estas características positivas lo vuelven un buen sustituto o material en la mejora de materiales para el sector de la construcción.

- Elasticidad: Es una de las propiedades más destacadas del caucho, debido a su estructura molecular; este llega a estirarse de manera amplia y retornar a su forma inicial al soltarlo, lo cual es muy visible en el caso de bandas elásticas.
- Resistencia al desgaste y a la abrasión: Esta se visualiza principalmente en condiciones de fricción, debido a su alta resistencia ante estas condiciones; esta propiedad es notoria en los sellos.
- Resistencia química y térmica: El caucho presenta una buena resistencia a los ácidos diluidos y a las temperaturas; debido a esto, se visualiza una alta estabilidad química, lo cual genera su uso en tuberías; sin embargo, en caso de que no se adicionen antioxidantes, la resistencia al envejecimiento es limitada.
- Resistencia al envejecimiento: Está referida a las acciones de factores ambientales, tales como el calor y la luz ultravioleta; el caucho presenta una resistencia limitada ante esta problemática, por lo cual es necesario adicionar antioxidantes.
- Comportamiento térmico: En temperaturas mayores o igual a 100 °C, el caucho puede llegar a sufrir alteraciones permanentes; en caso contrario, ante temperaturas bajas, tiene la tendencia a volverse rígido con estructura fibrosa.
- Propiedades eléctricas: El caucho presenta una alta resistencia y aislamiento a la electricidad, debido a su condición dieléctrica, lo cual ayuda a generar elementos con aislamiento eléctrico.
- Propiedades mecánicas: El caucho presenta una carga de rotura promedio de 19 MPa, así como un alargamiento promedio de 700%, con una temperatura de operación entre -50 °C y 85 °C.

2.3.5.3. Proceso de obtención de partículas de neumático

El proceso de obtención de las partículas de neumático, se realizó por medio de la compra de Partículas de Neumático como parte del proceso de reencauchado realizado en

locales de la reencauchadora RELINO SAC, con la finalidad de obtener partículas de gránulo similares a los agregados usados en la elaboración de ladrillos de concreto; esto se realiza con la finalidad de poder reemplazar estas partículas por porcentajes de agregados, para obtener una buena asimilación de estas al momento de realizar la mezcla y vaciado de la misma.

Figura 10.
Obtención de partículas de neumáticos.



Nota: Elaboración propia.

2.3.6. Partículas de papel reciclado

2.3.6.1.Definición.

Los papeles están compuestos de celulosa, la cual presenta un conjunto de propiedades térmico-acústicas que se pueden implementar en la propuesta de ladrillo; además, según Saldaña et al. (2016), la densidad que se tiene de los ladrillos con base de papel es baja, con 0.79 g/cm³, según se tiene en la Tabla 4; asimismo, presentan una absorción de agua mínima, con una capacidad de aislamiento alta.

Tabla 4.
Densidad de distintos ladrillos.

Ladrillos	Densidad (g/cm³)
Ladrillo aprensado	2.2 – 2.3
Ladrillo común	1.8 – 2.0
Ladrillo blando	1.5 – 1.7
Ladrillo silicocalcáreo fino	1.66
Ladrillo mahon hueco	1.20
Adobe	2.02
Bloque de hormigón ligero	1.40
Bloque de hormigón macizo	1.00
Paca de paja	0.85
Ladrillo de papel y aserrín UTE	0.79

Nota: Distintos ladrillos, incluyendo ladrillo de papel y aserrín UTE, adaptado de (Saldaña et al., 2016).

El cartón es un material que se produce mediante la adhesión de múltiples capas de papel, las cuales se pegan por la humedad, se comprimen y luego se secan a través de la evaporación; con este secado, se vuelve consistente; además, actualmente, las formas que usualmente se utilizan para reciclar el papel y el cartón son mediante manualidades variadas.

Figura 11.
Papel reciclado.



Nota: Papel reciclado (Residuos Profesional, 2022).

2.3.6.2.Propiedades del papel

Los papeles tienen celulosa, la cual es un material de aislamiento térmico idóneo para cualquier época del año, sumado a que también presenta propiedades de aislamiento acústico; esto se debe a que la celulosa es el único material que puede llegar a combinar la protección térmica y acústica con el control de la condensación en un solo material; estas propiedades, sumadas a una reducción del consumo de energía, ocasionan una disminución de las emisiones de CO_2 a la atmósfera (Saldaña et al., 2016). El aislante de celulosa, cuya conductividad térmica k es de 0.042 W/mK, deriva de fibras naturales de la madera, por lo cual posee características similares a la madera (k=0.13 W/mK); estos materiales no permiten el paso de calor, lo cual es un gran apoyo en el invierno debido a que no permite que salga el calor, mientras que en verano la capacidad de absorción de este material no permite que el calor exterior ingrese al interior; las principales características de aislamiento de la celulosa son:

- Protección térmica-acústica.
- Confort térmico.
- Contribución ecológica (material reciclado).

2.3.6.3.Obtención de papel

El proceso de obtención de las partículas de papel, se realizó por medio de la compra de papeles en los distintos botaderos de los mismos, para posteriormente pasarlos por un proceso de triturado, con la finalidad de obtener partículas de gránulo similares a los agregados usados en la elaboración de ladrillos de concreto; esto se realiza con la finalidad de poder reemplazar estas partículas por porcentajes de agregados para obtener una buena asimilación de los mismos al momento de realizar la mezcla y el vaciado del mismo.

2.3.7. Muros de albañilería

2.3.7.1.Definición

Los muros de albañilería son elementos estructurales verticales, los cuales se obtienen por medio del apilamiento de unidades de albañilería, ladrillos o bloques, los cuales tienen como función soportar las cargas gravitacionales de la edificación, el peso de elementos estructurales o cargas vivas, así como dar soporte a cargas laterales, como sismo o viento; estas mismas deberán de estar confinadas por sus 4 lados por medio de estructuras de concreto, columnas y vigas. Según SENCICO (2020), los muros portantes de albañilería son aquellos muros construidos por medio de unidades de albañilería unidas mediante mortero, estos se realizan con la finalidad de resistir cargas gravitacionales y laterales, los cuales forman parte del sistema estructural de la edificación, por lo cual deberán de tener continuidad para cumplir con su objetivo de manera correcta.

Tabla 5.

Métodos para determinar f´m y v'm

Resistencia Característica									
	Edificios de 1 a 3 pisos			**Edificios de 4 a 5 pisos**			**Edificios de más de 5 pisos**		
Zona Sísmica	3 y 4	2	1	3 y 4	2	1	3 y 4	2	1
(f'_m)	A	A	A	B	B	A	B	B	B
(v'_m)	A	A	A	B	A	A	B	B	A

A: Obtenido de manera empírica conociendo calidad de ladrillo y mortero

B: Determinado mediante ensayos de compresión axial de pilas y de compresión diagonal de muretes mediante ensayos de laboratorio

Nota: Tabla de métodos para determinar f'm y v'm de albañilería, adaptado de (SENCICO, 2020).

2.3.8. Ensayos y pruebas de laboratorio a los componentes

2.3.8.1.Resistencia de compresión axial de pilas

Esta consiste en la apilación por medio de mortero de un conjunto de unidades de albañilería, apilándolas una sobre otra; se usarán 3 unidades de albañilería para realizar las

pruebas de compresión axial en pilas de unidades de albañilería; se usará un dispositivo para el ensayo con una precisión de 1.0% sobre el rango de carga anticipado; este procedimiento se realizará según las indicaciones dadas por la Norma Técnica Peruana 399.605:2018 UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Método de ensayo para la determinación de la resistencia en compresión de prismas de albañilería y la norma E.070.

2.3.8.2.Resistencia de compresión diagonal de muretes

Esta consiste en la apilación por medio de mortero de un conjunto de unidades de albañilería, apilándolas una sobre otra similar a un proceso de construcción de un muro; se usarán 18 unidades de albañilería para realizar las pruebas de compresión diagonal de muretes de albañilería; se usará un dispositivo para el ensayo con una precisión de 1.0% sobre el rango de carga anticipado; este procedimiento se realizará según las indicaciones dadas por la Norma Técnica Peruana 399.621:2004 (revisada el 2015) UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Método de ensayo de compresión diagonal de muretes de albañilería y la norma E.070.

2.4.Marco legal

Se usarán los reglamentos referentes a unidades de albañilería, tal como se indica:

Ensayos a los agregados y diseño de mezcla

- Norma Peruana NTP 339.185: AGREGADOS. Determinación del contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. Método de ensayo. 3ª Edición.
- Norma Peruana NTP 399.607: UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Agregados para morteros de albañilería. Requisitos. 2° Edición.
- Norma Peruana NTP 399.610: UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Especificación normalizada para morteros. 2° Edición.
- Norma Peruana NTP 400.010: AGREGADOS. Extracción y preparación de las muestras.

- Norma Peruana NTP 400.011: AGREGADOS. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y concretos.
- Norma Peruana NTP 400.012: AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino y grueso. Método de ensayo.
- Norma Peruana NTP 400.017: AGREGADOS. Método de ensayo para determinar la masa por unidad de volumen o densidad "Peso Unitario" y los vacíos en los agregados.
- Norma Peruana NTP 400.021: AGREGADOS. Densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso. Método de ensayo.
- Norma Peruana NTP 400.022: AGREGADOS. Determinación de la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. Método de ensayo.
- Norma Peruana NTP 400.037: AGREGADOS. Agregados para concreto. Especificaciones.
- Norma ACI 211.1-22: Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete.
- El Reglamento Nacional de Edificaciones: Norma E.070 Albañilería (2020), que se tomará como base para la fabricación, aceptación de las unidades y ensayos para determinar las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo ecológico.
- Norma Peruana NTP 399.600: Unidades de Albañilería como bloques de concreto para uso no estructural.
- Norma Peruana NTP 399.601: UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Ladrillos de concreto. Requisitos.
- Norma Peruana NTP 399.602: UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Bloques de concreto para uso estructural. Requisitos. 2° Edición.

- Norma Peruana NTP 399.604: UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Método de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto.
- Norma Peruana NTP 399.605: UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Método de ensayo para la determinación de la resistencia en compresión de prismas de albañilería.
- Norma Peruana NTP 399.613: UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Método de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería.
- Norma Peruana NTP 399.621: UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Método de ensayo de compresión diagonal en muretes de albañilería.
- Norma Peruana NTP 399.633: UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Terminología y definiciones. 2° Edición.

CAPITULO III. METODOLOGÍA

3.1.Tipo de investigación

Tal como indica Ñaupas et al. (2023), la presente investigación fue de tipo básica debido a que se amplió el conocimiento científico a partir de la evaluación experimental del efecto que produjeron la variable independiente (porcentaje de sustitución de partículas de caucho reciclado y porcentaje de sustitución de partículas de papel reciclado) sobre las variables dependientes (Propiedades físico-mecánicas y costo referencial de elaboración de ladrillos ecológicos de concreto); la presente investigación obtuvo evidencia experimental sobre el comportamiento de las dosificaciones analizadas bajo condiciones controladas de laboratorio; asimismo, se tuvo una perspectiva cuantitativa, ya que se realizó el proceso de experimentación por medio de los ensayos de laboratorio, para obtener información y datos que permitieron analizar e interpretar los resultados obtenidos.

3.2.Nivel de investigación

Según Hernández et al. (2014), la investigación tuvo un nivel explicativo, debido a que se determinó el efecto que produjo la variable independiente (porcentaje de sustitución de partículas de caucho reciclado y porcentaje de sustitución de partículas de papel reciclado) sobre la variable dependiente (propiedades físico-mecánicas y costo referencial de elaboración de ladrillo ecológico); este estudio no se limitó a describir las características de las unidades de albañilería fabricadas, sino que comparó los resultados de las distintas dosificaciones con una mezcla patrón para establecer la existencia de diferencias entre ellas.

3.3.Enfoque de la investigación

Según Hernández et al. (2014), esta investigación presentó un enfoque cuantitativo, debido a que la recolección de la información se realizó mediante mediciones numéricas derivadas de los ensayos de laboratorio realizados tanto a los componentes de la mezcla del ladrillo ecológico como a los ladrillos ecológicos fabricados durante la investigación.

3.4.Diseño de investigación

Tal como indican Hernández et al. (2014), esta investigación presentó un diseño experimental, debido a que se realizó en laboratorio con grupo patrón y dosificaciones controladas, ya que se realizó la selección y manipulación intencional de la variable independiente (porcentaje de sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y partículas de papel reciclado), por medio del control de las variables relacionadas con las proporciones de mezcla, procesos de fabricación, curado y condiciones de ensayos de laboratorio; la mezcla convencional sin sustitución constituyó el grupo patrón, mientras que las dosificaciones consideraron tres niveles de reemplazo de 2.5%, 5% y 7.5% para cada material reciclado; estos porcentajes fueron determinados por medio de un análisis de los antecedentes relacionados con las unidades de albañilería de concreto con materiales reciclados de caucho y papel, en los estudios realizados por Choquenaira (2022) y Fernández et al. (2022), los cuales coinciden en señalar que los porcentajes de reemplazo cercanos o mayores al 10% generan una disminución progresiva de la resistencia a compresión debido al aumento de la porosidad y la reducción de adherencia entre los materiales reciclados y la pasta de cemento; asimismo, las investigaciones realizadas por Chinchay (2023) y Torres (2023), las cuales reportaron que porcentajes reducidos de papel o caucho permiten mejoras en determinadas propiedades físico-mecánicas antes de alcanzar niveles críticos de sustitución por la reducción de resistencia y un mayor grado de porosidad; en función de esto, se determinó porcentajes de reemplazo de 2.5%, 5% y 7.5%, empleando incrementos uniformes de 2.5%, con el propósito de evaluar de manera gradual el comportamiento de los ladrillos ecológicos y así determinar el porcentaje recomendable de sustitución dentro de un rango técnicamente seguro; este, a su vez, debe estar apoyado por los antecedentes de investigación sin caer en un proceso de plagio; además, esta estrategia experimental permitió identificar un punto de validez de las propiedades físico-mecánicas antes de que se presenten las mermas de resistencia que se encontraron en las

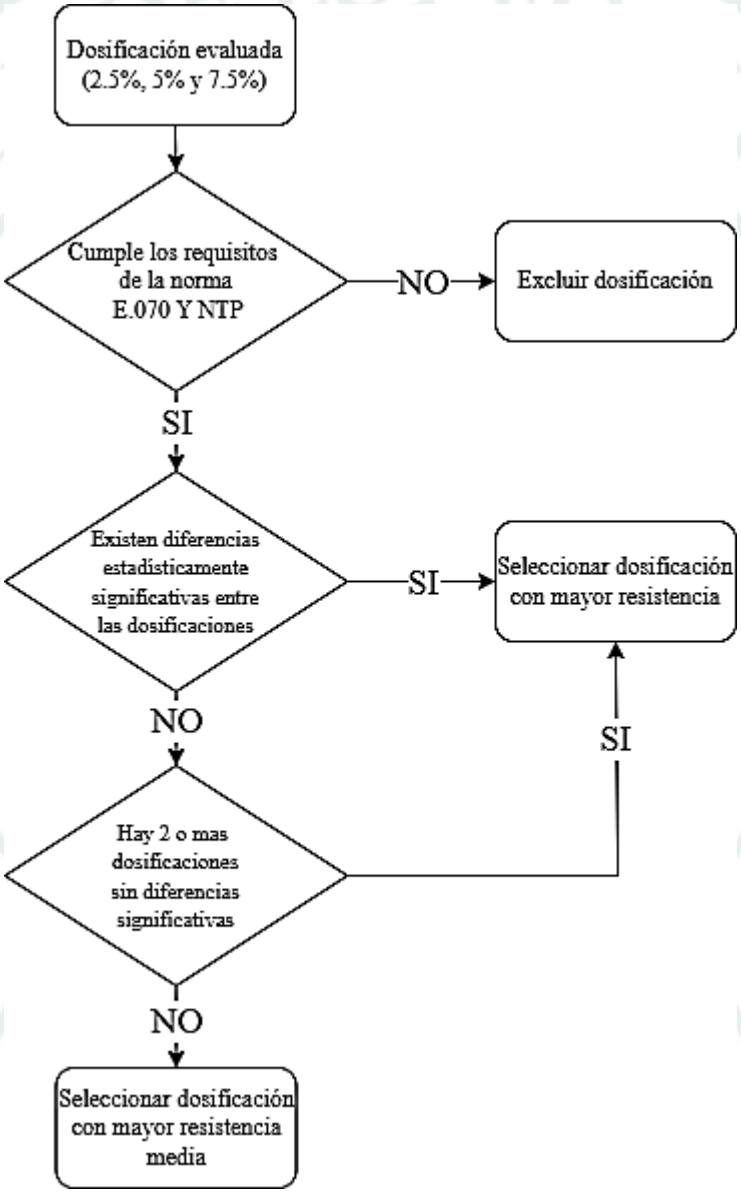
investigaciones previas; en ese sentido, la investigación se limitó a interpretar los resultados obtenidos bajo condiciones experimentales controladas, sin extrapolarlos a aplicaciones estructurales o constructivas que requieren evaluaciones adicionales. El procesamiento de la información comprendió el análisis de varianza (ANOVA) y comparaciones múltiples mediante la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$); la significancia estadística obtenida se interpretó conjuntamente con el cumplimiento de los requisitos establecidos por la norma técnica E.070, lo que permitió determinar no solo si existieron diferencias entre dosificaciones, sino también si dichas diferencias representaron una mejora desde el punto de vista técnico y normativo.

Antes de iniciar la primera etapa experimental, se estableció un protocolo de selección para determinar las dosificaciones que continuaran a la segunda etapa experimental; este protocolo se definió antes de conocer los resultados de la variación dimensional, alabeo, porcentaje de vacíos, absorción, succión y resistencia a compresión de los ladrillos ecológicos de concreto realizados, por lo cual la selección posterior no fue modificada en función de los resultados obtenidos; la primera etapa corresponde a las unidades de albañilería fabricadas y la segunda etapa corresponde a los ensayos de pilas y muretes; la selección y secuencia del protocolo se realizó de manera independiente para las dosificaciones con partículas de caucho reciclado y partículas de papel reciclado, considerando como criterio de aceptación el cumplimiento de los requisitos establecidos por la norma técnica E.070 y las NTP aplicables en cuanto a la resistencia a compresión, absorción, succión, alabeo, porcentaje de vacíos y variación de dimensiones; entre las dosificaciones que se analizaron, se seleccionó las dosificaciones que cumplieron la normativa y obtuvieron diferencias significativas; en caso de tener 2 dosificaciones que no presenten diferencias estadísticamente significativas según el análisis de varianza y la prueba de Tukey con un nivel de significancia de $\alpha=0.05$; se eligió la dosificación con mayor resistencia media y menor porcentaje de sustitución debido al adicional de costos referenciales de elaboración de ladrillos; de esta forma, la selección de dosificaciones

para pilas y muretes quedó definida mediante un protocolo de selección previo, verificable y aplicable antes de ejecutar los ensayos experimentales mecánicos; este procedimiento fue coherente con investigaciones experimentales recientes que diferenciaron la caracterización de las unidades de albañilería de la evaluación posterior mediante prismas y muretes.

Figura 12.

Protocolo de selección previo para ensayo de pilas y muretes de ladrillos ecológicos.



Nota: Elaboración propia.

3.5.Métodos de investigación

Según definen Hernández et al. (2014), esta investigación utilizó el método hipotético-deductivo debido a que la propuesta planteada requirió ensayos de laboratorio, partiendo de la base de que, al realizar la sustitución parcial de agregado fino por partículas de caucho reciclado o papel reciclado, se definieron las condiciones con respecto a la mezcla patrón, con lo cual se comprobó la hipótesis planteada.

3.6.Método de muestreo

Esta investigación empleó un método de muestreo no probabilístico, debido a que no se determinó el muestreo mediante probabilidad, tal como indican Hernández et al. (2014), ya que se realizaron unidades de albañilería tomando en cuenta las dosificaciones planteadas y en las cantidades requeridas por el diseño experimental y las normas de ensayo, que permitieron analizar solo las propiedades físico-mecánicas y el costo del ladrillo ecológico de concreto empleando partículas de caucho reciclado o papel reciclado; estas en distintos porcentajes de incidencias, los cuales fueron previamente determinados.

3.7.Tamaño de la muestra

Las muestras se dividieron en 3 tipos en base a lo que indica la NTP 339.034 (2021), donde la primera muestra se separó para los especímenes de la investigación, debido a que se realizaron ensayos, de resistencia a compresión a 7, 14 y 28 días según lo que indicó la norma descrita, en dosificaciones de 2.5%, 5% y 7.5% de las partículas en sustitución; así también, el segundo tipo de muestra que se tuvo fueron las unidades de los ladrillos ecológicos y, finalmente, se tuvo el tercer tipo de muestra, compuesta por prismas y muretes.

Para las muestras se ordenaron según el tipo de material, de los cuales se tuvo una muestra de 10 ladrillos para ensayos simples no destructivos; se usó esta misma cantidad en ladrillos de concreto y ladrillos ecológicos; de estos, fueron 5 a cada tipo de prueba de resistencia a 7, 14 y 28 días, respectivamente, y el resto fue destinado para el ensayo de

absorción o succión; estos ensayos se realizaron de acuerdo al tipo de dosificación propuesta; asimismo, para el ensayo de prismas se tomó en cuenta lo indicado por RNE E.070 ALBAÑILERIA (2020), que señaló que en edificaciones de hasta 2 niveles según zona sísmica 2 y 3, por lo tanto, debido a que se compararon resultados con las viviendas en Arequipa, se requirieron para el ensayo de carga axial, 3 pilas y 3 muretes para ensayo de compresión diagonal.

3.8.Técnicas de medición

Para el trabajo de investigación se usaron, según Hernández et al. (2014), la observación como técnica principal debido a que se realizaron un conjunto de ensayos normados con la finalidad de conseguir la clasificación de la unidad de albañilería propuesta; para lograr esto, se requirió un registro sistemático y confiable sobre situaciones observables, por lo cual, los ladrillos ecológicos fueron ensayados; como segunda técnica, se usaron datos secundarios debido a que se requirió la recopilación y revisión de la información documentaria, con lo cual se tuvo recopilado los datos de los estudios obtenidos; como tercera técnica, se usaron los informes debido a que se tuvo que tener un documento sistematizado de lo realizado.

3.9.Instrumentos de recolección de datos

- Fichas de ensayos de laboratorio: Guías para tomar datos correspondientes a cada ensayo necesario para determinar las propiedades de los agregados o las unidades de albañilería.
- Registro Fotográfico: Registro de imágenes de los procesos realizados durante el trabajo de investigación para determinar y dar a conocer el seguimiento realizado del mismo.
- Recolección de los adicionantes: Proceso de obtención de adicionantes necesarios para cumplir con los objetivos planteados en la investigación.

3.10.Instrumentos de campo y de laboratorio

- Recolección de los adicionantes (del proceso, su forma de guardado y tratamiento).
- Fichas y tablas para determinar materiales usados.
- Ensayos de laboratorio para determinar propiedades físico-mecánicas.

3.11.Materiales y equipos de laboratorio

- Se emplearon balanzas digitales con calibración de a 1, 0.5 y 0.1 g para obtener los distintos pesos de los materiales empleados en los distintos ensayos.
- Tamices de laboratorio para granulometría de 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100, N° 200 Y Fondo.
- Termómetro.
- Molde cónico.
- Recipientes cilíndricos de acero de 2.8 L con varilla lisa de acero redondeada de 16 mm.
- Estufa de cocina.
- Horno con libre circulación de aire.
- Cono de Abrams.
- Molde de ladrillo.
- Cucharón.
- Moldes cilíndricos para probetas con 10 cm de diámetro y 20 cm de altura.
- Trompo de mezclado.
- Escantillones pequeños.
- Plomada pequeña.
- Regla metálica.
- Cuña graduada.
- Prensa de compresión.

3.12.Población y muestra

3.12.1. Población

La población según indican Hernández et al. (2014), es el conjunto de casos que concuerdan con una serie de especificaciones; debido a esto, en la investigación se tomó en cuenta la cantidad de ensayos y modelos de ladrillos propuestos, adicionando a esto un 10% por seguridad, con lo cual se obtuvo un aproximado de 416 ladrillos, con lo cual resultó muy conveniente la fabricación de 420 unidades de albañilería de concreto entre el punto de control y los puntos de experimentación.

3.12.2. Muestra

Para la muestra se tomaron en cuenta las unidades seleccionadas por sus características y condiciones favorables para lograr los resultados que se requirieron; debido a esto, fue necesario que estas unidades tuvieran dimensiones uniformes, no presenten fallas o quiebres, tuvieran una aspereza mínima; este conjunto de detalles las convirtió en una muestra representativa no probabilística de tipo discrecional, tal como lo indican (Hernandez et al., 2014).

Debido a que la presente investigación tuvo un tipo de muestreo no probabilístico, se escogieron para ensayar los especímenes fabricados según el tipo de dosificación y material añadido, en base a lo que indicó el artículo 3.1.5. de la E.070 respecto a la aceptación de la unidad de albañilería; además, se consideró lo que indicó el artículo 5.1.2, el cual indicó que para conjuntos de 3 o más pisos en zonas sísmicas, como las que se encuentran en la ciudad de Arequipa, se requirieron ensayos de 3 pilas para determinar el f’m y 3 muretes para determinar el v’m; a continuación, se calcularon el número de ensayos en base a lo indicado por la norma para determinar la resistencia característica a compresión axial de la albañilería (f’m) y la resistencia característica de la albañilería al corte (v’m) para las distintas dosificaciones y la cantidad de especímenes a fabricarse, de tal manera que se logró considerar un porcentaje de

confiabilidad óptimo de acuerdo con lo indicado en la norma E.070; además del costo de los materiales empleados y el tiempo de fabricación de los mismos; debido a esto, se requirieron 189 ladrillos de concreto para los ensayos de f'm y v'm; de manera adicional, se requirieron 105 ladrillos para el ensayo de f'b, teniendo una muestra de 294 ladrillos.

Tabla 6.
Número de elementos por pila / murete.

Ensayo destructivo	Pilas / Muretes	N° elementos por pila / murete	Tipo de dosificación	N° ensayos	Total, N° de elementos
f'm	3	3	3	9	27
v'm	3	18	3	9	162
					189

Nota: Elaboración propia.

Para el caso de los ensayos no destructivos, como la variación dimensional, alabeo y porcentaje de área de vacíos, se usaron 10 unidades por cada tipo de dosificación; mientras que para el ensayo de absorción y succión se usaron 6 unidades, basándose este valor en lo indicado en el artículo 3.1.4 de la norma E.070; aparte, se usaron 5 unidades para el ensayo de resistencia característica a compresión axial de las unidades de albañilería (f'b) para las diferentes dosificaciones y el número de especímenes a fabricarse a los 7, 14 y 28 días; de tal forma que se evaluó el comportamiento del concreto a las diferentes edades en función de la resistencia a la compresión.

Tabla 7.
Número de elementos por resistencia característica de unidad de albañilería.

Ensayo destructivo	N° unidades	Tipo de dosificación	N° ensayos
F'b	5	21	105

Nota: Elaboración propia.

A continuación, se muestra la tabla con la cantidad total de especímenes de ladrillo de concreto por cada ensayo realizado.

Tabla 8.

Tabla de muestras por ensayo.

Ensayo	Ladrillo Concreto			Ladrillo ecológico partículas de caucho reciclado										Ladrillo ecológico partículas de papel reciclado								
	7	14	28	7			14			28				7			14			28		
				2.5%	5.0%	7.5%	2.5%	5.0%	7.5%	2.5%	5.0%	7.5%		2.5%	5.0%	7.5%	2.5%	5.0%	7.5%	2.5%	5.0%	7.5%
Variación dimensional																						
Alabeo			**10**							**10**	**10**	**10**								**10**	**10**	**10**
Porcentaje de vacíos																						
Succión Absorción			**6**							**6**	**6**	**6**								**6**	**6**	**6**
Compresión Simple	**5**	**5**	**5**	**5**	**5**	**5**	**5**	**5**	**5**	**5**	**5**	**5**	**5**	**5**	**5**	**5**	**5**	**5**	**5**	**5**	**5**	**5**
Resistencia a compresión de pilas			**3p**							**3p**										**3p**		
Resistencia a compresión diagonal de muretes			**3m**							**3m**										**3m**		

Nota: Elaboración propia.

3.13.Procesamiento de datos

Esta investigación tuvo un conjunto de pasos fijos cuyo cumplimiento dio respuesta a la hipótesis planteada; estos se dividieron en fases para conseguir una eficiencia en la investigación.

PRIMERA FASE: Consistió en analizar las características de las unidades de albañilería de concreto para obtener el impacto generado durante su elaboración; esta fase tuvo algunas actividades que fueron necesarias para completar de manera satisfactoria el proceso.

- ACTIVIDAD 1: Obtención de datos teóricos, índices para la producción de ladrillos de concreto y características de la elaboración del mismo.
- ACTIVIDAD 2: Realización de tablas, cuadros y gráficos para sintetizar la información.

SEGUNDA FASE: Consistió en la destinación de los materiales que conformaron el ladrillo de concreto para obtener el grado de reemplazo de partículas de caucho reciclado y papel reciclado; esta fase tuvo algunas actividades como las siguientes:

- ACTIVIDAD 1: Definición de los materiales que conforman el ladrillo de concreto según NTP de concreto, con el fin de conocer las bases de su trabajo.
- ACTIVIDAD 2: Obtención de información sobre las propiedades de las partículas de caucho reciclado y partículas de papel reciclado; esto se realizó por medio de artículos de investigación y papers para poder destinar este reemplazo en la mezcla de concreto.
- ACTIVIDAD 3: Recolección de materiales del ladrillo de concreto, así como de las partículas de caucho reciclado y papel reciclado.

TERCERA FASE: Consistió en la fabricación de ladrillos ecológicos de concreto con partículas de caucho reciclado y papel reciclado, siguiendo la normativa de diseño de mezclas del método ACI 211, la cual otorgó una dosificación adecuada para las unidades de albañilería; esta fase se desarrolló por medio de actividades necesarias, como las siguientes:

- ACTIVIDAD 1: Determinación de bases para el adecuado diseño de dosificación de mezcla de concreto con partículas de caucho reciclado y papel reciclado.
- ACTIVIDAD 2: Elaboración de la dosificación del ladrillo ecológico de concreto a base de partículas de caucho reciclado y papel reciclado.
- ACTIVIDAD 3: Elección de la dosificación con mejor comportamiento experimental para obtener una correcta clasificación del tipo de ladrillo ecológico propuesto.

CUARTA FASE: Consistió en la aplicación de ensayos de laboratorio a los ladrillos de concreto normales y ladrillos ecológicos de concreto a base de partículas de caucho reciclado o papel reciclado, siguiendo la normativa vigente de albañilería y concreto; para esto se tuvo, un conjunto de actividades necesarias, como las siguientes:

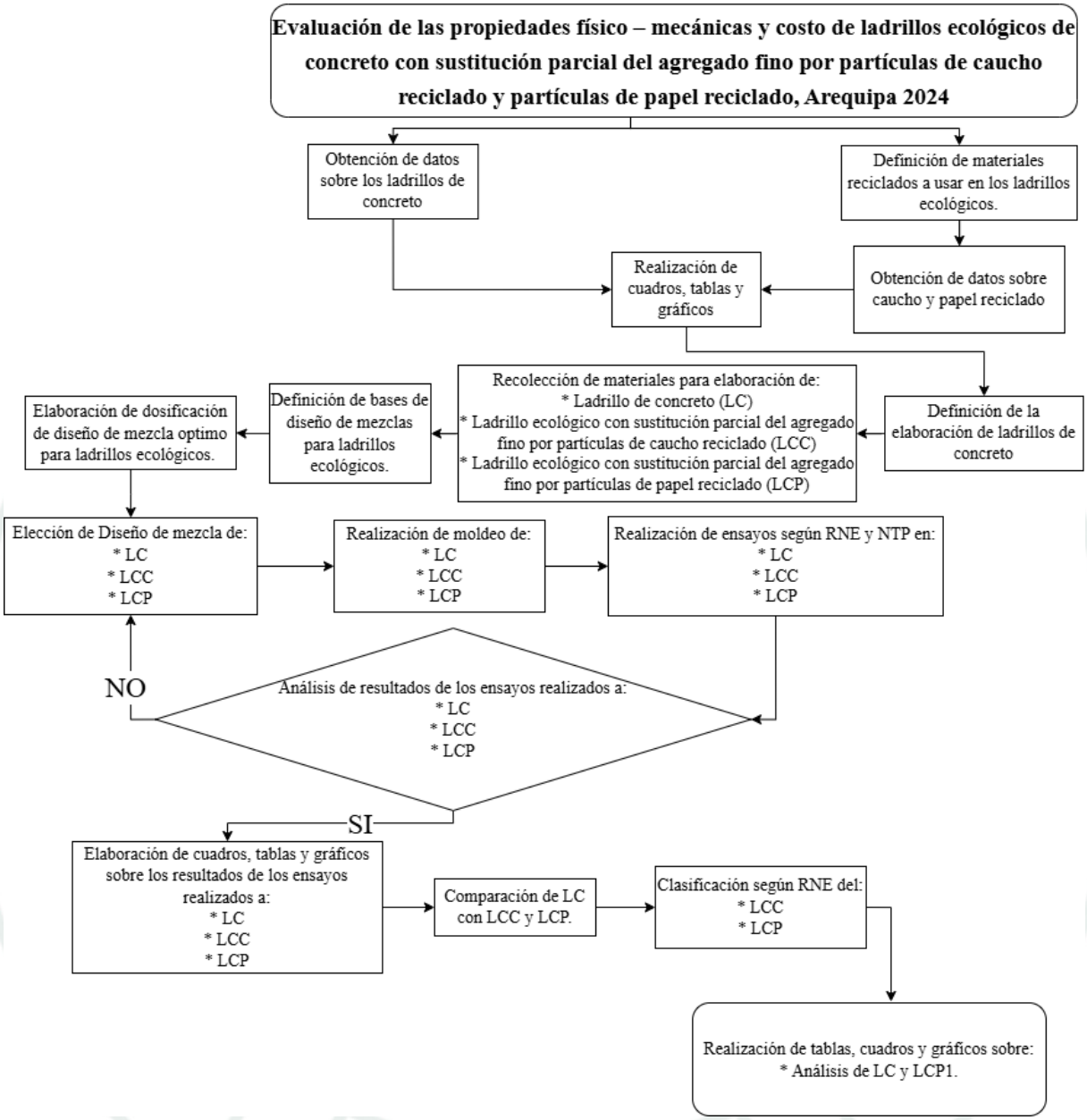
- ACTIVIDAD 1: Realización de modelos de ladrillos ecológicos con partículas de caucho reciclado y papel reciclado como reemplazo del agregado fino, así como ladrillos de concreto.
- ACTIVIDAD 2: Realización de los distintos ensayos de laboratorio siguiendo la normativa vigente de las NTP y el RNE; estos ensayos son: ensayos de resistencia a compresión, variación dimensional, absorción de unidades, succión de unidades, alabeo de unidades, porcentaje de área de vacíos de unidades, resistencia a compresión de unidades de albañilería, compresión axial de pilas y compresión diagonal de muretes.
- ACTIVIDAD 3: Análisis de resultados de los ensayos de laboratorio para evaluar su resistencia inicial, así como su clasificación según la normativa vigente.
- ACTIVIDAD 4: Elaboración de tablas, cuadros y gráficos de las propiedades obtenidas de los ensayos del ladrillo ecológico de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y partículas de papel reciclado, para obtener su rango de diferencias con respecto al ladrillo patrón de concreto realizado.

QUINTA FASE: Consistió en la realización de tablas y gráficos sobre los resultados de los ensayos que se realizaron, así como los materiales, entre otros datos sobre una comparativa de costos y análisis técnico de los resultados de los ensayos de los ladrillos; esta fase conto con actividades, las cuales fueron:

- ACTIVIDAD 1: Elaboración de modelos de fichas para el procesamiento de los datos y resultados de los distintos ensayos realizados,
- ACTIVIDAD 2: Procesamiento de los resultados obtenidos de los distintos ensayos, así como de las propuestas de ladrillo ecológico de partículas de caucho reciclado y ladrillo ecológico de papel reciclado.
- ACTIVIDAD 3: Elaboración de cuadros, gráficos y tablas comparativas para sintetizar la información y obtener los resultados de los ensayos realizados.

Se presenta a continuación, en la Figura 13, el esquema metodológico usado:

Figura 13.
Diagrama de flujo de esquema metodológico.



Nota: Elaboración propia.

Se adjunta una tabla con la información sobre los ensayos que realizaron durante la investigación, tal como se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9.

Ensayos realizados en la investigación

	Ensayo	Tipo de Ensayo	Herramienta /Equipo
Propiedades de los Componentes			
Granulometría en Agregado	Análisis Granulométrico	Manual	- Tamices
Peso Específico de agregado Grueso	Peso específico de agregado grueso	Manual	- Bandeja - Balanza sensible dentro de 0.5% de peso - Horno
Peso Específico de Agregado Fino	Densidad Relativa	Manual	- Bandeja - Matraz - Balanza sensible dentro de 0.5% de peso
Absorción del agregado	Absorción	Manual	- Bandeja - Balanza sensible dentro de 0.5% de peso - Horno
Contenido de humedad de agregado	Contenido de humedad en agregados	Manual	- Balanza sensible dentro de 0.5% de peso - Horno - Bandejas
Peso Unitario Suelto de Agregado	Peso Unitario Suelto	Manual	- Molde cilíndrico - Regla de acero graduada con división de 1.0 mm - Balanza sensible dentro de 0.5% de peso
Peso Unitario Compactado de Agregado	Peso Unitario Varillado	Manual	- Molde cilíndrico - Regla de acero graduada con división de 1.0 mm - Barra compactadora - Balanza sensible dentro de 0.5% de peso
Diseño de mezclas	Diseño de Mezclas	Manual	- Ensayos para determinar el diseño de mezclas
Propiedades del ladrillo			
Variación dimensional	Dimensionamiento	Manual	- Regla de acero graduada con división de 1.0 mm - Vernier con división de 0.4 mm - Varilla de acero con borde recto
Alabeo	Alabeo	Manual	- Regla de acero graduada con división de 1.0 mm - Cuña graduada con división de 1.0 mm de dimensiones 60 mm x 12.5 mm x 12.5 mm
Absorción	Absorción de unidades de albañilería	Manual	- Balanza sensible dentro de 0.5% de peso - Horno - Bandejas
Succión	Succión de unidades de albañilería	Manual	- Regla de acero graduada con división de 1.0 mm - Bandeja de Succión - Balanza sensible dentro de 0.5% de peso - Paños o franelas - Cronómetro
Compresión Simple	Resistencia a la compresión	Maquina	Máquina de ensayo de compresión
Resistencia a compresión axial de pilas	Determinación de la resistencia en compresión de prismas de albañilería	Maquina	Máquina de ensayo de compresión
Resistencia de compresión diagonal de muretes	compresión diagonal en muretes de albañilería	Maquina	Máquina de ensayo de compresión

Nota: Elaboración propia.

3.14. Contrastación de resultados

Se presenta la Tabla 10, en la cual se identifican los resultados con los cuales se realizó la comparación de los resultados obtenidos de los ensayos realizados a los distintos elementos.

Tabla 10.
Contrastación de resultados de ensayos a albañilería.

ELEMENTO	ENSAYO	UNIDAD	NORMATIVA	VALOR NORMATIVO MÁXIMO	VALOR NORMATIVO MÍNIMO	CLASE DE ALBAÑILERIA
LADRILLO DE CONCRETO	Variación dimensional-largo (+ 150 mm)	mm	RNE E.070 - Tabla 1	3	-3	TIPO III
	Variación dimensional-ancho (Hasta 150 mm)	mm	RNE E.070 - Tabla 1	4	-4	
	Variación dimensional-alto (Hasta 100 mm)	mm	RNE E.070 - Tabla 1	5	-5	
	Alabeo	mm	RNE E.070 - Tabla 1	6	0	
	Compresión Simple	kg/cm²	RNE E.070 - Tabla 7	130	95	
	Porcentaje de vacíos	%	RNE E.070 - Artículo 3.21	30	0	SÓLIDO
	Absorción	%	RNE E.070 - Artículo 5.5	12	0	
	Succión	g/200 cm²-min	RNE E.070 - Artículo 9	20	0	
	Resistencia a compresión de pilas	kg/cm²	RNE E.070 - Tabla 7	85	71	CONCRETO
	Resistencia a compresión diagonal de muretes	kg/cm²	RNE E.070 - Tabla 7	9.2	4.5	
LADRILLO ECOLÓGICO DE CONCRETO - PAPEL 2.5%	Variación dimensional-largo (+ 150 mm)	mm	RNE E.070 - Tabla 1	3	-3	TIPO III
	Variación dimensional-ancho (Hasta 150 mm)	mm	RNE E.070 - Tabla 1	4	-4	
	Variación dimensional-alto (Hasta 100 mm)	mm	RNE E.070 - Tabla 1	5	-5	
	Alabeo	mm	RNE E.070 - Tabla 1	6	0	
	Compresión Simple	kg/cm²	RNE E.070 - Tabla 7	130	95	
	Porcentaje de vacíos	%	RNE E.070 - Artículo 3.21	30	0	SÓLIDO
	Absorción	%	RNE E.070 - Artículo 5.5	12	0	
	Succión	g/200 cm²-min	RNE E.070 - Artículo 9	20	0	
	Resistencia a compresión de pilas	kg/cm²	RNE E.070 - Tabla 7	85	71	CONCRETO
	Resistencia a compresión diagonal de muretes	kg/cm²	RNE E.070 - Tabla 7	9.2	4.5	
LADRILLO ECOLÓGICO DE CONCRETO - CAUCHO 2.5%	Variación dimensional-largo (+ 150 mm)	mm	RNE E.070 - Tabla 1	4	-4	TIPO II
	Variación dimensional-ancho (Hasta 150 mm)	mm	RNE E.070 - Tabla 1	6	-6	
	Variación dimensional-alto (Hasta 100 mm)	mm	RNE E.070 - Tabla 1	7	-7	
	Alabeo	mm	RNE E.070 - Tabla 1	8	0	
	Compresión Simple	kg/cm²	RNE E.070 - Tabla 7	95	70	
	Porcentaje de vacíos	%	RNE E.070 - Artículo 3.21	30	0	SÓLIDO
	Absorción	%	RNE E.070 - Artículo 5.5	12	0	
	Succión	g/200 cm²-min	RNE E.070 - Artículo 9	20	0	
	Resistencia a compresión de pilas	kg/cm²	RNE E.070 - Tabla 7	85	71	CONCRETO
	Resistencia a compresión diagonal de muretes	kg/cm²	RNE E.070 - Tabla 7	9.2	4.5	

Nota: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV. PREPARACIÓN, FABRICACIÓN Y ENSAYOS DE LADRILLOS DE CONCRETO

4.1.Propiedades del agregado grueso

4.1.1. Granulometría

Es un ensayo importante para definir la distribución por tamaño de las partículas que componen los agregados por medio de un procedimiento de tamizado, según la NTP 400.012 (2021), este ensayo será importante para determinar la gradación, el módulo de fineza del agregado, así como el tamaño máximo nominal para realizar el diseño de mezclas para la elaboración de concreto.

a. Equipos y materiales: Al realizarse en laboratorio, se usaron los siguientes.

- Muestras de agregado.
- Recipientes de aluminio.
- Horno de secado a temperaturas de 110 °C ± 5 °C.
- Balanza electrónica con precisión de 0.01 g.
- Juego de tamices + tapa + fondo.

b. Procedimiento:

Se realizó el ensayo según los parámetros indicados por la NTP 400.012; se tomó una muestra de 5 kilogramos, la cual se procedió a colocar en el horno con una temperatura de 100 °C ± 5 °C para, posteriormente, mediante cuarteo, sacar una muestra de 1000 gramos, debido a que el tamaño máximo nominal era de 3/8”; luego, se ordenaron los tamices y se procedió a realizar el proceso de tamizado por medio de un tamizador mecánico por un periodo de 10 minutos; después, se realiza el pesado de la muestra retenida en cada tamiz en una balanza con precisión de ± 0.5 g, y estos mismos se colocan en la tabla de granulometría para realizar la gráfica de la curva granulométrica.

Figura 14.

Procedimiento del ensayo de granulometría en agregado grueso.



Nota: Elaboración propia.

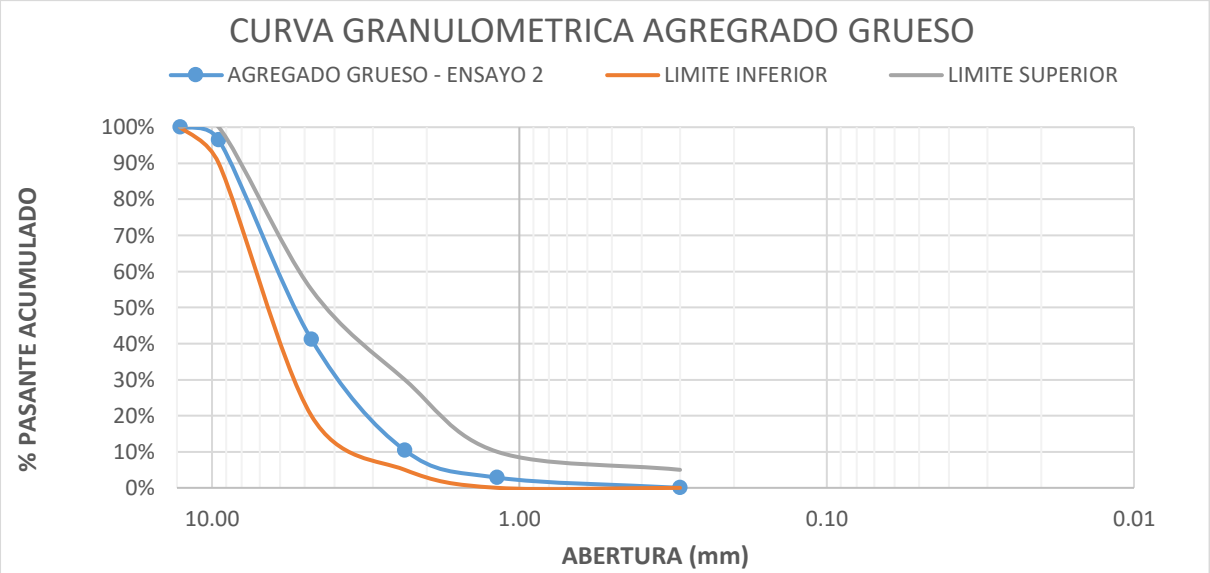
Tabla 11.

Ensayo de granulometría para el agregado grueso

PESO INICIAL DE LA MUESTRA = 1000.53 g					
Malla Nomenclatura (N°)	**Abertura (mm)**	**Peso Retenido (g)**	**Porcentaje Retenido Parcial (%)**	**Porcentaje Retenido Acumulado (%)**	**Pasante Acumulado (%)**
1/2"	12.70	0	0	0	100
3/8"	9.51	35.15	3.514508	3.515	96.485
N° 4	4.75	552.93	55.2852601	58.8	41.2
N°8	2.36	307.65	30.7606935	89.561	10.439
N°16	1.18	75.99	7.5979363	97.159	2.841
N°50	0.30	3.56	0.356	97.515	2.485
Módulo de Fineza				6.932	

Nota: Elaboración propia.

Figura 15.
Curva granulométrica del agregado grueso.



Nota: Elaboración propia.

4.1.2. Contenido de humedad

Para el caso de agregados, se denomina contenido de humedad a la cantidad de agua presente en los poros permeables de un cuerpo sólido poroso en su estado natural; asimismo, se realiza con los parámetros indicados en la NTP 399.185.

a. Equipos y materiales: Al realizarse en laboratorio, se usaron los siguientes.

- Muestras de agregado.
- Recipientes de aluminio.
- Horno de secado a temperaturas de 110 °C ± 5 °C.
- Balanza electrónica con precisión de 0.5 g.

b. Procedimiento:

Se tomó una muestra de 1500 gramos, la cual se pesó para, posteriormente, colocarla en el horno con una temperatura de 100 °C ± 5 °C; después, se realiza el pesado de la muestra en su estado seco. El contenido de humedad es calculado por la siguiente expresión:

$$W\% = \frac{W_{mh} - W_{ms}}{W_{ms}} * 100 \qquad (1)$$

Ecuación 1. Contenido de humedad de agregado grueso.

Donde:

Wmh: Peso de la muestra húmeda, en g.

Wms: Peso de la muestra seca, en g.

W%: Contenido de humedad, en %.

Figura 16.

Procedimiento del ensayo de contenido de humedad en agregado grueso.



Nota: Elaboración propia.

Tabla 12.

Ensayo de contenido de humedad para el agregado grueso

Ensayo de contenido de humedad UNIDAD	Peso de la tara g	Peso de la muestra húmeda + tara g	Peso de la muestra seca + tara g	Peso del agua evaporada g	Contenido de humedad %
ENSAYO 1	489.43	1989.29	1977.72	11.6	0.585
ENSAYO 2	486.79	1986.73	1974.98	11.8	0.595
ENSAYO 3	489.3	1989.3	1977.98	11.3	0.572
PROMEDIO	**488.51**	**1988.44**	**1976.89**	**11.57**	**0.584**

Nota: Elaboración propia.

4.1.3. Peso específico

En caso de agregados, se denomina peso específico aparente a la relación existente entre el peso al aire del sólido y el peso de agua que corresponde a su volumen aparente; asimismo, se denomina peso específico nominal a la relación existente entre el peso al aire del sólido y el peso de agua que corresponde a su volumen nominal.

a. Equipos y materiales: Al realizarse en laboratorio, se usaron los siguientes.
    - Muestras de agregado.
    - Recipientes de aluminio.
    - Horno de secado a temperaturas de 110 °C ± 5 °C.
    - Balanza electrónica con precisión de 0.5 g.
    - Termómetro.
    - Tanque de agua.
    - Canastilla para muestra.
    - Paño absorbente.
    - Cucharón.
    - Estufa de secado a temperaturas de 110 °C ± 5 °C.
    - Tamiz N°4 + fondo + tapa.
b. Procedimiento:

Se realizó el ensayo según los parámetros indicados por la norma NTP 400.021; se realiza la separación de la muestra de materiales finos por medio del tamiz N°4; luego, se coloca en el horno para obtener una muestra seca; después, se tomó una muestra de 2 kilogramos, la cual se sumerge en agua por un periodo de 24 horas para, posteriormente, retirar el excedente de agua hasta dejar la muestra en condición de saturado superficialmente seco, lo cual se obtendrá por medio de secado de paños absorbentes; después, se pesa la canastilla de muestras sumergida en agua; posteriormente, se coloca la muestra de 2 kilogramos en la

canastilla y se pesa dentro del tanque de agua; luego, se saca la muestra y se coloca en el horno para, después, pesar la muestra en estado seco.

Figura 17.

Procedimiento del ensayo de peso específico en agregado grueso.



Nota: Elaboración propia.

Tabla 13.

Ensayo de peso específico para el agregado grueso

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION	Peso de la muestra seca al horno A	Peso de la muestra saturada con superficie seca B	Peso de la muestra saturada en el agua C	Densidad Relativa OD	Densidad Relativa saturada con superficie seca SSD	Densidad relativa aparente
UNIDAD	**g**	**g**	**g/cm³**	**g/cm³**	**g/cm³**	**g/cm³**
ENSAYO 1	1928.26	2000	1186	2.37	2.46	2.60
ENSAYO 2	1927.8	2000	1189	2.38	2.47	2.61
ENSAYO 3	1927.61	2000	1191	2.38	2.47	2.62
PROMEDIO	**1927.89**	**2000.00**	**1188.67**	**2.38**	**2.47**	**2.61**

Nota: Elaboración propia.

4.1.4. Absorción

Para el caso de agregados, se denomina absorción a la capacidad de introducción de líquidos en los poros permeables de un cuerpo sólido poroso, y está relacionada con el aumento de la masa de los sólidos resultantes del ingreso del líquido a los poros permeables del sólido.

a. Equipos y materiales: Al realizarse en laboratorio, se usaron los siguientes.
   - Muestras de agregado.
   - Recipientes de aluminio.
   - Horno de secado a temperaturas de 110 °C ± 5 °C.
   - Balanza electrónica con precisión de 0.5 g.
   - Molde tronco cónico.
   - Pisón compactador.
   - Cucharón.
   - Tamiz N°4 + fondo + tapa.

b. Procedimiento:

Se realiza el ensayo según los parámetros indicados por la norma NTP 400.021; inicialmente, se separa la muestra de materiales finos por medio del tamiz N°4; después, se coloca en el horno para obtener una muestra seca; luego, se toma una muestra de 2 kilogramos, la cual se sumerge en agua por 24 horas para, después, retirar el agua hasta dejar la muestra en estado saturado superficialmente seco, lo cual se dará por medio de secado con paños absorbentes; posteriormente, se saca la muestra y se coloca en el horno; por último, se pesa la muestra en estado seco. La absorción es calculada por la siguiente expresión:

$$A\%=100*\frac{P_{SSS}-P_S}{P_S} \quad (2)$$

Ecuación 2. Absorción de agregado grueso.

Donde:

A%: Absorción de agregado, en %.

Psss: Peso saturado superficialmente seco, en g.

Ps: Peso seco, en g.

Figura 18.

Procedimiento del ensayo de absorción en agregado grueso.



Nota: Elaboración propia.

Tabla 14.

Ensayo de absorción para el agregado grueso

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION	Peso de la muestra seca al horno A	Peso de la muestra saturada con superficie seca B	Peso de la muestra saturada en el agua C	Absorción
UNIDAD	**g**	**g**	**g/cm³**	**%**
ENSAYO 1	1928.26	2000	1186	3.72
ENSAYO 2	1927.8	2000	1189	3.75
ENSAYO 3	1927.61	2000	1191	3.76
PROMEDIO	**1927.89**	**2000.00**	**1188.67**	**3.74**

Nota: Elaboración propia.

4.1.5. Peso unitario suelto

Para el caso de agregados, se utiliza los parámetros dados por la NTP 400.017; se denomina peso unitario suelto a la densidad aparente de los agregados, lo cual sirve para determinar las proporciones para la mezcla de concreto.

a. Equipos y materiales: Al realizarse en laboratorio, se usaron los siguientes.
   - Muestras de agregado.
   - Cucharón.
   - Horno de secado a temperaturas de 110 °C ± 5 °C.
   - Balanza electrónica con precisión de 0.5 g.
   - Molde cilíndrico para peso unitario de 1/10 ft^3.

b. Procedimiento:

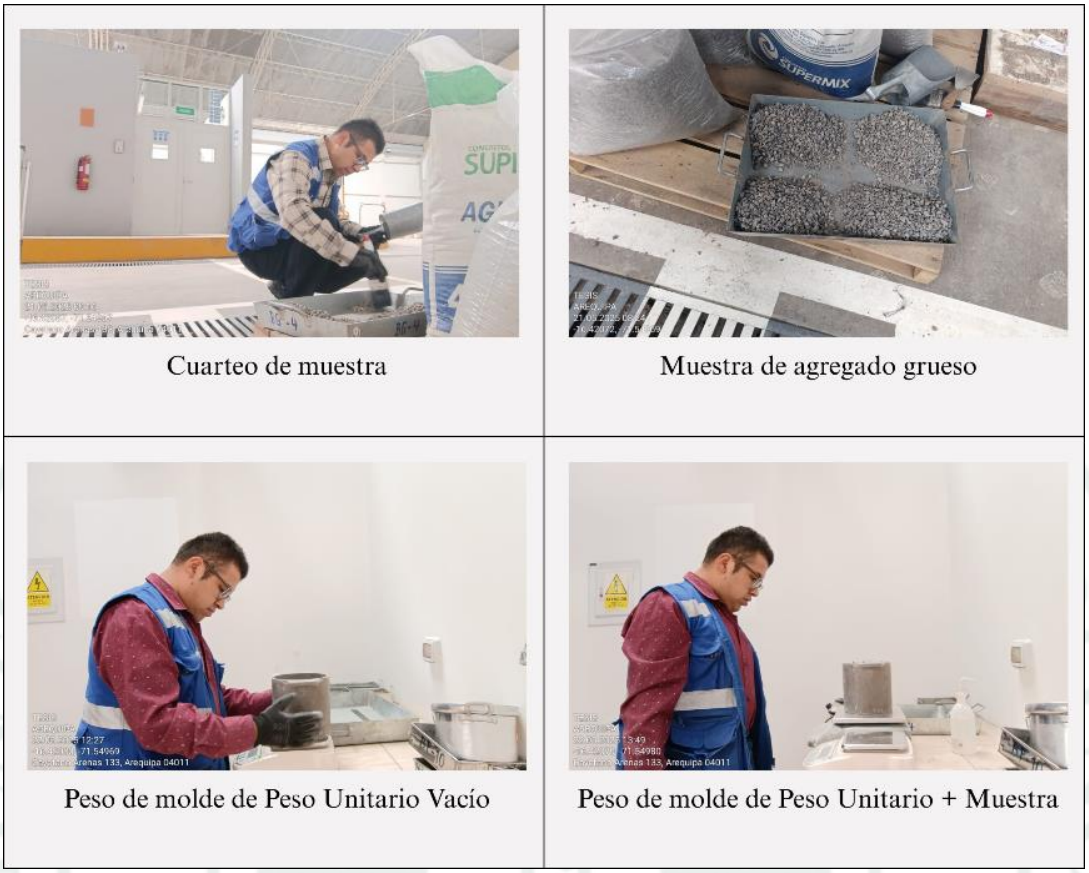
Se tomó una muestra que correspondió al 200% de la capacidad del molde de 1/10 ft^3, el cual fue de 4.5 kilogramos; esta se colocó en el horno con una temperatura de 100 °C ± 5 °C hasta tener una masa constante, lo que significó que se encontraba en estado seco; después, se obtuvo el volumen del molde cilíndrico, así como su peso sin contenido; posteriormente, se colocó la muestra en 3 capas en el molde e inmediatamente se enrasó a nivel del molde la muestra por medio de la varilla; después, se pesó el molde cilíndrico + muestra; este procedimiento se repitió para obtener un promedio. El peso unitario suelto se calculó mediante la siguiente expresión:

$$PU_{SUELTO} = \frac{P_{MOLDE+MUESTRA} - P_{MOLDE}}{V_{MOLDE}} \quad (3)$$

Ecuación 3. Peso unitario suelto de agregado grueso.

Figura 19.

Procedimiento del ensayo de peso unitario suelto en agregado grueso.



Nota: Elaboración propia.

Tabla 15.

Datos del molde 1 para el ensayo de peso unitario

VOLUMEN MOLDE 1 V	MEDIDA 1	MEDIDA 2	MEDIDA 3	MEDIDA 4	MEDIDA PROMEDIO
ALTURA (cm)	15.44	15.41	15.42	15.41	15.42
DÍAMETRO (cm)	15.31	15.32	15.3	15.3	15.3075
VOLUMEN (cm³)			2837.81		
PESO (g)			1613.65		

Nota: Elaboración propia.

Tabla 16.

Datos del molde 2 para el ensayo de peso unitario

VOLUMEN MOLDE 2 V	MEDIDA 1	MEDIDA 2	MEDIDA 3	MEDIDA 4	MEDIDA PROMEDIO
ALTURA (cm)	15.44	15.46	15.45	15.45	15.45
DÍAMETRO (cm)	15.23	15.22	15.26	15.25	15.24
VOLUMEN (cm³)			2818.31		
PESO (g)			1643.70		

Nota: Elaboración propia.

Tabla 17.

Datos del molde 3 para el ensayo de peso unitario

VOLUMEN MOLDE 3 V	MEDIDA 1	MEDIDA 2	MEDIDA 3	MEDIDA 4	MEDIDA PROMEDIO
ALTURA (cm)	15.4	15.38	15.42	15.41	15.4025
DÍAMETRO (cm)	15.27	15.3	15.25	15.25	15.2675
VOLUMEN (cm³)			2819.79		
PESO (g)			1721.07		

Nota: Elaboración propia.

Tabla 18.

Ensayo de peso unitario suelto para el agregado grueso

PESO UNITARIO SUELTO SECO	Volumen del recipiente V	Peso del recipiente T	Peso del recipiente + Agregado G	Peso del Agregado	Peso Unitario suelto con volumen de recipiente M
UNIDAD	**cm³**	**g**	**g**	**g**	**g**
ENSAYO 1	2837.81	1613.65	5147	3533.35	1.245
ENSAYO 2	2818.31	1643.7	5210	3566.30	1.265
ENSAYO 3	2819.79	1721.07	5236.5	3515.43	1.247
PROMEDIO	**2825.30**	**1659.47**	**5197.83**	**3538.36**	**1252.40**

Nota: Elaboración propia.

4.1.6. Peso unitario compactado

Para el caso de agregados, se utilizaron los parámetros dados por la NTP 400.017; se denomina peso unitario compactado a la densidad aparente de los agregados en estado compactado, la cual sirve para determinar las proporciones para la mezcla de concreto.

a. Equipos y materiales: Al realizarse en laboratorio, se usaron los siguientes.

- Muestras de agregado.
- Cucharón.
- Horno de secado a temperaturas de 110 °C ± 5 °C.
- Balanza electrónica con precisión de 0.5 g.
- Varilla de apisonado de 5/8”.
- Molde cilíndrico para peso unitario de 1/10 ft³.

b. Procedimiento:

Se tomó una muestra que correspondió al 200% de la capacidad del molde de 1/10 ft^3; el cual fue de 4.5 kilogramos; esta se colocó en el horno con una temperatura de 100 °C ± 5 °C hasta tener una masa constante, lo que significó que se encontraba en estado seco; después, se obtuvo el volumen del molde cilíndrico, así como su peso sin contenido; posteriormente, se colocó la muestra hasta un tercio de su capacidad para darle 25 golpes con la varilla de apisonado distribuidos; después, se completó la muestra hasta dos tercios del molde y se volvieron a realizar 25 golpes distribuidos; inmediatamente, se completó la muestra en el molde para dar los 25 golpes distribuidos finales; luego, se enrasó a nivel del molde la muestra por medio de la varilla; después, se pesó el molde cilíndrico + muestra; este procedimiento se repitió para obtener un promedio. El peso unitario compactado se calculó mediante la siguiente expresión:

$$PU_{COMPACTADO} = \frac{P_{MOLDE+MUESTRA} - P_{MOLDE}}{V_{MOLDE}} \quad (4)$$

Ecuación 4. Peso unitario compactado de agregado grueso.

Figura 20.

Procedimiento del ensayo de peso unitario compactado en agregado grueso.



Cuarteo de muestra | Muestra de agregado grueso

Compactación de muestra en molde cilíndrico | Peso de molde de Peso Unitario + Muestra

Nota: Elaboración propia.

Tabla 19.

Ensayo de peso unitario compactado para el agregado grueso

PESO UNITARIO SUELTO COMPACTADO-VARILLADO	Volumen del recipiente V	Peso del recipiente T	Peso del recipiente + Agregado G	Peso del Agregado	Peso unitario compactado con volumen de recipiente M
UNIDAD	**cm³**	**g**	**g**	**g**	**g**
ENSAYO 1	2837.81	1613.65	5501	3887.35	1.370
ENSAYO 2	2818.31	1643.7	5503	3859.30	1.369
ENSAYO 3	2819.79	1721.07	5664	3942.93	1.398
PROMEDIO	**2825.30**	**1659.47**	**5556**	**3896.53**	**1379.172**

Nota: Elaboración propia.

4.2.Propiedades del agregado fino

4.2.1. Granulometría

Es un ensayo importante para definir la distribución por tamaño de las partículas que componen los agregados por medio de un procedimiento de tamizado; según la Norma Técnica Peruana NTP 400.012 (2021), este ensayo permite determinar la gradación, el módulo de fineza

del agregado, así como el tamaño máximo nominal para realizar el diseño de mezclas para la elaboración de concreto.

a. Equipos y materiales: Al realizarse en laboratorio, se usaron los siguientes.
    - Muestras de agregado.
    - Recipientes de aluminio.
    - Horno de secado a temperaturas de 110 °C ± 5 °C.
    - Balanza electrónica con precisión de 0.01 g.
    - Juego de tamices + tapa + fondo.

b. Procedimiento:

Se realizó el ensayo según los parámetros indicados por la norma NTP 400.012; se tomó una muestra de 5 kilogramos, la cual se procedió a colocar en el horno con una temperatura de 100 °C ± 5 °C, para posteriormente, mediante cuarteo, sacar una muestra de 300 gramos; luego, se ordenaron los tamices y se procedió a realizar el proceso de tamizado por medio de un tamizador mecánico por un periodo de 10 minutos; después, se realizó el pesado de la muestra retenida en cada tamiz en una balanza con precisión de ± 0.01 g, y estos mismos datos se colocaron en la tabla de granulometría para realizar la gráfica de la curva granulométrica.

Figura 21.

Procedimiento del ensayo de granulometría en agregado fino.



Cuarteo de muestra

Muestra de agregado fino

Proceso de tamizado en tamizador mecánico

Peso de material retenido en tamiz

Nota: Elaboración propia.

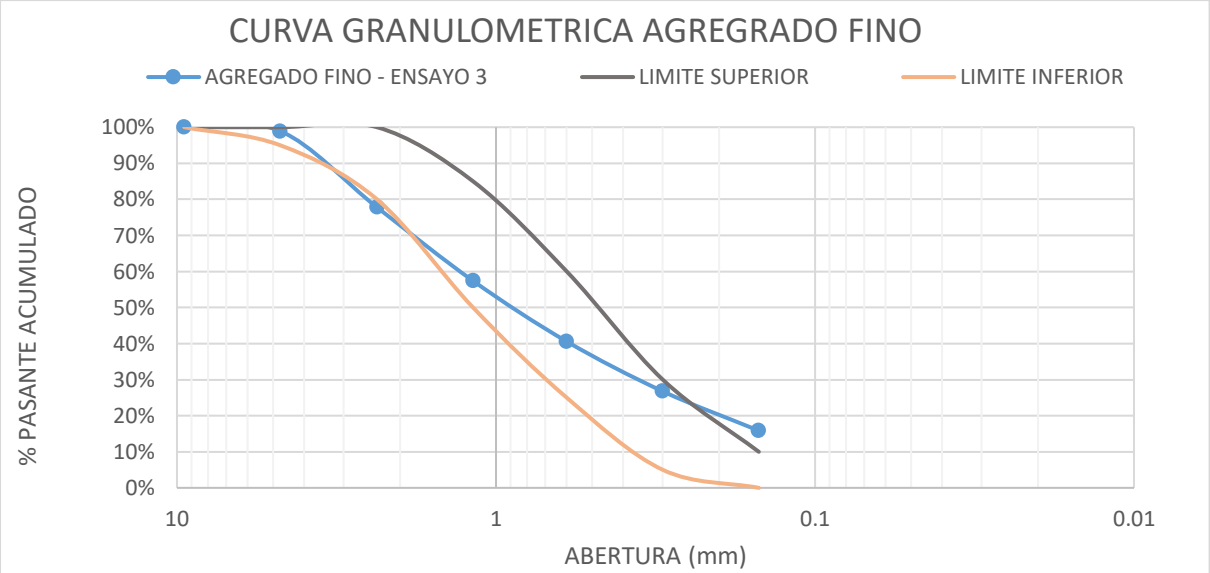
Tabla 20.

Ensayo de granulometría para el agregado fino

PESO INICIAL DE LA MUESTRA = 300.00 g					
Malla		**Peso Retenido (g)**	**Porcentaje Retenido Parcial (%)**	**Porcentaje Retenido Acumulado (%)**	**Pasante Acumulado (%)**
Nomenclatura (N°)	**Abertura (mm)**				
3/8"	9.5	0.00	0.00	0.00	100.00
4	4.75	3.24	1.08	1.08	98.92
8	2.36	63.40	21.13	22.21	77.79
16	1.18	61.19	20.40	42.61	57.39
30	0.6	50.44	16.81	59.42	40.58
50	0.3	41.45	13.82	73.24	26.76
100	0.15	32.71	10.90	84.14	15.86
Módulo de Fineza				2.827	

Nota: Elaboración propia.

Figura 22.
Curva granulométrica del agregado fino.



Nota: Elaboración propia.

4.2.2. Contenido de humedad

Para el caso de agregados, se denomina contenido de humedad a la cantidad de agua presente en los poros permeables de un cuerpo sólido poroso en su estado natural; asimismo, se realiza con los parámetros indicados en la NTP 399.185.

a. Equipos y materiales: Al realizarse en laboratorio, se usaron los siguientes.

- Muestras de agregado.
- Recipientes de aluminio.
- Horno de secado a temperaturas de 110 °C ± 5 °C.
- Balanza electrónica con precisión de 0.01 g.

b. Procedimiento:

Se tomó una muestra de 500 gramos, la cual se pesó para posteriormente colocarla en el horno con una temperatura de 100 °C ± 5 °C; después, se realizó el pesado de la muestra en su estado seco. El contenido de humedad se calculó mediante la siguiente expresión:

$$W\% = \frac{W_{mh} - W_{ms}}{W_{ms}} * 100 \qquad (5)$$

Ecuación 5. Contenido de humedad de agregado fino.

Donde:

Wmh: peso de la muestra húmeda, en g.

Wms: peso de la muestra seca, en g.

W%: Contenido de humedad, en %.

Figura 23.

Procedimiento del ensayo de contenido de humedad en agregado fino.



Nota: Elaboración propia.

Tabla 21.

Ensayo de contenido de humedad para el agregado fino

Ensayo de contenido de humedad UNIDAD	Peso de la tara g	Peso de la muestra húmeda + tara g	Peso de la muestra seca + tara g	Peso del agua evaporada g	Contenido de humedad %
ENSAYO 1	118.25	618.19	616.04	2.2	0.349
ENSAYO 2	118.51	618.54	616.46	2.1	0.337
ENSAYO 3	118.23	618.21	616.08	2.1	0.346
PROMEDIO	**118.30**	**618.30**	**616.20**	**2.10**	**0.344**

Nota: Elaboración propia.

4.2.3. Peso especifico

En caso de los agregados, se denomina peso específico aparente a la relación existente entre el peso al aire del sólido y el peso de agua que corresponde a su volumen aparente; asimismo, se denomina peso específico nominal a la relación existente entre el peso al aire del sólido y el peso de agua que corresponde a su volumen nominal.

a. Equipos y materiales: Al realizarse en laboratorio, se usaron los siguientes.
    - Muestras de agregado.
    - Recipientes de aluminio.
    - Horno de secado a temperaturas de 110 °C ± 5 °C.
    - Balanza electrónica con precisión de 0.01 g.
    - Fiola.
    - Termómetro.
    - Molde tronco cónico.
    - Pisón compactador.
    - Cucharón.
    - Estufa de secado a temperaturas de 110 °C ± 5 °C.
b. Procedimiento:

Se realizó el ensayo según los parámetros indicados por la norma NTP 400.022; se tomó una muestra de 1 kilogramo, la cual se sumerge en agua por un periodo de 24 horas para posteriormente retirar el excedente de agua hasta dejar la muestra en condición de saturado superficialmente seco, la cual se comprobó mediante el uso del molde tronco cónico y pisón compactador; después, se tomó una muestra representativa de 500 gramos y se colocó en una fiola, la cual se llenó posteriormente de agua hasta la marca; después, se rodó la fiola para eliminar el aire atrapado en el agregado; luego, se colocó en baño maría durante una hora para posteriormente dejarlo reposar; después, mediante papel absorbente o gotero se dejó el nivel

de agua hasta la marca; luego, se pesó la fiola + muestra + agua; después, se sacó la muestra de la fiola para el proceso de secado en el horno, inmediatamente se llenó la fiola con agua hasta la marca y se procedió a pesar; por último, se pesó la muestra seca.

Figura 24.

Procedimiento del ensayo de peso específico en agregado fino.



Nota: Elaboración propia.

Tabla 22.

Ensayo de peso específico para el agregado fino

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION	Peso del picnómetro vacío	Peso de la muestra seca al horno A	Peso del picnómetro llenado de agua hasta la marca de calibración B	Peso del picnómetro + muestra de arena + agua hasta límite de marca C	Peso de la muestra saturada superficialmente seca S	Densidad Relativa OD	Densidad Relativa saturada con superficie seca SSD	Densidad relativa aparente
UNIDAD	**g**	**g**	**g**	**g/cm³**	**g/cm³**	**g/cm³**	**g/cm³**	**g/cm³**
ENSAYO 1	214.73	492.52	712.29	1022.5	500	2.60	2.63	2.70
ENSAYO 2	147.79	491.94	645.79	956.62	500	2.60	2.64	2.72
ENSAYO 3	148.05	492.34	645.88	955.88	500	2.59	2.63	2.70
PROMEDIO	**170.19**	**492.27**	**667.99**	**978.33**	**500.00**	**2.60**	**2.63**	**2.71**

Nota: Elaboración propia.

4.2.4. Absorción

Para el caso de agregados, se denomina absorción a la capacidad de introducción de líquidos en los poros permeables de un cuerpo sólido poroso, y está relacionada con el aumento de la masa de los sólidos resultantes del ingreso del líquido a los poros permeables del sólido.

a. Equipos y materiales: Al realizarse en laboratorio, se usaron los siguientes.
   - Muestras de agregado.
   - Recipientes de aluminio.
   - Horno de secado a temperaturas de 110 °C ± 5 °C.
   - Balanza electrónica con precisión de 0.01 g.
   - Molde tronco cónico.
   - Pisón compactador.
   - Cucharón.
   - Tamiz N°4 + Fondo + Tapa.

b. Procedimiento:

Se realizó el ensayo según los parámetros indicados por la norma NTP 400.022; se tomó una muestra de 1 kilogramo, la cual se sumergió en agua por un periodo de 24 horas para luego retirar el agua hasta dejar la muestra en condición de saturado superficialmente seco, la cual se comprobó mediante el uso del molde tronco cónico y el pisón compactador; se inició con la colocación de una capa de un tercio de muestra y se utilizó el pisón compactador, dando 25 golpes distribuidos a lo ancho del molde; después, se colocó el segundo tercio con muestra y se volvieron a dar 25 golpes con el pisón; luego, se colocó el último tercio con muestra y se dieron los últimos 25 golpes; inmediatamente, se retiró el molde y se verificó el desplome parcial; caso contrario, se continuó el proceso de secado y se volvió a usar el procedimiento con el molde tronco cónico hasta obtener el desplome, el cual verificó el estado superficialmente seco de la muestra; posteriormente, se tomó una muestra de 500 gramos, se

colocó la muestra para secado en el horno y, finalmente, se pesó la muestra en estado seco. La absorción se calculó mediante la siguiente expresión:

$$A\%=100*\frac{P_{SSS}-P_S}{P_S} \quad (6)$$

Ecuación 6. Absorción de agregado fino.

Donde:

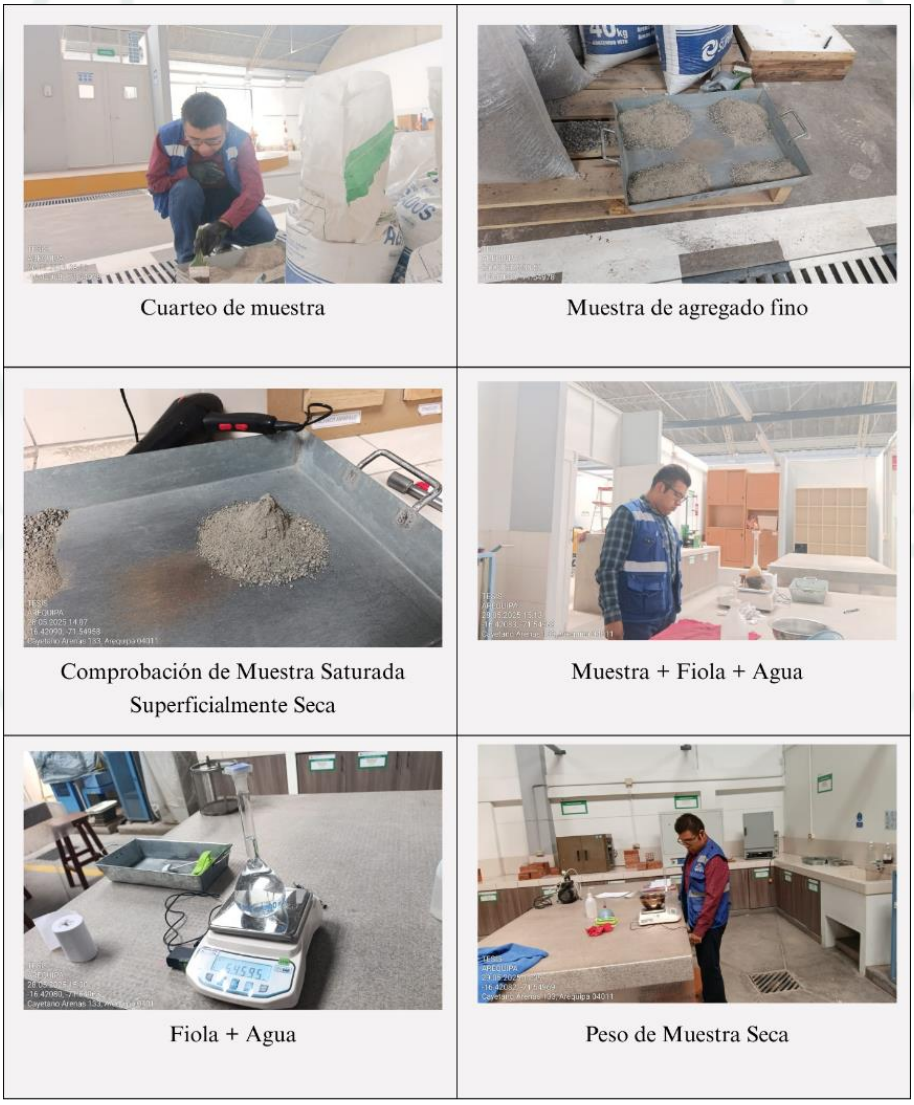
A%: Absorción de agregado, en %.

Psss: Peso saturado superficialmente seco, en g.

Ps: Peso seco, en g.

Figura 25.

Procedimiento del ensayo de absorción en agregado fino.



Nota: Elaboración propia.

Tabla 23.

Ensayo de absorción para el agregado fino

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION	Peso del picnómetro vacío	Peso de la muestra seca al horno A	Peso del picnómetro llenado de agua hasta la marca de calibración B	Peso del picnómetro + muestra de arena + agua hasta límite de marca C	Peso de la muestra saturada superficialmente seca S	Absorción
UNIDAD	**g**	**g**	**g**	**g/cm³**	**g/cm³**	**%**
ENSAYO 1	214.73	492.52	712.29	1022.5	500	1.52
ENSAYO 2	147.79	491.94	645.79	956.62	500	1.64
ENSAYO 3	148.05	492.34	645.88	955.88	500	1.56
PROMEDIO	**170.19**	**492.27**	**667.99**	**978.33**	**500.00**	**1.571**

Nota: Elaboración propia.

4.2.5. Peso unitario suelto

Para el caso de agregados, se utilizaron los parámetros dados por la NTP 400.017; se denomina peso unitario suelto a la densidad aparente de los agregados, la cual sirve para determinar las proporciones para la mezcla de concreto.

a. Equipos y materiales: Al realizarse en laboratorio, se usaron los siguientes.

- Muestras de agregado.
- Cucharón.
- Horno de secado a temperaturas de 110 °C ± 5 °C.
- Balanza electrónica con precisión de 0.5 g.
- Molde cilíndrico para peso unitario de 1/10 ft³.

b. Procedimiento:

Se toma una muestra que correspondió al 200% de la capacidad del molde de 1/10 ft³, el cual fue de 4 kilogramos, esta se colocó en el horno con una temperatura de 100 °C ± 5 °C hasta tener una masa constante, lo que significó que se encontraba en estado seco; después, se obtuvo el volumen del molde cilíndrico, así como su peso sin contenido; posteriormente, se coloca la muestra en 3 capas en el molde e inmediatamente se enrasó a nivel del molde la muestra por medio de la varilla; después, se pesó el molde cilíndrico + muestra, este

procedimiento se repitió para obtener un promedio. El peso unitario suelto se calculó mediante la siguiente expresión:

$$PU_{SUELTO}=\frac{P_{MOLDE+MUESTRA}-P_{MOLDE}}{V_{MOLDE}} \quad (7)$$

Ecuación 7. Peso unitario suelto de agregado fino.

Figura 26.

Procedimiento del ensayo de peso unitario suelto en agregado fino.



Nota: Elaboración propia.

Tabla 24.

Ensayo de peso unitario suelto para el agregado fino

PESO UNITARIO SUELTO SECO	Volumen del recipiente V	Peso del recipiente T	Peso del recipiente + Agregado G	Peso del Agregado	Peso Unitario suelto con volumen de recipiente M
UNIDAD	**cm³**	**g**	**g**	**g**	**g/cm³**
ENSAYO 1	2810.459881	1643.6	6630.5	4986.90	1.774
ENSAYO 2	2847.563141	1643.46	6738.5	5095.04	1.789
ENSAYO 3	2819.791234	1721.25	6725	5003.75	1.775
PROMEDIO	**2825.94**	**1669.44**	**6698**	**5028.56**	**1.779**

Nota: Elaboración propia.

4.2.6. Peso unitario compactado

Para el caso de agregados, se utilizaron los parámetros dados por la NTP 400.017; se denomina peso unitario compactado a la densidad aparente de los agregados en estado compactado, la cual sirve para determinar las proporciones para la mezcla de concreto.

a. Equipos y materiales: Al realizarse en laboratorio se usaron los siguientes.
   - Muestras de agregado.
   - Cucharón.
   - Horno de secado a temperaturas de 110 °C ± 5 °C.
   - Balanza electrónica con precisión de 0.5 g.
   - Varilla de apisonado de 5/8".
   - Molde cilíndrico para peso unitario de 1/10 ft^3.

b. Procedimiento:

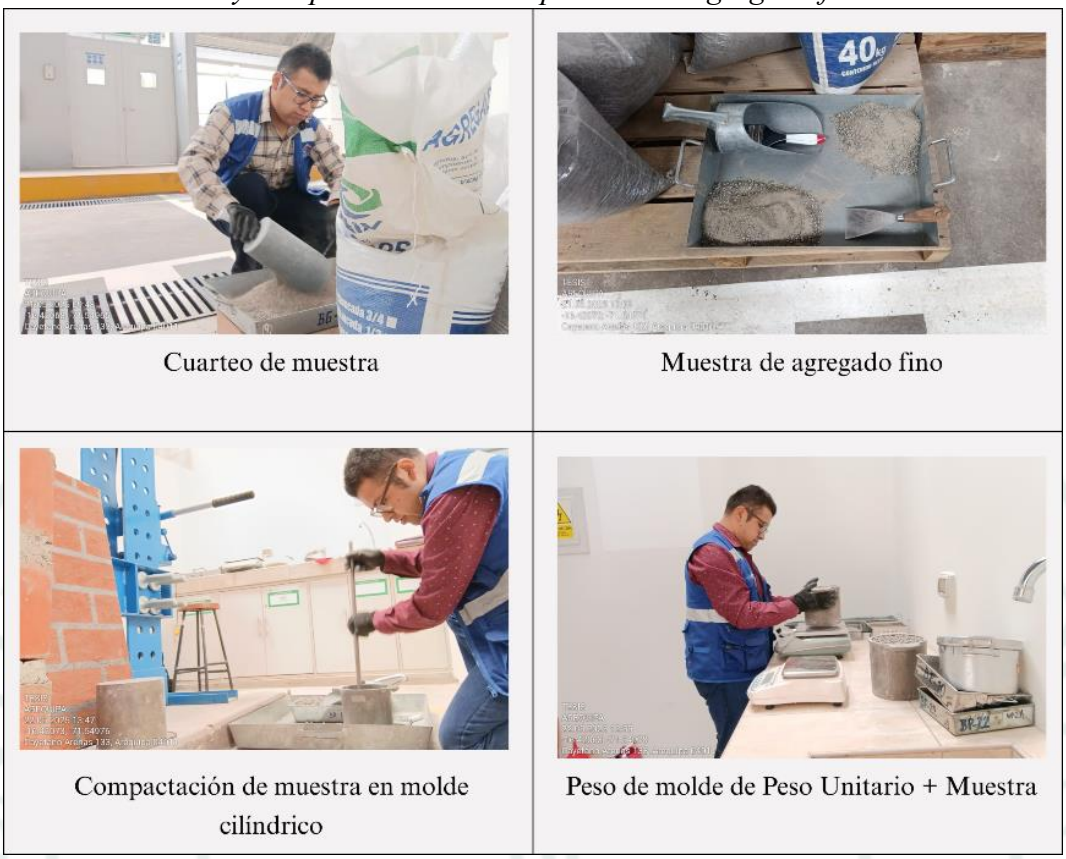
Se tomó una muestra que correspondió al 200% de la capacidad del molde de 1/10 ft^3, el cual fue de 4 kilogramos, esta se coloca en el horno con una temperatura de 100 °C ± 5 °C hasta tener una masa constante, lo que significó que se encontraba en estado seco; después, se obtuvo el volumen del molde cilíndrico, así como su peso sin contenido; posteriormente, se coloca la muestra hasta un tercio de su capacidad para darle 25 golpes con la varilla de apisonado distribuidos; después, se completó la muestra hasta dos tercios del molde y se volvieron a realizar 25 golpes distribuidos; inmediatamente, se completó la muestra en el molde para dar los 25 golpes distribuidos finales; luego, se enrasó a nivel del molde la muestra por medio de la varilla; después, se pesó el molde cilíndrico + muestra, este procedimiento se repitió para obtener un promedio. El peso unitario compactado es calculado mediante la siguiente expresión:

$$PU_{COMPACTADO} = \frac{P_{MOLDE+MUESTRA} - P_{MOLDE}}{V_{MOLDE}} \quad (8)$$

Ecuación 8. Ecuación peso unitario compactado de agregado fino.

Figura 27.

Procedimiento del ensayo de peso unitario compactado en agregado fino.



Nota: Elaboración propia.

Tabla 25.

Ensayo de peso unitario compactado para el agregado fino

PESO UNITARIO SUELTO COMPACTADO-VARILLADO	Volumen del recipiente V	Peso del recipiente T	Peso del recipiente + Agregado G	Peso del Agregado	Peso unitario compactado con volumen de recipiente M
UNIDAD	**cm³**	**g**	**g**	**g**	**g**
ENSAYO 1	2810.459881	1643.6	7036.5	5392.90	1.919
ENSAYO 2	2847.563141	1643.46	7127.5	5484.04	1.926
ENSAYO 3	2819.791234	1721.25	7145.5	5424.25	1.924
PROMEDIO	**2825.94**	**1669.44**	**7103.17**	**5433.73**	**1.923**

Nota: Elaboración propia.

4.2.7. Detección de arcillas nocivas

Se realizó este ensayo debido a que el contenido de finos fue ligeramente superior al límite máximo que indicó la granulometría respaldada por el NTP 400.012; fue importante realizar este ensayo para descartar la presencia de arcillas nocivas que pudieran generar

variaciones sustanciales al momento de realizar el diseño de mezclas para las muestras experimentales; este ensayo se basó en lo indicado por la NTP 239.401.

a. Equipos y materiales: Al realizarse en laboratorio, se usaron los siguientes.

- Muestra de agregado pasante malla N°200.
- Espátula.
- Soporte Universal.
- Bureta color ámbar de 50 ml con gradaciones de 0.1 Ml.
- Pipeta.
- Horno de secado a temperaturas de 110 °C ± 5 °C.
- Matraz volumétrico de 1000 mL.
- Vasos de precipitado de 500 mL.
- Agitador magnético.
- Papel filtro N°2.
- Varilla de vidrio de 8 mm.
- Balanza electrónica de 1 kg con precisión de 0.01g.
- Azul de metileno.
- Agua destilada.
- Cronómetro.

b. Procedimiento:

- Se realizó un proceso de lavado del agregado fino para obtener la porción pasante de la malla N° 200; de la cual se obtuvo una muestra de 50 g que fue colocada en el horno hasta obtener una masa constante.
- Se tomaron 10 g de material pasante de malla N°200 seco, los cuales se colocaron en el vaso de precipitado; posteriormente, se adicionaron 30 mL de agua destilada, y la mezcla se agitó con el agitador magnético hasta obtener una lechada.

- Se colocó en un vaso de precipitado 1 g de azul de metileno; posteriormente, se adicionó agua destilada hasta obtener 200 mL, y la mezcla se agitó para obtener una solución de azul de metileno con concentración de 5 mg de azul de metileno, que luego se colocó en la bureta.
- Se adicionaron 0.5 mL de solución de azul de metileno en la lechada obtenida; posteriormente, se agitó durante 1 min.
- Se utilizó la varilla de vidrio para sacar una gota de la lechada suspendida que se dejó caer en el papel filtro; este proceso de adicionar 0.5 mL de solución, agitar por 1 min y dejar caer en el papel filtro se repitió hasta obtener la formación de un halo azul claro alrededor de la gota.
- Una vez obtenida en la prueba la formación de ese halo azul, se procedió a realizar una agitación por 5 min y se volvió a dejar caer la gota en el papel filtro para corroborar.

$$M=0.5*T \quad (9)$$

Ecuación 9. Ecuación de azul de metileno para agregado fino.

Donde:

M: Valor de azul de metileno, en mg.

T: Solución de azul metileno requerido para la titulación, en mL.

Figura 28.

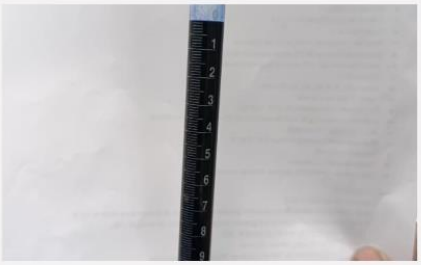
Ensayo de detección de arcillas nocivas en agregado fino.



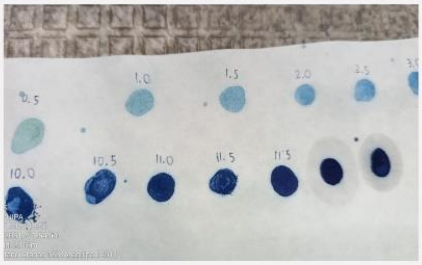
Peso de 10g de material pasante malla N°200



Agitacion para lechada



Colocacion en bureta para solucion de azul de metileno



Colocacion de gotas en papel filtro

Nota: Elaboración propia.

4.3.Diseño de mezclas

4.3.1. Diseño de mezclas

Se tomó como referencia los parámetros entregados por el American Concrete Institute (ACI,2011), por medio de un proceso experimental, tomando en cuenta los resultados obtenidos de los ensayos realizados a los agregados que componían la mezcla, con lo cual se obtuvieron resultados óptimos.

Tabla 26.

Datos de materiales a usar en la dosificación de mezcla

Datos	Unidad	A. Fino	A. Grueso	Cemento
Módulo de Fineza	-	2.83	6.95	-
Contenido de Humedad	%	0.35	0.60	-
Absorción	%	1.64	3.78	-
Densidad Relativa (OD)	g/cm³	2.57	2.40	2.79
Densidad Relativa Saturada con superficie seca (SSD)	g/cm³	2.61	2.49	-
Densidad Relativa Aparente	g/cm³	2.68	2.64	-
Peso Unitario Suelto Seco	g/cm³	1.78	1.25	-
Peso Unitario Suelto Compactado	g/cm³	1.92	1.38	-

Nota: Elaboración propia.

Se usó como base una resistencia de 175 kg/cm² debido a que el RNE nos solicitaba una resistencia de 130 kg/cm²; asimismo, se usó como aglomerante el cemento Yura Max, el agregado grueso usado fue el confitillo de 3/8", el agregado fino fue la arena gruesa, partículas de papel reciclado y partículas de caucho reciclado, estos dos últimos se tomaron como un porcentaje de reemplazo del agregado fino.

a. Establecer la resistencia a la compresión promedio

Para realizar la elección de la resistencia determinada, se tomaron en cuenta las tablas indicadas por el método ACI para diseño sin tener en cuenta registros previos de resultados de ensayos realizados, debido a que no se contaba con otros datos para realizar el cálculo de la desviación estándar para la mezcla.

Tabla 27.

Resistencia a la compresión promedio

f'_c	f'_{cr}
Menos de 210	f'c + 70
210 a 350	f'c + 84
Sobre 350	f'c + 98

Nota: Tabla de resistencia a la compresión promedio sin tener datos para cálculo de desviación estándar, adaptado de (ACI 211.1-22, 2022).

Para la presente investigación se usó una resistencia de 175 kg/cm² para la elaboración de los ladrillos, por lo cual se tomó una resistencia a la compresión promedio de 245 kg/cm².

b. Selección de asentamiento

Este se seleccionó de manera inicial para el proceso de diseño de mezclas y se comprobó por medio de la prueba con el cono de Abrams, para obtener una consistencia que permitiera realizar el desmolde rápido y mantener trabajabilidad al momento de colocar la mezcla en los moldes.

Tabla 28.

Recomendaciones de slump para varios tipos de construcciones

Tipo de Construcción	Máxima	Mínima
Zapatas y muros de cimentación armados	3"	1"
Cimentaciones simples, cajones y subestructuras de muros	3"	1"
Vigas y muros armados	4"	1"
Columnas de edificios	4"	1"
Losas y Pavimentos	3"	1"
Concreto Ciclópeo	2"	1"

Nota: Tabla de recomendaciones de Slump para varias clases de construcciones, adaptado de (ACI 211.1-22, 2022).

Para elaborar los ladrillos se usó un Slump de 2", debido a que se realizó el desmolde de las muestras después del proceso de varillado y vibrado, por lo cual se requirió que las dimensiones se mantuvieran con la mayor uniformidad posible.

c. Selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso

Esta fue una característica importante, debido a que esta misma condicionó toda la cantidad de materiales que se requirió con respecto a la relación agua/cemento; para este trabajo de investigación se seleccionó confitillo de 3/8", debido a que se requirió que la mezcla ingrese a moldes de tamaño de ladrillo sin dejar espacios visibles, lo cual proporcionó uniformidad a las muestras de ladrillo desarrolladas; esto mismo contribuyó al logro de una mezcla homogénea y resistente; después de realizar el proceso de granulometría al agregado se comprobó que el tamaño máximo nominal (TMN) fue de 3/8".

d. Estimación de contenido de aire atrapado

Este proceso se realizó tomando en cuenta las recomendaciones dadas por la norma ACI 211.1, para lo cual fue necesario tener el tamaño máximo nominal determinado.

Tabla 29.

Valores recomendados de estimación del contenido de aire

Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso	Aire atrapado
3/8”	3.0%
½”	2.5%
¾”	2.0%
1”	1.5%
1 ½	1.0%
2”	0.5%
3”	0.3%
4”	0.2%

Nota: Tabla de recomendaciones de Contenido de Aire según TMN, adaptado de (ACI 211.1-22, 2022).

Para la presente investigación debido a que se usó confitillo de 3/8”, el aire atrapado fue de 3%.

e. Estimación de contenido de agua

Este paso se realizó por medio de la identificación del tipo de agregado grueso usado, siendo de tipo angular o redondeado, además de tener en cuenta el asentamiento escogido, si se incorporó o no aire, así como el TMN del agregado.

Tabla 30.

Requisitos aproximados de agua de mezcla

Agua en L/m³, para los tamaños máx. nominales de agregado grueso y consistencia indicada									
Asentamiento		**3/8**	**1/2**	**3/4**	**1**	**1 1/2**	**2**	**3**	**6**
Concreto sin aire incorporado									
1	**2**	207	199	190	179	166	154	130	113
3	**4**	228	216	205	193	181	169	145	124
6	**7**	243	228	216	202	190	178	160	
Concreto con aire incorporado									
1	**2**	181	175	168	160	150	142	122	107
3	**4**	202	193	184	175	165	157	133	119
6	**7**	216	205	197	184	174	166	154	

Nota: Tabla de recomendaciones de agua de mezcla según asentamiento, aire incorporado y TMN, adaptado de (ACI 211.1-22, 2022).

Para la presente investigación se usó confitillo con TMN de 3/8” con un asentamiento de 2”, la cantidad de agua aproximada usada fue de 207 L/m³.

f. Relación agua/cemento

Es uno de los pasos más importantes que se tuvo en cuenta para realizar el diseño de mezcla, fue la relación agua/cemento (a/c), debido a que esta propiedad influyó en la resistencia, durabilidad, impermeabilidad y acabado; según las recomendaciones dadas por el ACI 211.1, se estimó una relación a/c con respecto a la resistencia a la compresión promedio.

Tabla 31.
Relación agua / cemento

f'c (kg/cm²)	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	
450	0.38	

Nota: Tabla de recomendaciones de relación agua/cemento con respecto a la resistencia a la compresión, adaptado de (ACI 211.1-22, 2022).

Para la presente investigación se tuvo una resistencia f'cr de 245 kg/cm² por lo cual se estimó la relación agua/cemento entre las resistencias de 200 kg/cm² y 250 kg/cm², por medio de la siguiente interpolación:

$$\frac{a}{c} \rightarrow \frac{250\text{-}245}{0.62\text{-}x} = \frac{250\text{-}200}{0.62\text{-}0.7}$$

$$\frac{a}{c} = 0.628$$

La relación agua/cemento obtenido fue de 0.628 como resultado de la interpolación.

g. Cálculo del contenido de cemento

Una vez determinada la estimación del contenido de agua y obtenido la relación agua/cemento, se realizó la determinación del contenido de cemento por m³ de concreto, de la forma siguiente:

$$C = \frac{A}{(a/c)} \quad (10)$$

Ecuación 10. Ecuación de contenido de cemento para diseño de mezclas.

Donde:

C: Contenido de Cemento, en kg/m³.

A: Contenido de Agua de mezcla, en kg/m³.

a/c: Relación agua/cemento, por peso.

$$C=\frac{207}{0.628}$$

$$C=329.618 \text{ kg/m}^3$$

Tabla 32.

Cálculo de contenido de cemento en kg y bolsas

Agua requerida	207
a/c	0.628
Contenido de cemento en kg	329.618
Contenido de cemento en bolsas	7.76

Nota: Elaboración propia.

Se determinó que la cantidad de cemento necesaria para 1 m³ de concreto fue de 329.618 kg/m³ o 7.76 bolsas.

h. Estimación del peso de agregado grueso

Este proceso se realizó tomando en cuenta las recomendaciones dadas por la norma ACI 211.1, para lo cual fue necesario tener el TMN y módulo de fineza del agregado, para obtener un valor de la tabla de b/bo, el cual posteriormente se multiplicó por el peso unitario compactado del agregado grueso.

Tabla 33.

Volumen de agregado grueso seco compactado

Tamaño máximo nominal del agregado grueso	**Volumen de agregado grueso seco, compactado por unidad de volumen de concreto para diversos módulos de fineza**			
	2.4	**2.6**	**2.8**	**3**
3/8	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4	0.66	0.64	0.62	0.60
1	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2	0.76	0.74	0.72	0.70
2	0.78	0.76	0.74	0.72
3	0.81	0.79	0.77	0.75
6	0.87	0.85	0.83	0.81

Nota: Tabla de recomendaciones de volumen de agregado grueso seco compactado por unidad de volumen de concreto, adaptado de (ACI 211.1-22, 2022).

Debido a que el módulo de fineza no se encontraba en la tabla se realizó el proceso de interpolación para obtener el valor del volumen compactado de agregado grueso con respecto a la unidad de volumen de concreto (b/bo).

$$\frac{b}{b_0} \rightarrow \frac{3\text{-}2.825}{0.44\text{-}x} = \frac{3\text{-}2.8}{0.44\text{-}0.46}$$

$$\frac{b}{b_0} = 0.4575$$

Para hallar el peso del agregado grueso se realizó la multiplicación de "b/bo" por el peso unitario compactado del agregado grueso, como se detalla a continuación:

$$\text{Peso Agregado Grueso} = 0.4575 * 1379.172$$

$$\text{Peso Agregado Grueso} = 630.971 \text{ kg/m}^3$$

i. Volumen total

Se procedió a estimar el volumen absoluto para, por medio de este, determinar el volumen del agregado fino, así como su peso; esto se realizó por medio de la diferencia del volumen absoluto con respecto a los volúmenes ya obtenidos.

Tabla 34.

Obtención de volumen total de agregado grueso, cemento, agua y aire

Datos	Cemento	Agregado Grueso	Agua	Aire
Peso (kg)	329.618	630.971	207	3%
Conversión	$\frac{329.618 \text{ kg}}{2790 \text{ kg/m}^3}$	$\frac{630.971 \text{ kg}}{2398.195 \text{ kg/m}^3}$	$\frac{207 \text{ kg}}{1000 \text{ kg/m}^3}$	$\frac{3}{100}$
Volumen	0.118	0.263	0.207	0.03
Volumen total: 0.618				

Nota: Elaboración propia.

j. Peso del agregado fino

Se procedió a estimar el volumen de agregado fino por medio de la diferencia del volumen de concreto con respecto a los volúmenes previamente obtenidos.

$$V_{Agregado\ Fino}=V_{absoluto}-V_{total}$$
$$V_{Agregado\ Fino}=1-0.618$$
$$V_{Agregado\ Fino}=0.382\ m^3$$

Con lo cual se obtuvo un volumen de 0.382 m³; después se procedió a realizar la multiplicación de este valor por el peso específico, para obtener su peso.

$$Peso\ Agregado\ Fino=0.382*2569.173$$
$$Peso\ Agregado\ Fino=980.794\ kg/m^3$$

k. Diseño de estado Seco

Una vez obtenidos los pesos de los componentes del concreto, se obtuvo un diseño de mezcla en estado seco.

Tabla 35.
Diseño de mezcla en estado seco

f'c = 175 kg/cm²	**Peso (kg)**	**Volumen (m³)**
Cemento	329.618	0.118
Agregado Grueso	630.971	0.263
Agregado Fino	980.794	0.382
Agua	207	0.207

Nota: Elaboración propia.

l. Corrección por Humedad

Según criterios normales, se realizó una corrección de la humedad para el diseño de mezcla debido a que los agregados presentaron porosidad, la cual afectó la cantidad de agua necesaria para un buen diseño de mezcla; sumado a ello, hasta el presente paso se trabajó con datos de peso seco de agregados, por lo cual fue necesario realizar el ajuste por la humedad presente en estado natural de los agregados, por medio de la siguiente fórmula:

$$Ph=Ps\left[\frac{1+h}{100}\right] \quad (11)$$

Ecuación 11. Ecuación de ajuste por humedad de agregados para diseño de mezclas.

Donde:

Ph: Peso húmedo del agregado, en kg.

Ps: Peso del agregado en estado seco, en kg.

h: Porcentaje de humedad del agregado, en %.

Tabla 36.
Calculo de corrección por humedad en agregados.

f'c = 175 kg/cm²	kg
Agregado Grueso	$\text{Ph} = 630.971 * \left(1 + \frac{0.60}{100}\right)$ $\text{Ph} = 634.751\ \text{kg}$
Agregado Fino	$\text{Ph} = 980.794 * \left(1 + \frac{0.35}{100}\right)$ $\text{Ph} = 984.223\ \text{kg}$

Nota: Elaboración propia.

m. Ajuste de agua por mezcla de prueba

Debido a que los agregados a usar presentaron contenido de humedad y absorción, fue necesario realizar la corrección de aporte de agua para una mezcla óptima; esta misma pudo ser sobrante o faltante; el ajuste se realizó mediante la siguiente fórmula:

$$A = \frac{Ps(H\text{-}CA)}{100} \quad (12)$$

Ecuación 12. Ecuación de ajuste de agua para diseño de mezclas.

Donde:

A: Agua en exceso o defecto respecto de la condición SSS.

Ps: Peso seco del agregado.

H: humedad del agregado.

CA: Absorción del agregado.

Tabla 37.

Cálculo de agua en la mezcla

f'c = 175 kg/cm²	**kg**
Agregado Grueso	$A = \frac{630.971 * (0.6 - 3.78)}{100}$ $A = -20.064$
Agregado Fino	$A = \frac{980.794 * (0.35 - 1.64)}{100}$ $A = -12.688$
Sumatoria Total	$A = -32.753$

Nota: Elaboración propia.

Tabla 38.

Cálculo de agua efectiva

Agua Efectiva	$A = 207 - (-32.753)$ $A = 239.753\ L$

Nota: Elaboración propia.

n. Diseño en estado corregido por humedad

Una vez obtenidos en peso los componentes del concreto y realizadas las correcciones de agua respectivas, se obtuvo un diseño de mezcla en estado corregido por humedad.

Tabla 39.

Diseño de mezcla en estado corregido por humedad para dosificación

Componente	**Peso kg**	**Fórmula**	**Volumen m³**
Cemento	329.618	329.618/42.5	7.756
Agregado Fino	984.223	1984.223/2569.173	0.383
Agregado Grueso	634.751	634.751/2398.195	0.265
Agua efectiva	239.753	239.753/1000	0.24
Relación a/c		0.73	

Nota: Elaboración propia.

Con lo obtenido se procedió a realizar el diseño de dosificación para m³ de concreto.

Tabla 40.

Diseño de dosificación para m³ de concreto

Resistencia f'c =175 kg/cm²		
Componente	**Peso kg**	**Volumen m³**
Cemento	329.618	7.756
Agregado Fino	984.223	0.383
Agregado Grueso	634.751	0.265
Agua Efectiva	239.753	0.240
Relación a/c	0.73	
Dosificación	1 : 2.99 : 1.93	
Agua	30.91 L/bolsa	

Nota: Elaboración propia.

o. Ensayo de resistencia a la compresión de probetas de concreto

Después de acudir al laboratorio para realizar el diseño de mezclas, se procedió a vaciar y colocar la mezcla en moldes cilíndricos para obtener las probetas para realizar la comprobación del slump por medio del ensayo de cono de Abrams, así como la comprobación de las resistencias del concreto patrón a los 7, 14 y 28 días, cuyos resultados se muestran:

Tabla 41.

Resistencias de probetas con f'c = 175 kg/cm² elaboradas en laboratorio

Resistencia→ f'c = 175 kg/cm²	**7 días**	**14 días**	**28 días**
Resistencia Promedio (f'b)	142.633	168.029	201.482
Desviación Estándar (σ)	1.69	1.54	1.04
Coeficiente de Variación	1.19	0.92	0.52

Nota: Elaboración propia.

4.3.2. Diseño de mezcla de ladrillo de concreto

Se utilizó el diseño de mezclas del acápite anterior, sin modificaciones, debido a que se utilizó este diseño para las muestras de ladrillo patrón, sin modificaciones, para tener un punto de referencia de los cambios que ocurrieron con respecto al ladrillo normal, tal como se muestra:

Tabla 42.
Dosificación m³ para ladrillo de concreto patrón.

Componente	Ladrillo de concreto patrón Peso kg	Volumen m³
Cemento	329.618	7.756
Agregado Fino	984.223	0.383
Agregado Grueso	634.751	0.265
Agua Efectiva	239.753	0.240
Relación a/c	0.73	
Dosificación	1 : 2.99 : 1.93	
Agua	30.91 L/bolsa	

Nota: Elaboración propia.

4.3.3. Diseño de mezcla de ladrillo de concreto con partículas de caucho

Se realizó el proceso de sustitución porcentual con respecto al agregado fino, debido a que los gránulos de partículas de caucho, eran relativamente pequeños, lo cual generó distintas dosificaciones para distintos porcentajes de reemplazo; tal como se muestra.

Tabla 43.
Dosificación m³ para ladrillo ecológico de concreto - caucho 2.5%.

Componente	Ladrillo ecológico de concreto - caucho 2.5% Peso kg	Volumen m³
Cemento	329.618	7.756
Agregado Fino	959.617	0.374
Agregado Grueso	634.751	0.265
Agua efectiva	239.753	0.240
Caucho reciclado	24.606	0.010
Relación a/c	0.73	
Dosificación	1 : 2.91 : 1.93 : 0.07	
Agua	30.91 L/bolsa	

Nota: Elaboración propia.

Tabla 44.

Dosificación m³ para ladrillo ecológico de concreto - caucho 5%.

Ladrillo ecológico de concreto - caucho 5%		
Componente	**Peso kg**	**Volumen m³**
Cemento	329.618	7.756
Agregado Fino	935.011	0.364
Agregado Grueso	634.751	0.265
Agua efectiva	239.753	0.240
Caucho reciclado	49.211	0.020
Relación a/c	0.73	
Dosificación	1 : 2.84 : 1.93 : 0.15	
Agua	30.91 L/bolsa	

Nota: Elaboración propia.

Tabla 45.

Dosificación m³ para ladrillo ecológico de concreto - caucho 7.5%.

Ladrillo ecológico de concreto - caucho 7.5%		
Componente	**Peso kg**	**Volumen m³**
Cemento	329.618	7.756
Agregado Fino	910.406	0.354
Agregado Grueso	634.751	0.265
Agua efectiva	239.753	0.240
Caucho reciclado	73.817	0.029
Relación a/c	0.73	
Dosificación	1 : 2.76 : 1.93 : 0.22	
Agua	30.91 L/bolsa	

Nota: Elaboración propia.

4.3.4. Diseño de mezcla de ladrillo de concreto con papel

Se realizó el proceso de sustitución porcentual con respecto al agregado fino, debido a que los tamaños del papel eran relativamente pequeños, lo cual generó distintas dosificaciones para distintos porcentajes de reemplazo, tal como se muestra.

Tabla 46.

Dosificación m³ para ladrillo ecológico de concreto - papel 2.5%.

Ladrillo ecológico de concreto - papel 2.5%		
Componente	**Peso kg**	**Volumen m³**
Cemento	329.618	7.756
Agregado Fino	959.617	0.374
Agregado Grueso	634.751	0.265
Agua efectiva	239.753	0.240
Papel reciclado	24.606	0.010
Relación a/c	0.73	
Dosificación	1 : 2.91 : 1.93 : 0.07	
Agua	30.91 L/bolsa	

Nota: Elaboración propia.

Tabla 47.

Dosificación m³ para ladrillo ecológico de concreto - papel 5%.

Ladrillo ecológico de concreto - papel 5%		
Componente	**Peso kg**	**Volumen m³**
Cemento	329.618	7.756
Agregado Fino	935.011	0.364
Agregado Grueso	634.751	0.265
Agua efectiva	239.753	0.240
Papel reciclado	49.211	0.020
Relación a/c	0.73	
Dosificación	1 : 2.84 : 1.93 : 0.15	
Agua	30.91 L/bolsa	

Nota: Elaboración propia.

Tabla 48.

Dosificación m³ para ladrillo ecológico de concreto - papel 7.5%.

Ladrillo ecológico de concreto - papel 7.5%		
Componente	**Peso kg**	**Volumen m³**
Cemento	329.618	7.756
Agregado Fino	910.406	0.354
Agregado Grueso	634.751	0.265
Agua efectiva	239.753	0.240
Papel reciclado	73.817	0.029
Relación a/c	0.73	
Dosificación	1 : 2.76 : 1.93 : 0.22	
Agua	30.91 L/bolsa	

Nota: Elaboración propia.

4.4.Fabricación de ladrillos

4.4.1. Obtención de materias primas

a. Partículas de caucho

Se realizó una visita a la reencauchadora RELINO SA; para realizar la compra de partículas de caucho, producto del proceso de reencauche que se realiza en sus instalaciones, las cuales ellos mismos filtran mediante la utilización de maquinarias que dividen los componentes de acuerdo con las dimensiones, para su posterior proceso de tratamiento o eliminación de acuerdo con lo que se requiera.

b. Papel reciclado

Se realizó el proceso de recolectado de papel desechado, producto de las impresiones de documentos, los cuales se procedieron a triturar para obtener las dimensiones granulares requeridas para su proceso de adición a la mezcla de concreto requerida.

4.4.2. Fabricación de ladrillos de concreto

a. Obtención de molde de ladrillo

Se realizó un molde de ladrillo de dos materiales, los cuales fueron madera y metal; en el caso de la madera, debido al proceso de destornillado de la misma, las muestras salieron de forma irregular en algunas caras debido al asentado y pegado de las muestras a algunas caras, especialmente las centrales; adicionalmente, al momento de volver a realizar el proceso de fijación con tornillos, algunas caras quedaron un poco expuestas y, al continuar el proceso varias veces, los tornillos perdieron agarre, lo cual dificultó el proceso de obtención de las muestras de ladrillo; mientras que, con el molde metálico, debido a su sistema y rugosidad, se facilitó la obtención de las muestras de ladrillo y, de manera adicional, se agilizaron los procedimientos de moldeo y desmoldeo de las muestras.

4.5.Ensayos de unidades de albañilería

4.5.1. Variación de dimensiones

La clasificación de la unidad de albañilería se dio de acuerdo a lo indicado por la norma E-070, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 49.

Clase de unidades de albañilería para fines estructurales.

CLASE DE UNIDAD DE ALBAÑILERÍA PARA FINES ESTRUCTURALES					
CLASE	VARIACIÓN DE LA DIMENSION (máxima en porcentajes)			ALABEO (máximo En mm)	RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A COMPRESIÓN (f'b mínimo en MPa (kg/cm²) sobre área bruta
	Hasta 100 mm	Hasta 150mm	Más de 150 mm		
Ladrillo I	±8	±6	±4	10	4,9 (50)
Ladrillo II	±7	±6	±4	8	6,9 (70)
Ladrillo III	±5	±4	±3	6	9,3 (95)
Ladrillo IV	±4	±3	±2	4	12,7 (130)
Ladrillo V	±3	±2	±1	2	17,6 (180)
Bloque P (1)	±4	±3	±2	4	4,9 (50)
Bloque NP (2)	±7	±6	±4	8	2,0 (20)

Nota: Adaptado de la Norma E.070, Albañilería.

a. Materiales e instrumentos: Al realizarse en laboratorio, se tuvieron los siguientes.

- Unidades de albañilería.
- Regla metálica con precisión mínima de 1 mm.
- Papel.
- Lapiceros.
- Equipos de protección personal.

b. Procedimiento

Se realizó la medición de las dimensiones del ladrillo (largo, ancho y altura) con la regla metálica, este proceso se realizó para 10 unidades de albañilería, las cuales debían estar secas por cada tipo de ladrillo usado, estas medidas se obtuvieron de un promedio de cuatro medidas de los puntos medios de cada lado; esta variación de cada dimensión en porcentaje se calculó con la expresión siguiente:

$$V=\frac{MN-MP}{MN}*100 \quad (13)$$

Ecuación 13. Ecuación de variación dimensional en ladrillos.

Donde:

V: Variabilidad dimensional, en %.

MN: Medida nominal específica, en mm.

MP: Medida promedio, en mm.

Figura 29.

Procedimiento de variación dimensional en ladrillos de concreto.



Nota: Elaboración propia.

4.5.2. Alabeo

La determinación del alabeo de las unidades de albañilería se realizó en base a lo indicado en la norma NTP 339.613, la cual indica que esta característica tiene una gran influencia en el espesor de la junta, lo cual afecta el grado de adherencia, ya que las unidades con gran alabeo presentan una alta tendencia a la generación de vacíos.

a. Materiales e instrumentos: Al realizarse en laboratorio, se tuvieron los siguientes.

- Unidades de albañilería.

- Cuñas de acero graduadas en mm.
- Regla metálica con precisión de 1 mm.
- Base de vidrio plano y liso de 6 mm.
- Equipo de protección personal.
- Papel.
- Lapiceros.

b. Procedimiento

Lo principal fue determinar si el alabeo era de tipo convexo o cóncavo, lo cual se realizó de la siguiente manera.

MEDICION DE CONCAVIDAD

El borde recto de la regla se colocó de manera longitudinal o sobre una de las diagonales de una de las caras de asiento; posteriormente, se procedió con la introducción de la cuña en la flecha máxima; luego, se tomó registro del valor que se midió con una precisión de 1 mm.

MEDICION DE CONVEXIDAD

El borde recto de la regla metálica se colocó sobre una de las diagonales de una de las caras de asiento del ladrillo; posteriormente, se introdujo en cada vértice una cuña, buscando el punto de apoyo de la regla sobre la diagonal, de manera que cada cuña tuviera la misma medida y así se realizara la lectura del valor obtenido.

Figura 30.
Procedimiento de alabeo en ladrillos de concreto.



Nota: Elaboración propia.

4.5.3. Porcentaje de área de vacíos

Se realizó el diseño de las unidades de albañilería de forma que se tuvieran unidades sólidas, para lo cual se determinó de acuerdo a lo indicado por la norma E.070 del RNE bajo los siguientes conceptos:

- Unidad de albañilería hueca: Se considera a las unidades cuya sección de plano paralelo a la cara de asiento es menor al 70% de la sección bruta de cara de asiento.
- Unidad de albañilería sólida: Se considera a las unidades cuya sección de plano paralelo a la cara de asiento es igual o mayor al 70% de la sección bruta de la cara de asiento.

a. Materiales e instrumentos: Al realizarse el laboratorio, se tuvieron los siguientes.

- Unidades de albañilería.

- Arena graduada de densidad.
- Cucharón.
- Recipiente.
- Enrasador.
- Base de vidrio plano y liso de 6 mm.
- Probeta graduada de 500 ml.
- Equipo de protección personal.
- Papel.
- Lapiceros.

b. Procedimiento

Para determinar el porcentaje de vacíos de las unidades de albañilería de concreto, se procedió con:

- Medición de las dimensiones de las unidades de albañilería.
- Se colocó la superficie plástica encima del vidrio liso de 6 mm; sobre esta, se colocó la unidad de albañilería.
- Se rellenaron las perforaciones con arena de densidad, de tal manera que cayera libre sin forzar su ingreso, se niveló la arena con el enrasador, limpiando los excesos de los bordes.
- Se levantó la muestra de albañilería, dejando que la arena cayera sobre la superficie plástica.
- Se transfirió la arena de la superficie plástica a un recipiente para realizar el pesaje con una aproximación de 0.5 g.
- Se separó una porción adicional de arena de densidad, se llenó la probeta graduada de 500 ml hasta su límite, de manera que la arena cayera de forma natural, sin forzar

ni agitar el recipiente; posteriormente, se trasladó esto a un recipiente y se pesó con una aproximación de 0.5 g.

Se obtuvo el porcentaje de área de vacíos de la muestra mediante la expresión:

$$\%\text{área vacíos} = \frac{V_s}{V_g} * \frac{1}{16.4} * 100 \qquad (14)$$

Ecuación 14. Ecuación de porcentaje de área de vacíos en ladrillos.

Donde:

V_s: Volumen de arena en la probeta, en ml.

V_g: Volumen del producto de las dimensiones de la unidad de albañilería, en cm^3.

Figura 31.

Procedimiento de porcentaje de área de vacíos en ladrillos de concreto.



Nota: Elaboración propia.

4.5.4. Absorción

Se le consideró a la absorción como la medida de permeabilidad presente en las unidades de albañilería. Las unidades que presentaron una absorción superior a 22% se consideraron de mayor porosidad, por lo cual se asumió que presentaban menor resistencia a la acción de la intemperie, dado que absorberían el agua presente en el mortero, obstaculizando así su proceso de adherencia entre la unidad de albañilería y el mortero; para este ensayo, se siguió el procedimiento indicado en la norma NTP 399.604.

a. Materiales e instrumentos: Al realizarse en laboratorio, se tuvieron los siguientes.
   - Unidades de albañilería.
   - Balanza electrónica con precisión de 0.5 g.
   - Horno electrónico.
   - Equipo de protección personal.
   - Papel.
   - Lapiceros.

b. Procedimiento

   Para determinar el grado de absorción de las unidades de albañilería de concreto, se procedió con:

   - Se colocaron las unidades de albañilería en el horno electrónico a una temperatura de 110 °C por un periodo de 24 horas.
   - Posteriormente, se realizaron y se pesaron las unidades secas.
   - Luego, se sumergieron las unidades en una poza con agua por un periodo de 24 horas.
   - Posterior a esto, se realizó el secado superficial de las unidades de concreto con un trapo.
   - Se realizó el pesaje de las unidades superficialmente secas.

La absorción se obtuvo mediante la expresión:

$$\text{Absorción}=\frac{W_{sat}-W_{seco}}{W_{seco}} \quad (15)$$

Ecuación 15. Ecuación de absorción en ladrillos.

Donde:

W_{sat}: Peso superficialmente seco de las unidades, en g.

W_{seco}: Peso seco de las unidades, en g.

Figura 32.
Procedimiento de absorción en ladrillos de concreto.



Nota: Elaboración propia.

4.5.5. Succión

Se consignó a la succión como la velocidad inicial con la que la unidad de albañilería de concreto tomó el agua por la capilaridad; esta se expresó en gramos de agua que fue

absorbida por cada cm^2, por lo cual fue una propiedad importante, dado que un alto valor determinó una alta succión, lo cual dificultó su proceso de asentado, debido a que ocurrió una gran absorción del agua de mortero, lo cual lo secó con mayor velocidad, con lo cual afectó su adherencia, lo que terminó por afectar la resistencia.

a. Materiales e instrumentos: Al realizarse en laboratorio, se tuvieron los siguientes.
   - Unidades de albañilería.
   - Bandeja de succión con profundidad menor a 12.5 mm.
   - Soportes para unidades de albañilería con sección de 5 mm de altura.
   - Balanza electrónica con precisión de 0.5 g.
   - Cronómetro.
   - Horno electrónico.
   - Equipo de protección personal.
   - Papel.
   - Lapiceros.

b. Procedimiento

   Para determinar el grado de succión de las unidades de albañilería de concreto, se procedió con:

   - Se colocaron las unidades de albañilería en el horno electrónico por un periodo de 24 horas.
   - Posteriormente, se pesaron las unidades secas.
   - Se realizó la medición de las dimensiones en el área de contacto con el agua.
   - Se niveló la superficie de la bandeja donde se apoyaron las unidades de albañilería.
   - Se colocaron las unidades de albañilería encima de los soportes, siendo el momento cero cuando la unidad entró en contacto con el agua.

- Se tomó un periodo de contacto de 1 minuto, para lo cual se mantuvo el nivel de agua, mediante las manguerillas de la bandeja de succión.
- Se realizó el secado superficial de la zona de contacto con una franela; luego, se pesó; este proceso no debió durar más de 2 minutos desde el retiro de contacto con el agua.
- En este caso, se tuvo un área superior a los 200 cm², por lo cual se realizó la corrección del peso, mediante la expresión:

$$X=\frac{200*W}{A} \quad (16)$$

Ecuación 16. Ecuación de succión en ladrillos.

Donde:

X: Diferencia de pesos corregida sobre la base de 200 cm².

W: Diferencia en pesos del espécimen.

A: Área de contacto de la unidad de albañilería con el agua.

Figura 33.

Procedimiento de ensayo de succión en albañilería.



Nota: Elaboración propia.

4.5.6. Compresión simple de unidades de albañilería

La resistencia a compresión de la unidad de albañilería fue una de las más importantes características debido a que determinó la resistencia a compresión de los muros de albañilería, mostró, además, durabilidad y calidad de los mismos; según lo indicado por la NTP E.070, la resistencia característica f'b fue el resultado promedio menos la desviación estándar de datos, lo cual, estadísticamente, indicó que al menos el 84% de las unidades de albañilería obtuvo una resistencia mayor a la resistencia característica f'b obtenida.

a. Materiales e instrumentos: Al realizarse en laboratorio, se tuvieron los siguientes.
   - Unidades de albañilería.
   - Prensa hidráulica.
   - Regla metálica.
   - Equipo de protección personal.
   - Papel.
   - Lapiceros.

b. Procedimiento

   Para determinar la resistencia a compresión de las unidades de albañilería de concreto, se procedió con:

   - Se realizó la colocación de Capping, esto con la finalidad de uniformizar las caras en contacto con la prensa hidráulica, ya que se requirió una distribución uniforme de las cargas que se aplicarían a la unidad de albañilería; adicionalmente, este procedimiento se realizó por medio de la colocación de mezcla de yeso-agua, la cual se realizó antes del ensayo de compresión.
   - Culminado el proceso de Capping, se realizó el ensayo de compresión en la prensa hidráulica.

- Se anotaron los resultados de la carga y se obtuvo la resistencia a compresión de unidades mediante la expresión siguiente:

$$f'_b = \frac{P}{A} \quad (17)$$

Ecuación 17. Ecuación de resistencia a compresión en ladrillos.

Donde:

f'_b: Resistencia a compresión de la unidad de albañilería, en kg/cm².

P: Carga de rotura aplicada y registrada por la prensa hidráulica.

A: Promedio de las áreas brutas de las caras en contacto.

La resistencia a compresión representativa se calculó con la siguiente expresión.

$$f'_b = f'_{b\,prom} - \sigma \quad (18)$$

Ecuación 18. Ecuación de resistencia a compresión representativa en ladrillos.

Donde:

f'_b: Resistencia a compresión.

$f'_{b\,prom}$: Resistencia a compresión promedio de las unidades.

σ: Desviación estándar.

Figura 34.
Procedimiento de ensayo de resistencia a compresión en albañilería.



Nota: Elaboración propia.

4.6.Ensayo de compresión axial de prismas de albañilería

4.6.1. Fabricación de prismas de albañilería

Se realizó la fabricación de los prismas de albañilería de concreto tomando en cuenta el mortero tipo P2 de la norma E.070, el cual consistió en una relación cemento : arena de 1:4; además, siguiendo las recomendaciones de la NTP 399.605, la cual indicó que se debía realizar el asentado de por lo menos dos unidades con una relación hp/tp entre 1.3 a 1.5 y con una longitud mínima de 100 mm; además de realizar 3 muestras de pilas por cada tipo de diseño, por lo cual, para cumplir las recomendaciones, se realizó el asentado de 3 muestras de pilas de ladrillos de concreto por cada tipo de mezcla.

4.6.2. Ensayo de compresión axial

El presente ensayo se basó en lo indicado en la norma ASTM C-1314; "Método de prueba estándar para la resistencia a compresión de albañilería", y se secundó con la norma NTP 399.605. Los prismas presentaron una relación altura y espesor (esbeltez) entre 2-5 y se tuvo en cuenta que la altura no fuera menor a 25 cm; además de un tamaño adecuado para su fácil manipulación y traslado.

a. Materiales e Instrumentos
   - 3 muestras de pilas por cada tipo con edad de 28 días.
   - Máquina de compresión universal.
   - Placas metálicas planas con dimensiones mayores a la cara del prisma donde se aplicará la carga.
   - Regla metálica.
   - Flexómetro
   - Equipo de protección personal.

b. Procedimiento:
   - Se midieron las dimensiones de los prismas con una precisión de 1 mm, la longitud, ancho y altura.
   - Se colocó un Capping de yeso a las caras de asiento de los prismas tal como se realizó con las unidades de albañilería de concreto.
   - Después del Capping, se procedió con el ensayo en la máquina de compresión universal y se tomó nota del tipo de comportamiento y datos de los mismos para calcular la resistencia del prisma con la expresión:

$$fm=\frac{Pmax}{A} \quad (19)$$

Ecuación 19. Ecuación de resistencia a compresión axial de pilas de albañilería.

Donde:

fm: Resistencia a compresión axial, en kg/cm².

Pmax: Fuerza máxima que resiste la pila, en kg.

A: Área bruta transversal a la fuerza, en cm².

- El valor del fm se corrigió por esbeltez calculada a partir de las dimensiones del prisma.
- La corrección se estableció de acuerdo a las indicaciones dadas por la norma E 070 y se realizó el proceso de interpolación de ser necesario, según:

Tabla 50.
Corrección por esbeltez.

Factores de corrección de fm por esbeltez						
Esbeltez	2	2.5	3	4	4.5	5
Factor	0.73	0.8	0.91	0.95	0.98	1

Nota: Adaptado de Norma técnica E.070 Albañilería.

- La resistencia característica se calculó restando la desviación estándar de la resistencia promedio tal como se muestra:

$$f'm=fm-\sigma \quad (20)$$

Ecuación 20. Ecuación de resistencia a compresión axial representativa en pilas de albañilería.

Donde:

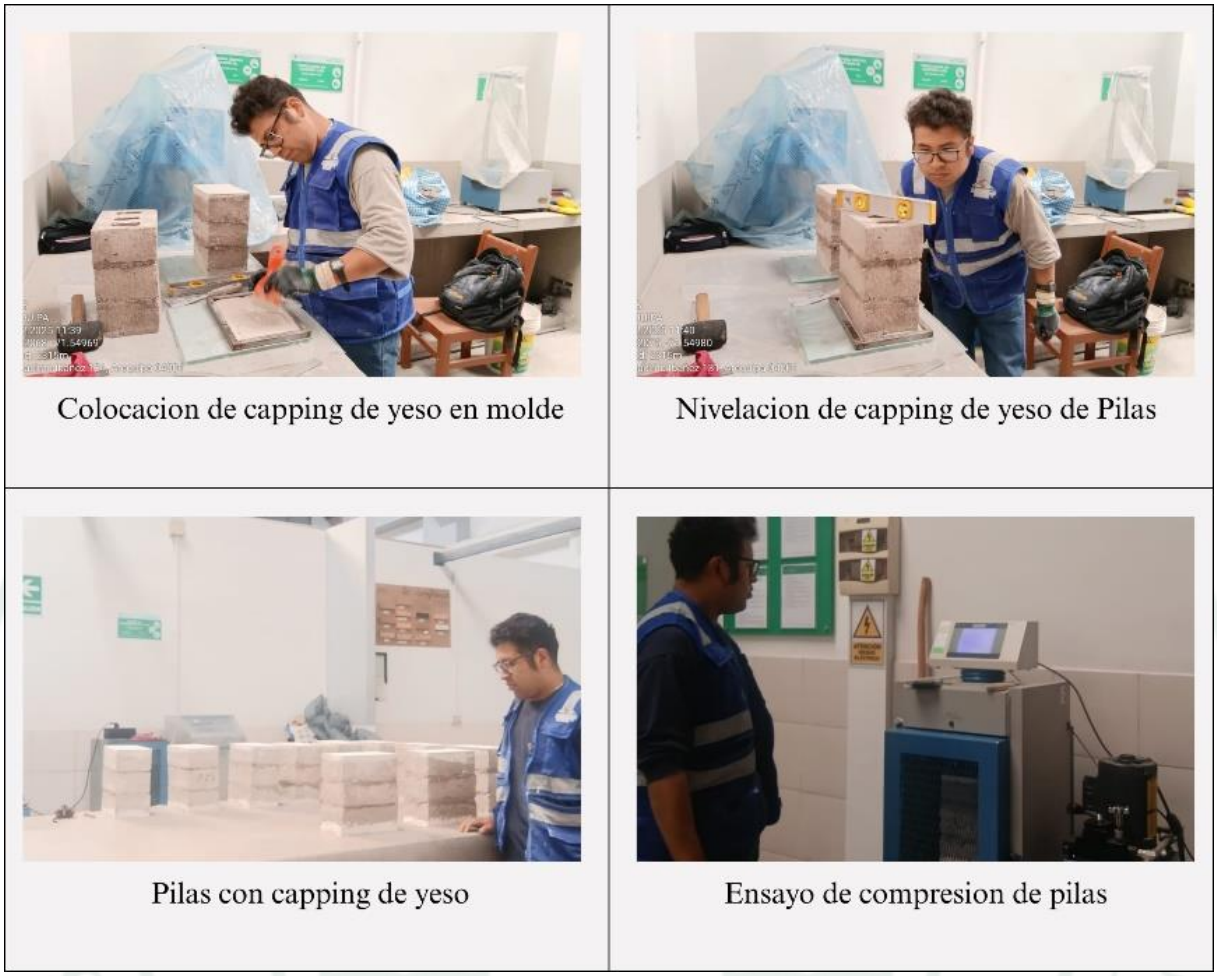
f'm: Resistencia característica a compresión, en kg/cm².

fm: Resistencia a compresión promedio.

σ: Desviación estándar.

Figura 35.

Procedimiento de ensayo de resistencia a compresión en pilas de albañilería.



Nota: Elaboración propia.

4.7.Ensayo de compresión diagonal de muretes de albañilería

4.7.1. Fabricación de muretes de albañilería

Se realizó la fabricación de los muretes de albañilería de concreto, siguiendo las recomendaciones de la NTP 399.621, y para el mortero se usó el tipo P2 de la tabla 4 de la norma E.070, el cual tuvo una relación cemento : arena de 1:4; además, la norma indicó que se debía realizar el asentado para obtener una muestra con dimensiones mínimas de 600 mm x 600 mm; además de realizar 3 muestras de muretes por cada tipo de diseño, por lo cual, para cumplir las recomendaciones, se realizó el asentado de 3 muestras de muretes de ladrillos de

concreto por cada tipo de mezcla; se usó un mortero según las recomendaciones de proporciones volumétricas de la norma E.070.

4.7.2. Ensayo de compresión diagonal

Este ensayo es el más usado para determinar la resistencia al corte a la compresión diagonal, de acuerdo a la norma establecida ASTM E-519, "Método de prueba estándar para ensayar a tensión diagonal muretes de albañilería".

Los muretes fueron elaborados con un tamaño mínimo tal que ingresaran 2 unidades por hilada, buscando que quedaran de forma cuadrada.

a. Materiales e instrumentos
   - 3 muestras de muretes por cada tipo con edad de 28 días.
   - Máquina de ensayo de compresión diagonal.
   - Regla metálica.
   - Flexómetro.
   - Equipo de protección personal.

b. Procedimiento: Al realizarse en laboratorio, se siguieron los siguientes pasos.
   - Se construyeron los muretes mediante asentado de unidades con el espesor de junta especificado, los cuales fueron almacenados y curados por 28 días.
   - Se tomaron datos de las dimensiones del murete
   - Se colocaron las escuadras de carga donde se apoyó el murete y se verificó la alineación.
   - Se aplicó la carga a una velocidad constante hasta alcanzar la carga máxima en no menos de 1 minuto ni más de 2 minutos transcurridos; se usó la siguiente expresión para determinar el esfuerzo cortante.

$$V_m = \frac{0.707P}{A_b} \quad (21)$$

Ecuación 21. Ecuación de esfuerzo cortante en muretes de albañilería.

Donde:

Vm: Esfuerzo cortante sobre el área bruta, en MPa.

P: Carga aplicada, en N.

Ab: Área bruta del murete, en mm2.

Siendo:

$$A_b = \left(\frac{l+h}{2}\right) * t \quad (22)$$

Ecuación 22. Ecuación de área bruta del murete de albañilería.

Donde:

l: Largo del murete, en mm.

h: Altura del murete, en mm.

t: Espesor del murete, en mm.

Figura 36.

Procedimiento de ensayo de resistencia a compresión diagonal en murete de albañilería.



Nota: Elaboración propia.

CAPÍTULO V. RESULTADOS

5.1.Propiedades de los materiales

- Los materiales que conformaron la investigación fueron sometidos a un conjunto de ensayos de laboratorio normados para obtener las propiedades requeridas para su uso en los diseños de mezclas requeridos, las cuales se muestran en la tabla siguiente.

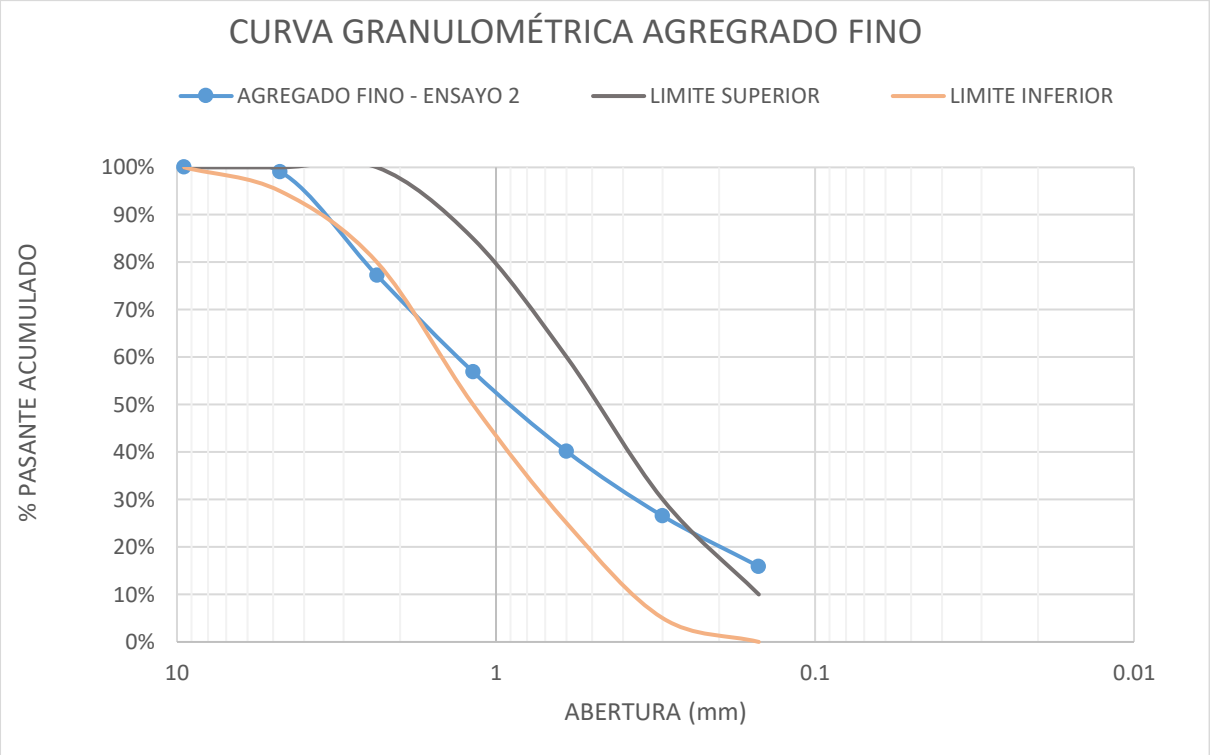
Tabla 51.
Resumen de propiedades de materiales.

Material	Peso Específico (g/cm³)	Absorción (%)	Contenido de Humedad (%)	Peso Unitario Suelto (g/cm³)	Peso Unitario Compactado (g/cm³)
Agregado Fino	2.569	1.643	0.35	1.779	1.923
Agregado Grueso	2.398	3.779	0.599	1.252	1.379
Cemento	2.791	-	-	-	-

Nota: Elaboración propia.

- El peso específico del agregado fino mostró un resultado aceptable, dado que el valor óptimo recomendado para el agregado fino se encontraba entre 2.5 y 2.7, mientras que no se realizó un análisis para las partículas de caucho y papel debido a que no se contaba con una normativa para estos materiales de experimentación y su composición compleja.

Figura 37.
Curva granulométrica de la arena gruesa.



Nota: Elaboración propia.

- La granulometría obtenida con el agregado indicó que se trataba de una arena con alto contenido de finos de acuerdo a la NTP 400.012, por lo cual fue necesario realizar el ensayo de azul de metileno para verificar las características de las mismas, del cual se obtuvo un valor de 11.5 mL de solución usada para el ensayo.
- El módulo de fineza se obtuvo de la suma de los porcentajes acumulados retenidos en las mallas N°100, N°50, N°30, N°16, N°8 y N°4, la cual se dividió entre 100, según lo indicado por la norma NTP 400.011; los valores típicos fueron de 2.3 a 3.1, en los cuales un valor alto significó gradaciones gruesas, mientras que los límites recomendables fueron de 2.3 a 2.8, lo cual indicó concretos de mejor trabajabilidad.

5.2.Propiedades físico-mecánicas de los ladrillos

5.2.1. Ladrillos de concreto

5.2.1.1.Propiedades físicas

- Variación dimensional

  Los resultados obtenidos del ensayo de variación de dimensiones de las muestras de ladrillos de concreto se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 52.
Resumen de variación de dimensiones en ladrillo de concreto.

TIPO DE LADRILLO	VARIACION DE DIMENSIONES (% MÁXIMOS)		
	Hasta 100 mm	Hasta 150 mm	Mas de 150 mm
LC	2.02	-0.92	-0.60

Nota: Elaboración propia.

- Alabeo

  Los resultados obtenidos del ensayo de alabeo de las muestras de ladrillos de concreto se muestran en la tabla a continuación:

Tabla 53.
Resumen de Alabeo en ladrillo de concreto.

TIPO DE LADRILLO	ALABEO (Max en mm)
LC	1.63

Nota: Elaboración propia.

- Porcentaje de área de vacíos

  Los resultados obtenidos del ensayo de porcentaje de área de vacíos de las muestras de ladrillos de concreto se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 54.
Resumen de porcentaje de área de vacíos en ladrillo de concreto.

TIPO DE LADRILLO	PORCENTAJE DE ÁREA DE VACÍOS (%)
LC	21.30 SÓLIDO

Nota: Elaboración propia.

Considerándose las características de las unidades de albañilería señalada por la norma E.070, en el ensayo de porcentaje de área de vacíos, este valor, al no ser superior a 30%, indicó que se trataba de una unidad sólida.

- Absorción

  Los resultados obtenidos del ensayo de absorción de las muestras de ladrillos de concreto se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 55.
Resumen de absorción en ladrillo de concreto.

TIPO DE LADRILLO	ABSORCION (%)
LC	6.75

Nota: Elaboración propia.

Se consideró que las unidades que presentaron una absorción mayor a 22% poseyeron un mayor grado de porosidad y baja resistencia al intemperismo, por lo cual nuestro ladrillo de concreto no alcanzó ni a la tercera parte de este valor, por lo cual se estimó que no presentaría problemas de desempeño.

- Succión

  Los resultados obtenidos del ensayo de succión de las muestras de ladrillos de concreto se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 56.
Resumen de succión en ladrillo de concreto.

TIPO DE LADRILLO	SUCCIÓN (g/200 cm²-min)
LC	9.09

Nota: Elaboración propia.

La velocidad inicial con la cual el ladrillo de concreto absorbió el agua permitió identificar el comportamiento durante el proceso de construcción; al presentar un valor alto, se indicó una tendencia alta a la absorción del agua que estaba presente en la mezcla.

5.2.1.2.Propiedades mecánicas

- Compresión simple

  Los resultados obtenidos del ensayo de compresión simple de las muestras de ladrillos de concreto se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 57.
Resumen de compresión simple en ladrillo de concreto.

RESISTENCIA DE LADRILLO DE CONCRETO			
TIPO DE LADRILLO	**EDAD DE ROTURA**	**RESISTENCIA (kg/cm²)**	**CLASE**
LC	28 DÍAS	97.09	TIPO III

Nota: Elaboración propia.

Considerando la clasificación de la unidad de albañilería señalada por la norma E.070, los resultados del ensayo de compresión simple permitieron clasificar las unidades de albañilería de concreto como tipo III.

- Resistencia a compresión de pilas

  Los resultados obtenidos del ensayo de compresión axial de pilas de albañilería, de las muestras de ladrillos de concreto se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 58.
Resumen de resistencia a compresión de prisma en ladrillo de concreto.

TIPO DE LADRILLO	**f'm (kg/cm²)**
LC	93.34

Nota: Elaboración propia.

Considerando lo indicado por la norma E.070, los resultados del ensayo de compresión en prismas de albañilería indicaron que para unidades de albañilería de concreto se podía obtener un valor de 7 MPa, mientras que el ensayo realizado obtuvo un valor de 9.2 MPa.

- Resistencia a compresión diagonal muretes

  Los resultados obtenidos del ensayo de compresión diagonal de muretes de las muestras de muretes de ladrillos de concreto se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 59.
Resumen de resistencia a compresión diagonal de murete de ladrillo de concreto.

TIPO DE LADRILLO	f'm (kg/cm²)
LC	7.91

Nota: Elaboración propia.

Considerando lo indicado por la norma E.070, los resultados del ensayo de compresión diagonal en muretes de albañilería indicaron que para unidades de albañilería de concreto se podía obtener un valor de 0.44 MPa, mientras que en el ensayo realizado se obtuvo un valor de 0.78 MPa.

5.2.2. Ladrillos de concreto con añadido de partículas de caucho reciclado

5.2.2.1. Propiedades físicas

- Variación dimensional

  Los resultados obtenidos del ensayo de variación de dimensiones de las muestras de ladrillos de concreto con partículas de caucho reciclado se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 60.
Resumen de variación de dimensiones en ladrillo de concreto con partículas de caucho reciclado.

TIPO DE LADRILLO	VARIACION DE DIMENSIONES (% MÁXIMOS)		
	Hasta 100 mm	Hasta 150 mm	Mas de 150 mm
LCC1	0.85	-0.26	-0.15
LCC2	2.23	-0.15	-0.13
LCC3	-0.54	-0.08	-0.06

Nota: Elaboración propia.

- Alabeo

  Los resultados obtenidos del ensayo de alabeo de las muestras de ladrillos de concreto con partículas de caucho reciclado se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 61.
Resumen de alabeo en ladrillo de concreto con partículas de caucho reciclado.

TIPO DE LADRILLO	ALABEO (Max en mm)
LCC1	1.31
LCC2	1.40
LCC3	1.35

Nota: Elaboración propia.

- Porcentaje de área de vacíos

  Los resultados obtenidos del ensayo de porcentaje de área de vacíos de las muestras de ladrillos de concreto con partículas de caucho reciclado se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 62.
Resumen de porcentaje de área de vacíos en ladrillo de concreto con partículas de caucho reciclado.

TIPO DE LADRILLO	PORCENTAJE DE ÁREA DE VACÍOS (%)
LCC1	22.39 SÓLIDO
LCC2	21.84 SÓLIDO
LCC3	22.85 SÓLIDO

Nota: Elaboración propia.

Considerándose las características de las unidades de albañilería señalada por la norma E.070, en el ensayo de porcentaje de área de vacíos, los valores, al no ser superiores a 30%, indicaron que se trataba de unidades sólidas.

- Absorción

  Los resultados obtenidos del ensayo de absorción de las muestras de ladrillos de concreto con partículas de caucho reciclado se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 63.
Resumen de absorción en ladrillo de concreto con partículas de caucho reciclado.

TIPO DE LADRILLO	ABSORCION (%)
LCC1	7.98
LCC2	7.78
LCC3	7.72

Nota: Elaboración propia.

Se consideró que las unidades que presentaron una absorción mayor a 22% poseyeron un mayor grado de porosidad y baja resistencia al intemperismo, por lo cual los ladrillo de concreto con partículas de caucho reciclado alcanzaron aproximadamente la tercera parte de este valor, por lo cual se estimó que no presentarían problemas de desempeño.

- Succión

  Los resultados obtenidos del ensayo de succión de las muestras de ladrillos de concreto con partículas de caucho reciclado se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 64.
Resumen de succión en ladrillo de concreto con partículas de caucho reciclado.

TIPO DE LADRILLO	SUCCIÓN (g/200 cm²-min)
LCC1	9.97
LCC2	9.68
LCC3	9.12

Nota: Elaboración propia.

La velocidad inicial con la cual el ladrillo de concreto absorbió el agua permitió identificar el comportamiento durante el proceso de construcción, las muestras de ladrillos de concreto con partículas de caucho reciclado no presentaron valores altos, por lo cual no afectaron el proceso de asentado.

5.2.2.2. Propiedades mecánicas

- Compresión simple

  Los resultados obtenidos del ensayo de compresión simple de las muestras de ladrillos de concreto con partículas de caucho reciclado se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 65.
Resumen de compresión simple en ladrillo de concreto con partículas de caucho reciclado.

RESISTENCIA DE LADRILLO DE CONCRETO			
TIPO DE LADRILLO	**EDAD DE ROTURA**	**RESISTENCIA (kg/cm²)**	**CLASE**
LCC1	28 DÍAS	75.97	TIPO II
LCC2	28 DÍAS	71.19	TIPO II
LCC3	28 DÍAS	55.71	TIPO I

Nota: Elaboración propia.

Considerando la clasificación de unidades de albañilería señalada por la norma E.070, en el ensayo de compresión simple se clasificaron las unidades de albañilería de concreto con partículas de caucho reciclado LCC1 y LCC2 como unidades de tipo II, mientras que LCC3 se clasificó como tipo I.

- Resistencia a compresión de pilas

  Los resultados obtenidos del ensayo de compresión de pilas de las muestras de ladrillos de concreto con partículas de caucho reciclado se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 66.
Resumen de resistencia a compresión de prisma en ladrillo de concreto con partículas de caucho reciclado.

TIPO DE LADRILLO	**f'm (kg/cm²)**
LCC1	71.88

Nota: Elaboración propia.

Considerando lo indicado por la norma E.070, el ensayo de compresión en prismas de albañilería indicó que, para unidades de albañilería de concreto, se puede obtener un valor de 7 MPa, mientras que el ensayo realizado presentó un valor de 7.1 MPa.

- Resistencia a compresión diagonal de muretes

  Los resultados obtenidos del ensayo de compresión diagonal de las muestras de muretes de ladrillos de concreto con partículas de caucho reciclado se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 67.
Resumen de resistencia a compresión diagonal de murete de ladrillo de concreto con partículas de caucho reciclado.

TIPO DE LADRILLO	f'm (kg/cm²)
LCC1	7.50

Nota: Elaboración propia.

Considerando lo indicado por la norma E.070, el ensayo de compresión diagonal en muretes de albañilería indicó que, para unidades de albañilería de concreto, se puede obtener un valor de 0.44 MPa, mientras que el ensayo realizado presentó un valor de 0.74 MPa.

5.2.3. Ladrillos de concreto con añadido de papel reciclado.

5.2.3.1. Propiedades físicas

- Variación dimensional

Los resultados obtenidos del ensayo de variación de dimensiones de las muestras de ladrillos de concreto con partículas de papel reciclado se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 68.
Resumen de variación de dimensiones en ladrillo de concreto con partículas de papel reciclado.

TIPO DE LADRILLO	VARIACION DE DIMENSIONES (% MÁXIMOS)		
	Hasta 100 mm	Hasta 150 mm	Mas de 150 mm
LCP1	0.66	1.36	-0.07
LCP2	1.29	-0.55	-0.18
LCP3	1.01	-0.53	-0.26

Nota: Elaboración propia.

- Alabeo

Los resultados obtenidos del ensayo de alabeo de las muestras de ladrillos de concreto con partículas de papel reciclado se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 69.
Resumen de alabeo en ladrillo de concreto con partículas de papel reciclado.

TIPO DE LADRILLO	ALABEO (Max en mm)
LCP1	1.13
LCP2	0.64
LCP3	0.77

Nota: Elaboración propia.

- Porcentaje de área de vacíos

  Los resultados obtenidos del ensayo de porcentaje de área de vacíos de las muestras de ladrillos de concreto con partículas de papel reciclado se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 70.
Resumen de porcentaje de área de vacíos en ladrillo de concreto con partículas de papel reciclado.

TIPO DE LADRILLO	PORCENTAJE DE ÁREA DE VACÍOS (%)
LCP1	25.91 SÓLIDO
LCP2	26.21 SÓLIDO
LCP3	25.50 SÓLIDO

Nota: Elaboración propia.

Considerando las características de unidades de albañilería señalada por la norma E.070, los resultados del ensayo de porcentaje de área de vacíos indicaron que, al no superar el 30%, las unidades se consideraron sólidas.

- Absorción

  Los resultados obtenidos del ensayo de absorción de las muestras de ladrillos de concreto con partículas de papel reciclado se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 71.
Resumen de absorción en ladrillo de concreto con partículas de papel reciclado.

TIPO DE LADRILLO	ABSORCION (%)
LCP1	6.00
LCP2	8.25
LCP3	11.37

Nota: Elaboración propia.

Las unidades que presentaron una absorción mayor a 22% poseen un mayor grado de porosidad y baja resistencia al intemperismo, por lo cual los ladrillos de concreto con partículas de papel reciclado presentaron, en el caso más desfavorable, aproximadamente la mitad de este valor; por lo tanto, se estimó que no tendrían problemas.

- Succión

  Los resultados obtenidos del ensayo de succión de las muestras de ladrillos de concreto con partículas de papel reciclado se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 72.
Resumen de succión en ladrillo de concreto con partículas de papel reciclado.

TIPO DE LADRILLO	SUCCIÓN (g/200 cm²-min)
LCP1	14.02
LCP2	14.76
LCP3	16.28

Nota: Elaboración propia.

La velocidad inicial con la cual el ladrillo de concreto absorbe el agua puede generar problemas durante el proceso de construcción; las muestras de ladrillos de concreto con partículas de papel reciclado no presentaron valores altos, por lo cual no afectaron el proceso de asentado.

5.2.3.2.Propiedades mecánicas

- Compresión simple

  Los resultados obtenidos del ensayo de compresión simple de las muestras de ladrillos de concreto con partículas de papel reciclado se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 73.
Resumen de compresión simple en ladrillo de concreto con partículas de papel reciclado.

RESISTENCIA DE LADRILLO DE CONCRETO			
TIPO DE LADRILLO	**EDAD DE ROTURA**	**RESISTENCIA (kg/cm²)**	**CLASE**
LCP1	28 DÍAS	103.28	TIPO III
LCP2	28 DÍAS	98.43	TIPO III
LCP3	28 DÍAS	87.10	TIPO II

Nota: Elaboración propia.

Considerando la clasificación de unidades de albañilería señalada por la norma E.070, en el ensayo de compresión simple se clasificaron las unidades de albañilería de concreto con partículas de papel reciclado LCP1 y LCP2 como unidades de tipo III, mientras que LCP3 se clasificó como tipo II.

- Resistencia a compresión de pilas

  Los resultados obtenidos del ensayo de compresión de pilas de las muestras de ladrillos de concreto con partículas de papel reciclado se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 74.
Resumen de resistencia a compresión de prisma en ladrillo de concreto con partículas de papel reciclado.

TIPO DE LADRILLO	**f'm (kg/cm²)**
PLCP1	106.80

Nota: Elaboración propia.

Considerando lo indicado por la norma E.070, el ensayo de compresión en prismas de albañilería indicó que, para unidades de albañilería de concreto, se puede obtener un valor de 7 MPa, mientras que el ensayo realizado presentó un valor de 10.5 MPa.

- Resistencia a compresión diagonal de muretes

  Los resultados obtenidos del ensayo de compresión diagonal de las muestras de muretes de ladrillos de concreto con partículas de papel reciclado se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 75.
Resumen de resistencia a compresión diagonal de murete de ladrillo de concreto con partículas de papel reciclado.

TIPO DE LADRILLO	f'm (kg/cm²)
MLCC1	9.84

Nota: Elaboración propia.

Considerando lo indicado por la norma E.070, el ensayo de compresión diagonal en muretes de albañilería indicó que, para unidades de albañilería de concreto, se puede obtener un valor de 0.44 MPa, mientras que el ensayo realizado presentó un valor de 0.97 MPa.

5.3.Análisis de resultados

- La norma E.070 establece que, para un lote compuesto por hasta 50 millares de unidades, se debe seleccionar al azar una muestra representativa de 10 unidades, a las cuales se realizan distintos tipos de ensayos físicos, como variación dimensional, alabeo, absorción, succión, porcentaje de área de vacíos; asimismo, se les realizan ensayos mecánicos, como compresión simple de unidades, compresión axial de pilas y compresión diagonal de muretes.

Tabla 76.
Resistencia a compresión de ladrillos ecológicos.

	Resistencia a Compresión Unidades de albañilería (kg/cm²)						
VALOR	LC	LCC1	LCC2	LCC3	LCP1	LCP2	LCP3
1	96.16	72.06	67.98	56.49	105.98	94.63	89.42
2	89.58	76.07	74.52	56.01	92.05	101.90	90.66
3	93.52	74.56	66.85	54.66	113.38	97.84	82.35
4	97.12	76.12	76.90	53.99	105.48	100.19	86.78
5	109.09	81.04	69.67	57.40	99.51	97.60	86.31
Resistencia	97.09	75.97	71.19	55.71	103.28	98.43	87.10
Varianza	53.51	10.76	18.79	1.91	63.63	7.64	10.33

Nota: Elaboración propia.

- Se realizaron todos los ensayos requeridos para la obtención de las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos ecológicos de concreto con añadidos de caucho y papel, asimismo, se realizaron los ensayos para los ladrillos de concreto patrón de comparación, por lo cual se pudieron clasificar según la tabla siguiente:

Tabla 77.

Clasificación final de ladrillos ecológicos de concreto muestreados.

CLASE	VARIACIÓN DE DIMENSIONES (máxima en porcentaje)			ALABEO (Max. En mm)	RESISTENCIA CARACTERISTICA A LA COMPRESION f'b mínimo en MPa (kg/cm²) sobre área bruta	CLASIFICACIÓN
	Hasta 100 mm	Hasta 150 mm	Mas de 150 mm			
LC	2.02	-0.92	-0.60	1.63	97.09	TIPO III
LCC1	0.85	-0.26	-0.15	1.31	75.97	TIPO II
LCC2	2.23	-0.15	-0.13	1.40	71.19	TIPO II
LCC3	-0.54	-0.08	-0.06	1.35	55.71	TIPO I
LCP1	0.66	1.36	-0.07	1.13	103.28	TIPO III
LCP2	1.29	-0.55	-0.18	0.64	98.43	TIPO III
LCP3	1.01	-0.53	-0.26	0.77	87.10	TIPO II

Nota: Elaboración propia.

- Los ladrillos ecológicos de concreto con partículas de caucho y papel cumplen los requerimientos de porcentaje de área de vacíos, debido a que no superan el 30% del porcentaje, por lo cual se pueden considerar como unidades sólidas; tal como se muestra a continuación:

Tabla 78.

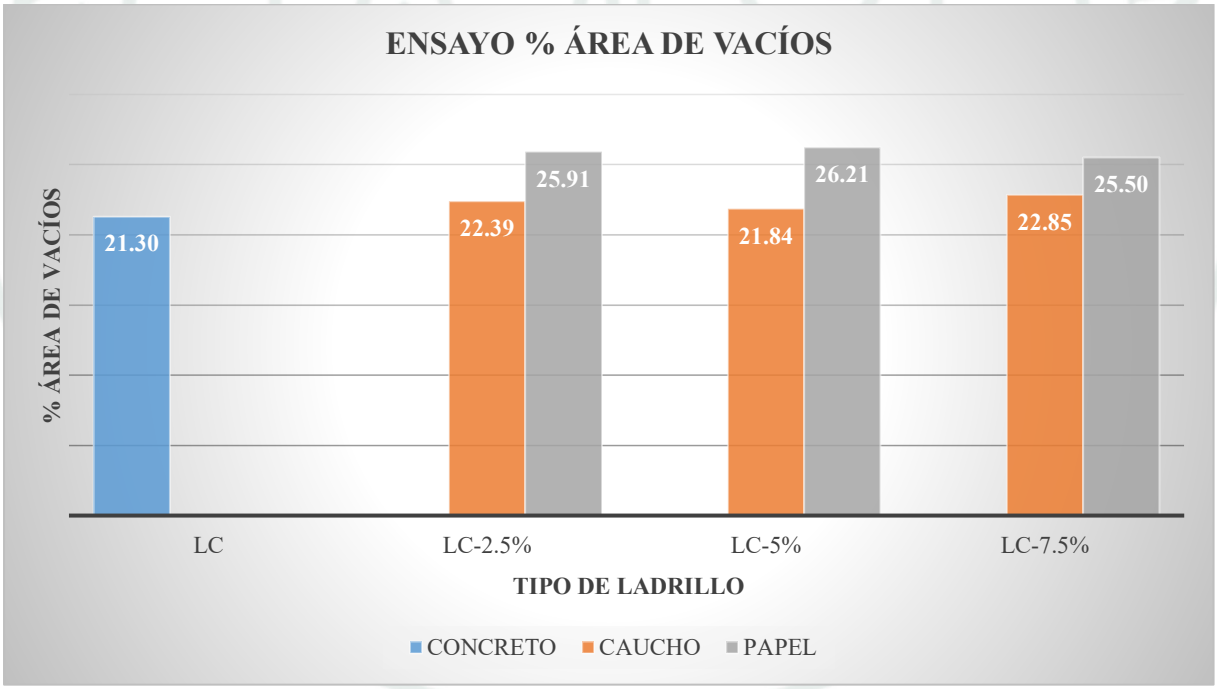
Porcentaje de área de vacíos de ladrillos ecológicos de concreto muestreados.

TIPO DE LADRILLO	PORCENTAJE DE ÁREA DE VACÍOS (%)
LC	21.30 SÓLIDO
LCC1	22.39 SÓLIDO
LCC2	21.84 SÓLIDO
LCC3	22.85 SÓLIDO
LCP1	25.91 SÓLIDO
LCP2	26.21 SÓLIDO
LCP3	25.50 SÓLIDO

Nota: Elaboración propia.

Figura 38.

Porcentaje de área de vacíos en ladrillos ecológicos de concreto muestreados.



Nota: Elaboración propia.

- Tomando en cuenta los resultados de variabilidad dimensional, los resultados de los ladrillos ecológicos de concreto con partículas de papel y caucho se presentan en la

tabla siguiente; sin embargo, para la clasificación de la unidad se deben considerar todas las propiedades en conjunto.

Tabla 79.
Variación de dimensiones de ladrillos ecológicos de concreto muestreados.

TIPO DE LADRILLO	VARIACION DE DIMENSIONES (% MÁXIMOS)		
	Hasta 100 mm	Hasta 150 mm	Mas de 150 mm
LC	2.02	-0.92	-0.60
LCC1	0.85	-0.26	-0.15
LCC2	2.23	-0.15	-0.13
LCC3	-0.54	-0.08	-0.06
LCP1	0.66	1.36	-0.07
LCP2	1.29	-0.55	-0.18
LCP3	1.01	-0.53	-0.26

Nota: Elaboración propia.

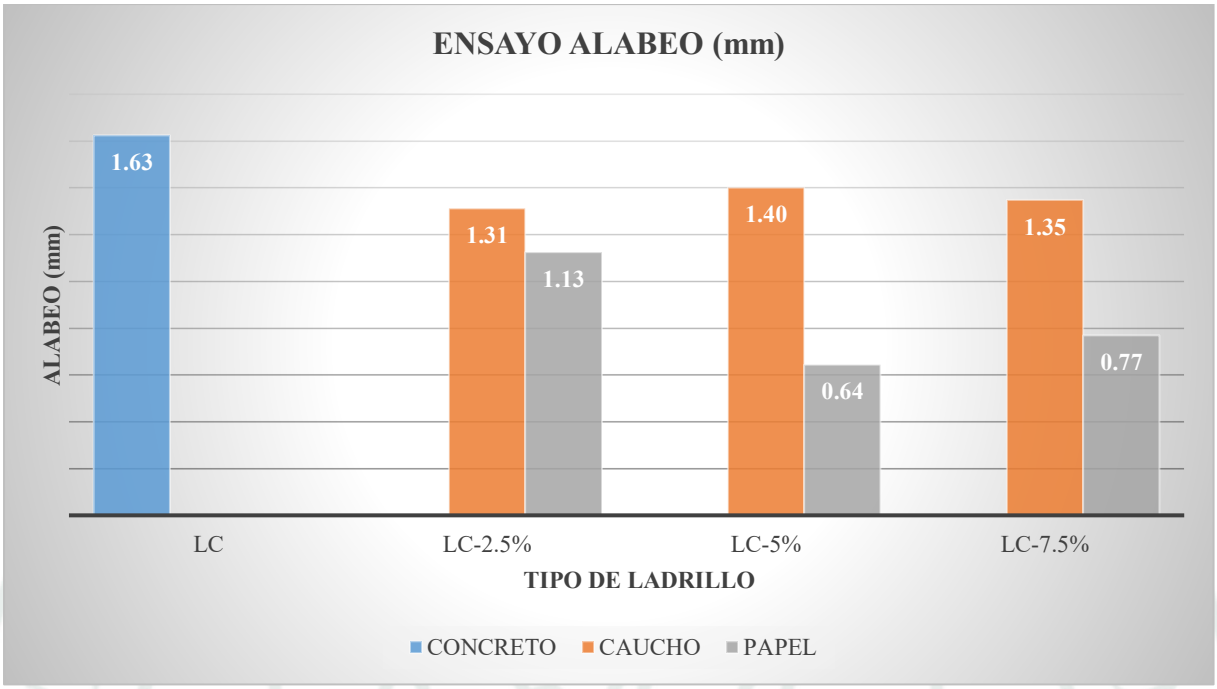
- Tomando en cuenta los resultados de alabeo, los resultados de los ladrillos ecológicos de concreto con partículas de papel y caucho se presentan en la tabla siguiente; no obstante, para la clasificación de la unidad se deben considerar las propiedades en conjunto.

Tabla 80.
Alabeo de ladrillos ecológicos de concreto muestreados.

TIPO DE LADRILLO	ALABEO (Max en mm)
LC	1.63
LCC1	1.31
LCC2	1.40
LCC3	1.35
LCP1	1.13
LCP2	0.64
LCP3	0.77

Nota: Elaboración propia.

Figura 39.
Alabeo de ladrillos ecológicos de concreto muestreados.



Nota: Elaboración Propia.

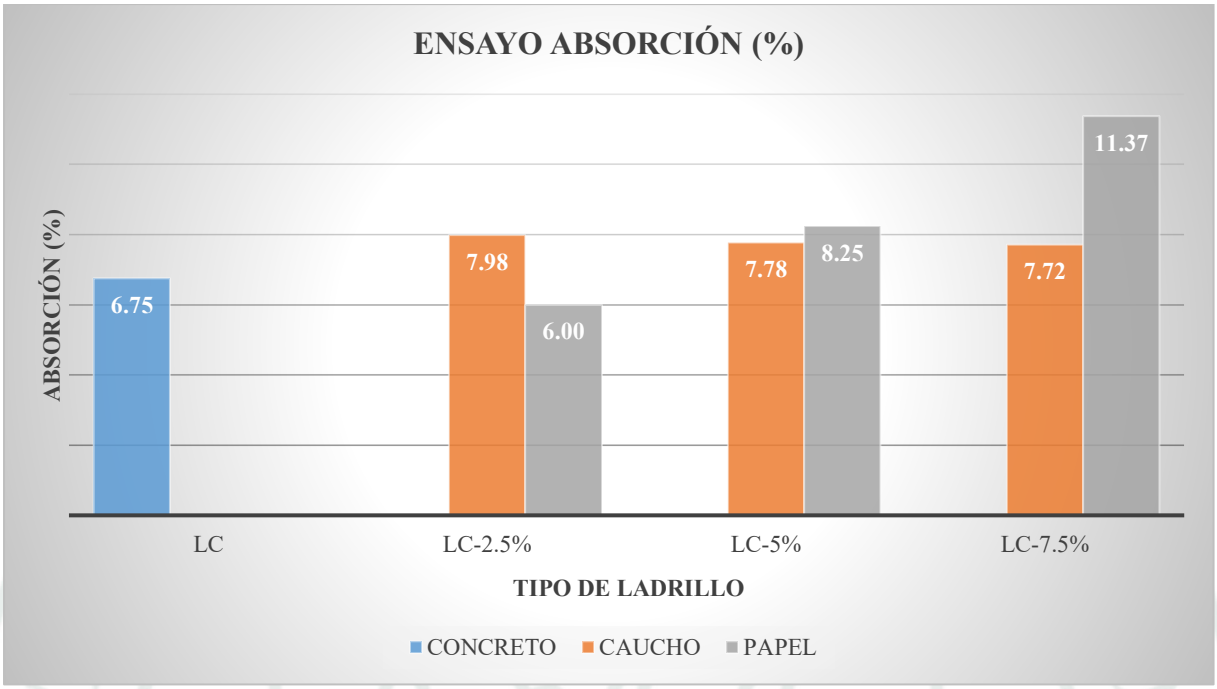
- Los ladrillos ecológicos de concreto ensayados a absorción cumplen con lo recomendado por la norma E.070, debido a que no sobrepasaron el 12%, por lo que presentaron condiciones favorables frente a la intemperie.

Tabla 81.
Absorción de ladrillos ecológicos de concreto muestreados.

TIPO DE LADRILLO	ABSORCION (%)
LC	6.75
LCC1	7.98
LCC2	7.78
LCC3	7.72
LCP1	6.00
LCP2	8.25
LCP3	11.37

Nota: Elaboración propia.

Figura 40.
Absorción de ladrillos ecológicos de concreto muestreados.



Nota: Elaboración propia.

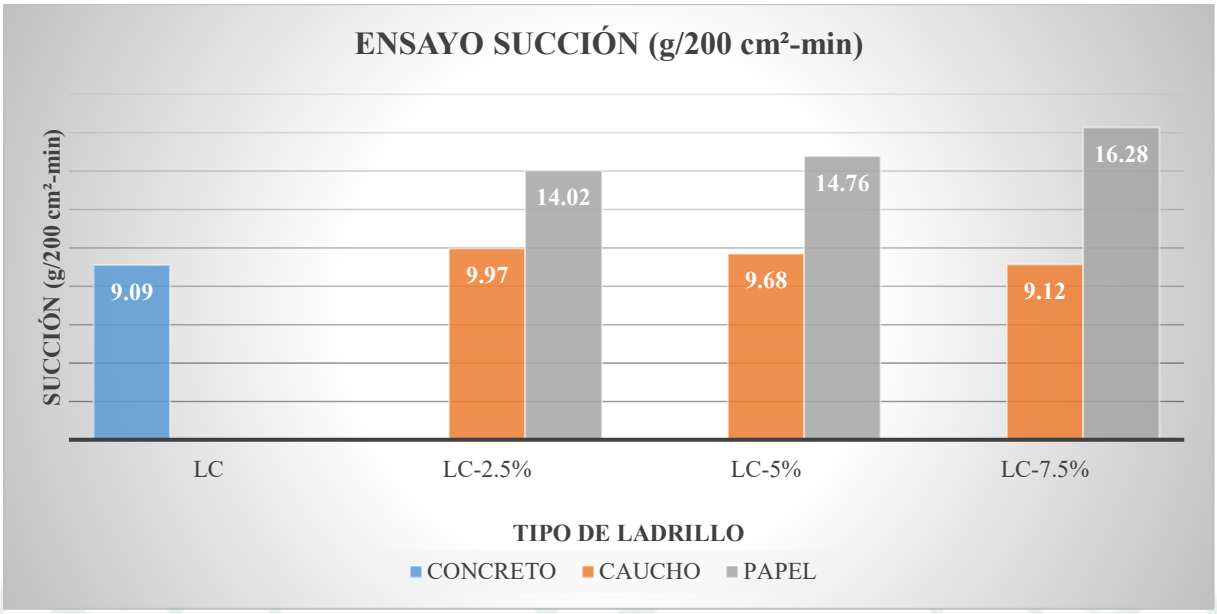
- Los ensayos de succión realizados a los ladrillos ecológicos de concreto presentaron valores menores, por lo cual no restaron agua al mortero, lo cual generó que no se presentaran problemas durante el proceso de asentado de los ladrillos, tal como se muestra a continuación.

Tabla 82.
Succión de ladrillos ecológicos de concreto muestreados.

TIPO DE LADRILLO	SUCCIÓN (g/200 cm²-min)
LC	9.09
LCC1	9.97
LCC2	9.68
LCC3	9.12
LCP1	14.02
LCP2	14.76
LCP3	16.28

Nota: Elaboración propia.

Figura 41.
Succión de ladrillos ecológicos de concreto muestreados.



Nota: Elaboración propia.

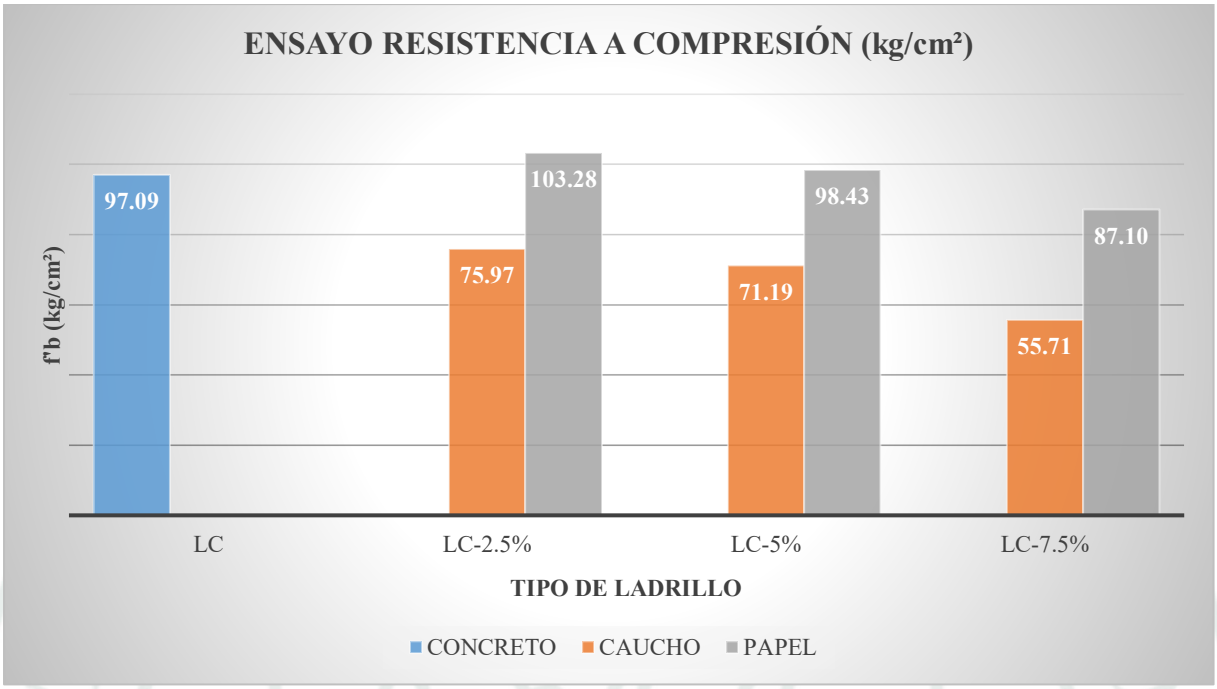
- Según los resultados que se obtuvieron del ensayo de compresión de las unidades de los ladrillos ecológicos de concreto, las unidades LC, LCP1, LCP2 se clasifican como tipo III; las unidades LCC1, LCC2 y LCP3 se clasifican como tipo II; finalmente, la unidad LCC3 se clasifica como tipo I; estos resultados indican que, a mayor porcentaje de reemplazo de las partículas de papel y caucho, se genera una reducción de las características mecánicas de los ladrillos, tal como se muestra a continuación.

Tabla 83.
Resistencia a compresión de ladrillos ecológicos de concreto muestreados.

RESISTENCIA DE LADRILLO DE CONCRETO			
TIPO DE LADRILLO	**EDAD DE ROTURA**	**RESISTENCIA (kg/cm²)**	**CLASE**
LC	28 DÍAS	97.09	TIPO III
LCC1	28 DÍAS	75.97	TIPO II
LCC2	28 DÍAS	71.19	TIPO II
LCC3	28 DÍAS	55.71	TIPO I
LCP1	28 DÍAS	103.28	TIPO III
LCP2	28 DÍAS	98.43	TIPO III
LCP3	28 DÍAS	87.10	TIPO II

Nota: Elaboración propia.

Figura 42.
Resistencia a compresión de ladrillos ecológicos de concreto muestreados.



Nota: Elaboración propia.

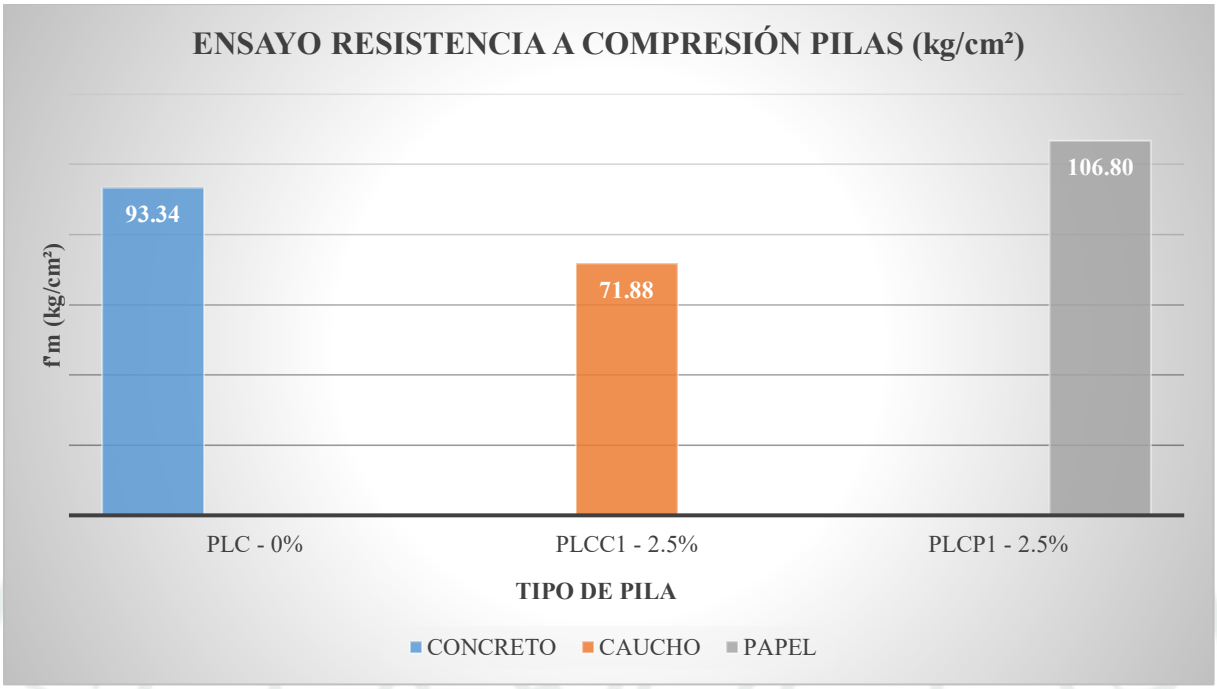
- Los resultados de compresión axial de prismas de los ladrillos ecológicos de concreto, indicaron que las unidades tipo LCP1 presentaron, en promedio, valores mayores que las unidades LC; asimismo, cumplieron con valores mayores a los recomendados por la norma E.070.

Tabla 84.
Resistencia a compresión axial de pilas de ladrillos ecológicos de concreto muestreados.

Tipo de Pila	Resistencia f'm (Kg/cm²)
PLC - 0%	93.34
PLCC1 - 2.5%	71.88
PLCP1 - 2.5%	106.80

Nota: Elaboración propia.

Figura 43.
Resistencia a compresión axial de pilas de ladrillos ecológicos de concreto muestreados.



Nota: Elaboración propia.

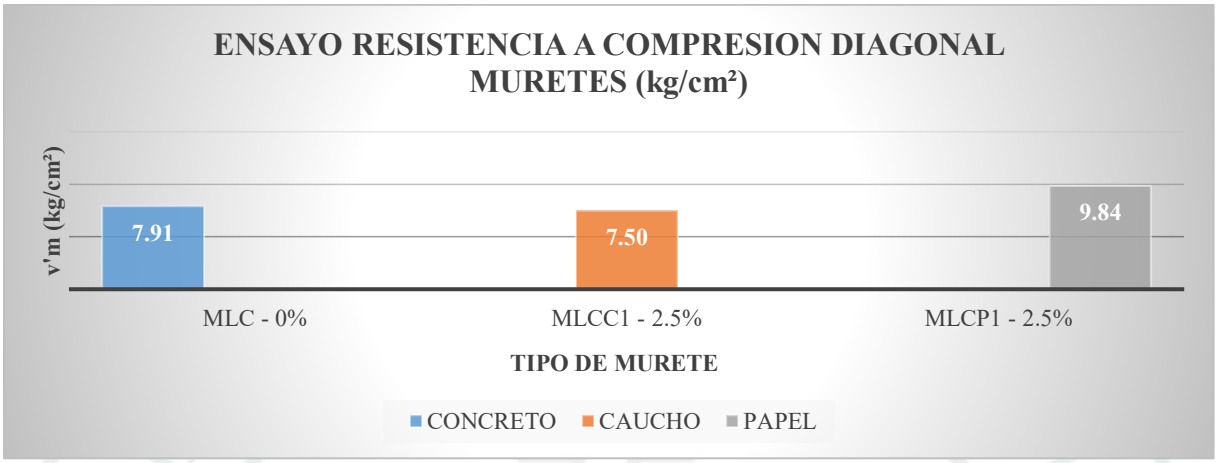
- Los resultados de compresión diagonal de muretes de los ladrillos ecológicos de concreto indicaron que las unidades tipo LCP1 presentaron, en promedio, mayores que las unidades LC; asimismo, cumplieron con valores mayores a los recomendados por la norma E.070.

Tabla 85.
Resistencia a compresión diagonal de muretes de ladrillos ecológicos de concreto muestreados.

Tipo de Murete	Resistencia v'm (kg/cm²)
MLC - 0%	7.91
MLCC1 - 2.5%	7.50
MLCP1 - 2.5%	9.84

Nota: Elaboración propia.

Figura 44.
Resistencia a compresión diagonal de muretes de ladrillos ecológicos de concreto muestreados.



Nota: Elaboración propia.

5.4.Estadístico de prueba

Dado que las variables respuestas variación dimensional (VD), alabeo (AL), porcentaje de vacíos (PV), absorción (AB), succión (SC), resistencia a compresión (RC), resistencia a compresión axial de pilas (RCA) y resistencia a compresión diagonal de muretes (RCM); todas estas son cuantitativas y existe una variable independiente llamado factor con niveles de tipo categórica ordinal que representa el tipo de diseño (niveles de dosificación), se buscó determinar la existencia de un efecto significativo del factor sobre la variable respuesta; en ese sentido, se trató de un diseño de análisis de varianza de un factor ANOVA; consecuentemente, para probar la hipótesis, se utilizó el análisis de varianza ANOVA de un factor y la prueba de rango post hoc de Tukey, con el fin de determinar cuál de los diseños presentó un mayor efecto en comparación con el natural.

- **Hipótesis nula (Ho):** No existieron diferencias en las propiedades físico-mecánicas de los ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y con sustitución parcial del agregado fino por partículas de papel reciclado, en porcentajes de 2.5%, 5% y 7.5%.

- **Hipótesis alterna (Ha):** Existieron diferencias en las propiedades físico-mecánicas de los ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y con sustitución parcial del agregado fino por partículas de papel reciclado, en porcentajes de 2.5%, 5% y 7.5%.

5.4.1. Requisitos para el ANOVA

Se probaron los supuestos de normalidad mediante la Prueba de Shapiro-Wilk y de homogeneidad (igualdad de varianzas) mediante la prueba de Levene; en caso de que no se cumpliera el supuesto de normalidad, se aplicaría la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis; en caso de que no se cumpliera la igualdad de varianzas, se aplicaría la prueba T3 de Dunnett en vez de la prueba de rango post hoc de Tukey.

5.4.2. Regla de decisión

Para todas las pruebas se asumió un nivel de significancia de 0.05 (con un nivel de confianza del 95%) y se consideró la hipótesis nula si el valor de significancia de la prueba es mayor al valor de significancia asumido.

- Si, p de la prueba > 0.05 : aceptamos Ho.
- Caso contrario, se rechaza Ho y se considera la hipótesis alterna Ha.

5.4.3. Análisis inferencial

En las siguientes tablas se muestran los resultados obtenidos en laboratorio para las propiedades de los ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y con sustitución parcial del agregado fino por partículas de papel reciclado.

Tabla 86.

Porcentaje de vacíos de los ladrillos ecológicos de concreto.

Nro	LC	LCC1	LCC2	LCC3	LCP1	LCP2	LCP3
1	21.92	22.76	22.22	23.61	25.85	26.09	25.07
2	22.08	21.93	21.78	22.85	26.11	26.78	25.45
3	21.59	22.61	22.00	23.17	27.56	26.40	26.23
4	21.37	23.35	21.98	22.99	27.44	26.71	26.52
5	22.23	23.94	22.22	22.86	27.25	26.97	26.28
6	21.00	22.53	22.82	22.84	26.40	27.50	27.06
7	21.49	23.30	22.45	23.80	25.35	26.47	25.45
8	21.36	22.72	21.82	23.57	26.85	26.22	26.17
9	22.05	23.47	21.98	23.98	26.55	26.92	26.36
10	21.91	23.04	22.58	23.12	26.90	26.32	26.40

Nota: Elaboración propia.

Tabla 87.

Absorción de los ladrillos ecológicos de concreto.

Nro	LC	LCC1	LCC2	LCC3	LCP1	LCP2	LCP3
1	7.65	8.02	8.71	7.65	6.35	8.51	11.74
2	6.82	8.35	8.96	8.45	6.24	8.59	11.88
3	7.13	8.93	7.76	7.74	5.99	8.19	11.52
4	6.65	8.37	7.78	7.95	6.02	8.36	11.61
5	7.61	8.74	8.14	8.12	6.56	8.34	11.25
6	7.09	7.89	8.25	8.29	6.14	8.36	11.52

Nota: Elaboración propia.

Tabla 88.

Succión de los ladrillos ecológicos de concreto.

Nro	LC	LCC1	LCC2	LCC3	LCP1	LCP2	LCP3
1	9.08	10.67	9.97	8.88	15.01	16.94	17.15
2	9.35	10.33	9.41	9.52	14.38	15.27	17.67
3	9.08	10.70	10.15	9.22	13.96	15.20	17.57
4	9.84	10.49	10.09	10.09	14.20	15.54	17.39
5	9.37	9.58	10.24	10.08	15.66	14.55	15.61
6	9.61	11.04	10.64	10.06	14.62	15.95	16.84

Nota: Elaboración propia.

Tabla 89.

Resistencia a compresión de los ladrillos ecológicos de concreto.

Nro	LC	LCC1	LCC2	LCC3	LCP1	LCP2	LCP3
1	96.16	72.06	67.98	56.49	105.98	94.63	89.42
2	89.58	76.07	74.52	56.01	92.05	101.90	90.66
3	93.52	74.56	66.85	54.66	113.38	97.84	82.35
4	97.12	76.12	76.90	53.99	105.48	100.19	86.78
5	109.09	81.04	69.67	57.40	99.51	97.60	86.31

Nota: Elaboración propia.

Tabla 90.
Resistencia a compresión axial de pilas de ladrillos ecológicos de concreto.

Nro	PLC	PLCC1	PLCP1
1	94.10	78.75	108.52
2	97.90	85.38	113.35
3	105.60	71.83	107.70

Nota: Elaboración propia.

Tabla 91.
Resistencia a compresión diagonal de muretes de ladrillos ecológicos de concreto.

Nro	MLC	MLCC1	MLCP1
1	10.86	10.62	9.63
2	8.05	11.56	11.90
3	9.08	7.20	12.12

Nota: Elaboración propia.

5.4.4. Análisis de distribución normal de Shapiro-Wilk

Para realizar la verificación de la distribución de normalidad, se tomó en cuenta lo indicado por la regla de decisión, por lo cual se consideró lo siguiente:

- Si, Valor p > 0.05 : aceptamos que existe una distribución normal en la población.
- Caso contrario se aceptará que no existe una distribución normal en la población.

Tabla 92.
Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk de porcentaje de vacíos.

	LC	*LCC1*	*LCC2*	*LCC3*	*LCP1*	*LCP2*	*LCP3*
Estadístico Shapiro-Wilk	0.945	0.980	0.929	0.885	0.965	0.950	0.924
Valor p	0.607	0.965	0.440	0.148	0.845	0.667	0.388
Alfa	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Normalidad	si	si	si	si	si	si	si

Nota: Elaboración propia.

Tabla 93.
Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk de absorción.

	LC	*LCC1*	*LCC2*	*LCC3*	*LCP1*	*LCP2*	*LCP3*
Estadístico Shapiro-Wilk	0.915	0.948	0.917	0.961	0.945	0.943	0.972
Valor p	0.471	0.725	0.481	0.826	0.703	0.687	0.907
Alfa	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Normalidad	si	si	si	si	si	si	si

Nota: Elaboración propia.

Tabla 94.
Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk de succión.

	LC	***LCC1***	***LCC2***	***LCC3***	***LCP1***	***LCP2***	***LCP3***
Estadístico Shapiro-Wilk	0.920	0.912	0.943	0.852	0.946	0.954	0.828
Valor p	0.504	0.451	0.681	0.162	0.706	0.771	0.103
Alfa	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Normalidad	si	si	si	si	si	si	si

Nota: Elaboración propia.

Tabla 95.
Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk de resistencia a compresión.

	LC	***LCC1***	***LCC2***	***LCC3***	***LCP1***	***LCP2***	***LCP3***
Estadístico Shapiro-Wilk	0.894	0.936	0.908	0.963	0.973	0.973	0.952
Valor p	0.379	0.639	0.454	0.828	0.896	0.895	0.751
Alfa	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Normalidad	si	si	si	si	si	si	si

Nota: Elaboración propia.

Tabla 96.
Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk de resistencia a compresión axial de pilas.

	PLC	***PLCC1***	***PLCP1***
Estadístico Shapiro-Wilk	0.963	1.000	0.857
Valor p	0.631	0.975	0.258
Alfa	0.05	0.05	0.05
Normalidad	si	si	si

Nota: Elaboración propia.

Tabla 97.
Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk de resistencia a compresión diagonal de muretes.

	MLC	***MLCC1***	***MLCP1***
Estadístico Shapiro-Wilk	0.976	0.903	0.814
Valor p	0.703	0.394	0.148
Alfa	0.05	0.05	0.05
Normalidad	si	si	si

Nota: Elaboración propia.

En las tablas de las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk se determinó que los valores de las propiedades de porcentaje de vacíos, absorción, succión, resistencia a compresión, resistencia a compresión axial de pilas y resistencia a compresión diagonal de muretes presentaron, en todos los casos, valores de **p>0.05**, lo que indicó que los datos

presentaron una distribución normal de los datos; por lo tanto, se puede proceder con el ANOVA de un factor.

5.4.5. Análisis de homogeneidad de varianzas de Levene

Para realizar la verificación de la homogeneidad, se tomó en cuenta lo indicado por la regla de decisión, por lo cual se consideró lo siguiente:

- Si, Valor p > 0.05 : aceptamos que las varianzas de las poblaciones son homogéneas.
- Caso contrario se aceptará que no existen varianzas homogéneas de las poblaciones.

Tabla 98.
Prueba de homogeneidad de Levene de porcentaje de vacíos.

Tipo	Valor p
Media	0.215
Mediana	0.364
Media recortada	0.215

Nota: Elaboración propia.

Tabla 99.
Prueba de homogeneidad de Levene de absorción.

Tipo	Valor p
Media	0.117
Mediana	0.170
Media recortada	0.117

Nota: Elaboración propia.

Tabla 100.
Prueba de homogeneidad de Levene de succión.

Tipo	Valor p
Media	0.498
Mediana	0.699
Media recortada	0.498

Nota: Elaboración propia.

Tabla 101.
Prueba de homogeneidad de Levene de resistencia a compresión.

Tipo	Valor p
Media	0.123
Mediana	0.371
Media recortada	0.123

Nota: Elaboración propia.

Tabla 102.
Prueba de homogeneidad de Levene de resistencia a compresión axial de pilas.

Tipo	Valor p
Media	0.594
Mediana	0.654
Media recortada	0.594

Nota: Elaboración propia.

Tabla 103.
Prueba de homogeneidad de Levene de resistencia a compresión diagonal de muretes.

Tipo	Valor p
Media	0.428
Mediana	0.837
Media recortada	0.428

Nota: Elaboración propia.

En las tablas de las pruebas de homogeneidad de varianzas de Levene se determinó que los valores de las propiedades de porcentaje de vacíos, absorción, succión, resistencia a compresión, resistencia a compresión axial de pilas y resistencia a compresión diagonal de muretes presentaron, en todos los casos, valores de **p>0.05**, lo que indicó la homogeneidad de las varianzas; por lo tanto, se procedió con el ANOVA de un factor.

5.4.6. Análisis de varianza de ANOVA de un factor

Para realizar la verificación del análisis de varianza, se tomó en cuenta lo indicado por la regla de decisión, por lo cual se consideró lo siguiente:

- Si, Valor p < 0.05 : aceptamos que existe diferencias entre al menos uno de los grupos.
- Caso contrario se aceptará que no existen diferencias entre los grupos.

Tabla 104.
Análisis de varianza ANOVA de un factor de porcentaje de vacíos.

Fuentes	***Suma de cuadrados (SS)***	***Grados de libertad***	***Media cuadrática (MS)***	***F***	***Valor p***
Entre grupos	281.146	6	46.858	178.818	1.32988E-37
Dentro de los grupos	16.509	63	0.262		
Total	297.655	69			

Nota: Elaboración propia.

Tabla 105.
Análisis de varianza ANOVA de un factor de absorción.

Fuentes	*Suma de cuadrados (SS)*	*Grados de libertad*	*Media cuadrática (MS)*	*F*	*Valor p*
Entre grupos	99.238	6	16.540	149.945	1.81776E-23
Dentro de los grupos	3.861	35	0.110		
Total	103.099	41			

Nota: Elaboración propia.

Tabla 106.
Análisis de varianza ANOVA de un factor de succión.

Fuentes	*Suma de cuadrados (SS)*	*Grados de libertad*	*Media cuadrática (MS)*	*F*	*Valor p*
Entre grupos	374.195	6	62.366	183.536	6.04096E-25
Dentro de los grupos	11.893	35	0.340		
Total	386.088	41			

Nota: Elaboración propia.

Tabla 107.
Análisis de varianza ANOVA de un factor de resistencia a compresión.

Fuentes	*Suma de cuadrados (SS)*	*Grados de libertad*	*Media cuadrática (MS)*	*F*	*Valor p*
Entre grupos	8949.471	6	1491.579	62.681	6.17643E-15
Dentro de los grupos	666.302	28	23.797		
Total	9615.774	34			

Nota: Elaboración propia.

Tabla 108.
Análisis de varianza ANOVA de un factor de resistencia a compresión axial de pilas.

Fuentes	*Suma de cuadrados (SS)*	*Grados de libertad*	*Media cuadrática (MS)*	*F*	*Valor p*
Entre grupos	1509.348	2	754.674	25.270	0.001
Dentro de los grupos	179.190	6	29.865		
Total	1688.538	8			

Nota: Elaboración propia.

Tabla 109.
Análisis de varianza ANOVA de un factor de resistencia a compresión diagonal de muretes.

Fuentes	*Suma de cuadrados (SS)*	*Grados de libertad*	*Media cuadrática (MS)*	*F*	*Valor p*
Entre grupos	5.808	2	2.904	0.949	0.438
Dentro de los grupos	18.359	6	3.060		
Total	24.168	8			

Nota: Elaboración propia.

En las tablas de las pruebas de análisis de varianza ANOVA de un factor se determinó que los valores de las propiedades de porcentaje de vacíos, absorción, succión, resistencia a compresión y resistencia a compresión axial de pilas presentaron, en todos los casos, valores

de **p<0.05**, lo que indicó la existencia de diferencias entre al menos uno de los grupos; mientras que, para el caso de resistencia a compresión diagonal de muretes, se obtuvo un valor de **p>0.05**, lo cual indicó que no existieron diferencias significativas entre los grupos; para los casos en los que se encontraron diferencias significativas, se procedió a realizar prueba Tukey para determinar la significancia de las diferencias.

5.4.7. Análisis de prueba post hoc de Tukey

Para realizar la verificación de la prueba post hoc, se tomó en cuenta lo indicado por la regla de decisión, por lo cual se consideró lo siguiente:

- Si, Valor p < 0.05 : aceptamos que existe diferencias significativas entre los grupos.
- Caso contrario se aceptará que no hay diferencias significativas entre los grupos.

Tabla 110.
Prueba de post hoc de Tukey de porcentaje de vacíos.

Grupo 1	*Grupo 2*	*Promedio*	*q estadístico*	*Límite inferior*	*Límite superior*	*Valor p*
LC	LCC1	1.268	7.835	0.571	1.965	0.0000
LC	LCC2	0.488	3.012	-0.210	1.185	0.3485
LC	LCC3	1.580	9.763	0.883	2.278	0.0000
LC	LCP1	4.927	30.437	4.230	5.624	0.0000
LC	LCP2	4.940	30.517	4.243	5.637	0.0000
LC	LCP3	4.400	27.180	3.703	5.097	0.0000
LCC1	LCC2	0.781	4.823	0.084	1.478	0.0185
LCC1	LCC3	0.312	1.928	-0.385	1.009	0.8189
LCC1	LCP1	3.659	22.602	2.962	4.356	0.0000
LCC1	LCP2	3.672	22.682	2.974	4.369	0.0000
LCC1	LCP3	3.132	19.345	2.434	3.829	0.0000
LCC2	LCC3	1.093	6.751	0.396	1.790	0.0002
LCC2	LCP1	4.439	27.425	3.742	5.137	0.0000
LCC2	LCP2	4.452	27.505	3.755	5.150	0.0000
LCC2	LCP3	3.912	24.168	3.215	4.609	0.0000
LCC3	LCP1	3.347	20.674	2.649	4.044	0.0000
LCC3	LCP2	3.360	20.754	2.662	4.057	0.0000
LCC3	LCP3	2.819	17.417	2.122	3.517	0.0000
LCP1	LCP2	0.013	0.080	-0.684	0.710	1.0000
LCP1	LCP3	0.527	3.257	-0.170	1.224	0.2590
LCP2	LCP3	0.540	3.337	-0.157	1.237	0.2332

Nota: Elaboración propia.

En la tabla de la prueba post hoc de Tukey se determinó que los valores de la propiedad de porcentaje de vacíos presentaron, en la mayoría de los casos, valores de **p<0.05**, lo que indicó la existencia de diferencias significativas entre los grupos; se exceptuaron los casos LC-

LCC2, LCC1-LCC3, LCP1-LCP2, LCP1-LCP3 y LCP2-LCP3, para los cuales se obtuvieron valores de **p>0.05**, lo que indicó que no existieron diferencias significativas entre los grupos.

Tabla 111.
Prueba de post hoc de Tukey de absorción.

Grupo 1	*Grupo 2*	*Promedio*	*q estadístico*	*Límite inferior*	*Límite superior*	*Valor p*
LC	LCC1	1.225	9.031	0.625	1.824	0.0000
LC	LCC2	1.109	8.180	0.510	1.709	0.0000
LC	LCC3	0.873	6.441	0.274	1.473	0.0011
LC	LCP1	0.942	6.949	0.343	1.542	0.0004
LC	LCP2	1.233	9.090	0.633	1.832	0.0000
LC	LCP3	4.429	32.665	3.830	5.028	0.0000
LCC1	LCC2	0.115	0.851	-0.484	0.715	0.9964
LCC1	LCC3	0.351	2.590	-0.248	0.951	0.5369
LCC1	LCP1	2.167	15.980	1.567	2.766	0.0000
LCC1	LCP2	0.008	0.059	-0.591	0.607	1.0000
LCC1	LCP3	3.204	23.634	2.605	3.804	0.0000
LCC2	LCC3	0.236	1.739	-0.364	0.835	0.8776
LCC2	LCP1	2.051	15.129	1.452	2.651	0.0000
LCC2	LCP2	0.123	0.910	-0.476	0.723	0.9947
LCC2	LCP3	3.320	24.484	2.720	3.919	0.0000
LCC3	LCP1	1.816	13.390	1.216	2.415	0.0000
LCC3	LCP2	0.359	2.649	-0.240	0.959	0.5104
LCC3	LCP3	3.556	26.224	2.956	4.155	0.0000
LCP1	LCP2	2.175	16.039	1.575	2.774	0.0000
LCP1	LCP3	5.371	39.614	4.772	5.971	0.0000
LCP2	LCP3	3.196	23.574	2.597	3.796	0.0000

Nota: Elaboración propia.

En la tabla de la prueba post hoc de Tukey se determinó que los valores de la propiedad de absorción presentaron, en la mayoría de los casos, valores de **p<0.05**, lo que indicó la existencia de diferencias significativas entre los grupos; se exceptuaron los casos LCC1-LCC2, LCC1-LCC3, LCC1-LCP2, LCC2-LCC3, LCC2-LCP2 y LCC3-LCP2, para los cuales se obtuvieron valores de **p>0.05**, lo que indicó que no existieron diferencias significativas entre los grupos.

Tabla 112.

Prueba de post hoc de Tukey de succión.

Grupo 1	*Grupo 2*	*Promedio*	*q estadístico*	*Límite inferior*	*Límite superior*	*Valor p*
LC	LCC1	1.079	4.532	0.026	2.131	0.0415
LC	LCC2	0.693	2.910	-0.360	1.745	0.3989
LC	LCC3	0.249	1.046	-0.803	1.301	0.9890
LC	LCP1	5.248	22.051	4.196	6.300	0.0000
LC	LCP2	6.182	25.979	5.130	7.234	0.0000
LC	LCP3	7.648	32.137	6.596	8.700	0.0000
LCC1	LCC2	0.386	1.622	-0.666	1.438	0.9087
LCC1	LCC3	0.830	3.486	-0.222	1.882	0.2032
LCC1	LCP1	4.169	17.519	3.117	5.221	0.0000
LCC1	LCP2	5.104	21.447	4.052	6.156	0.0000
LCC1	LCP3	6.569	27.605	5.517	7.621	0.0000
LCC2	LCC3	0.444	1.864	-0.608	1.496	0.8388
LCC2	LCP1	4.555	19.141	3.503	5.607	0.0000
LCC2	LCP2	5.490	23.069	4.438	6.542	0.0000
LCC2	LCP3	6.955	29.227	5.903	8.007	0.0000
LCC3	LCP1	4.999	21.005	3.947	6.051	0.0000
LCC3	LCP2	5.934	24.933	4.881	6.986	0.0000
LCC3	LCP3	7.399	31.091	6.347	8.451	0.0000
LCP1	LCP2	0.935	3.928	-0.117	1.987	0.1092
LCP1	LCP3	2.400	10.086	1.348	3.452	0.0000
LCP2	LCP3	1.466	6.158	0.413	2.518	0.0020

Nota: Elaboración propia.

En la tabla de la prueba post hoc de Tukey se determinó que los valores de la propiedad de succión presentaron, en la mayoría de los casos, valores de **p<0.05**, lo que indicó la existencia de diferencias significativas entre los grupos; se exceptuaron los casos LC-LCC2, LC-LCC3, LCC1-LCC2, LCC1-LCC3, LCC-LCC3 y LCP1-LCP2, para los cuales se obtuvieron valores de **p>0.05**, lo que indicó que no existieron diferencias significativas entre los grupos.

Tabla 113.
Prueba de post hoc de Tukey de resistencia a compresión.

Grupo 1	*Grupo 2*	*Promedio*	*q estadístico*	*Límite inferior*	*Límite superior*	*Valor p*
LC	LCC1	21.124	9.683	11.337	30.911	0.0000
LC	LCC2	25.909	11.876	16.122	35.695	0.0000
LC	LCC3	41.384	18.970	31.598	51.171	0.0000
LC	LCP1	6.183	2.834	-3.603	15.970	0.4344
LC	LCP2	1.338	0.613	-8.449	11.124	0.9994
LC	LCP3	9.992	4.580	0.206	19.779	0.0430
LCC1	LCC2	4.785	2.193	-5.002	14.571	0.7129
LCC1	LCC3	20.260	9.287	10.474	30.047	0.0000
LCC1	LCP1	27.307	12.517	17.521	37.094	0.0000
LCC1	LCP2	22.462	10.296	12.675	32.248	0.0000
LCC1	LCP3	11.132	5.103	1.345	20.918	0.0180
LCC2	LCC3	15.476	7.094	5.689	25.262	0.0005
LCC2	LCP1	32.092	14.710	22.305	41.878	0.0000
LCC2	LCP2	27.246	12.489	17.460	37.033	0.0000
LCC2	LCP3	15.916	7.296	6.130	25.703	0.0003
LCC3	LCP1	47.567	21.804	37.781	57.354	0.0000
LCC3	LCP2	42.722	19.583	32.935	52.508	0.0000
LCC3	LCP3	31.392	14.389	21.605	41.178	0.0000
LCP1	LCP2	4.846	2.221	-4.941	14.632	0.7011
LCP1	LCP3	16.175	7.415	6.389	25.962	0.0003
LCP2	LCP3	11.330	5.193	1.543	21.117	0.0154

Nota: Elaboración propia.

En la tabla de la prueba post hoc de Tukey se determinó que los valores de la propiedad de resistencia a compresión presentaron, en la mayoría de los casos, valores de **p<0.05**, lo que indicó la existencia de diferencias significativas entre los grupos; se exceptuaron los casos LC-LCP1, LC-LCP2, LCC1-LCC2 y LCP1-LCP2, para los cuales se obtuvieron valores de **p>0.05**, lo que indicó que no existieron diferencias significativas entre los grupos.

Tabla 114.
Prueba de post hoc de Tukey de resistencia a compresión axial de pilas.

Grupo 1	*Grupo 2*	*Promedio*	*q estadístico*	*Límite inferior*	*Límite superior*	*Valor p*
PLC	PLCC1	20.546	6.512	6.856	34.237	0.009
PLC	PLCP1	10.657	3.377	-3.034	24.347	0.118
PLCC1	PLCP1	31.203	9.890	17.513	44.893	0.001

Nota: Elaboración propia.

En la tabla de la prueba post hoc de Tukey se determinó que los valores de la propiedad de resistencia a compresión axial de pilas presentaron, en los casos PLC-PLCC1 y PLCC1-PLCP1 valores de **p<0.05**, lo que indicó la existencia de diferencias significativas entre los

grupos; en el caso PLC-PLCP1, se obtuvo un valor de **p>0.05**, lo que indicó que no existió una diferencia significativa entre los grupos.

5.5.Costo de ladrillo ecológico

El costo para la elaboración de una unidad de ladrillo de concreto patrón y ladrillos ecológicos de concreto con cada material sustituyente se muestra tal como se indica a continuación; se tomó en cuenta que, al haberse realizado exclusivamente en los laboratorios de la UCSM, los rendimientos y precios obtenidos no podían ser extrapolados a costos de escala industrial; asimismo, las diferencias correspondieron únicamente a una comparación de costos experimentales referenciales.

5.5.1. Costo de obtención de partículas de caucho reciclado

Las partículas de caucho se obtuvieron por medio de una compra directa realizada en el mes de junio de 2025, en la reencauchadora RELINO, la cual está ubicada en la avenida Sepulveda 125, Miraflores, en la ciudad de Arequipa; se compró a un precio de S/. 0.80 por kg de caucho.

5.5.2. Costo de obtención de partículas de papel reciclado

Las partículas de papel se obtuvieron por medio de la compra de papel bond en el mes de junio de 2025, este material correspondió a deshechos de impresiones de documentos, los cuales pasaron por un proceso de trituración para la obtención de las partículas; al realizarse la compra, debido a que se trató de un conjunto amplio de documentos, el precio de compra fue de S/. 0.30 por kg de papel. El rendimiento tanto de la mano de obra como de la maquinaria se tomó de lo realizado, debido a que se realizó solo la trituración de 40kg durante un periodo de 1.5 horas; primero, se usó la trituradora, que entregó tiras de 0.5 cm; después, se usó la procesadora para obtener las partículas de papel. Para obtener el precio de uso de la trituradora de papel y la procesadora, se realizó el cálculo que se muestra a continuación.

Tabla 115.

Costo horario de trituradora y procesadora de papel.

	und	Trituradora Papel	Procesadora
Costo energía	S/. / kW	0.48	0.48
Potencia	kW	0.22	0.3
Precio	S/.	413	58
Vida Útil	a	5	3
N° días	d/a	250	250
Diario	h/d	8	8
hora vida útil	h	10000	6000
Depreciación	S/. /h	0.04	0.01
Consumo energía	S/. / h	0.11	0.14
Mantenimiento	S/. / h	0.01	0.00
Costo horario	S/. / h	**0.16**	**0.16**

(*) Los precios se obtuvieron de compras realizadas en junio de 2025.

Nota: Elaboración propia.

Tomando las consideraciones indicadas, se realizó una tabla APU con formato de CAPECO para el proceso de obtención de las partículas de papel reciclado.

Tabla 116.

APU de trituración de papel reciclado.

Partida:	PARTÍCULAS DE PAPEL RECICLADO				
Rendimiento	215.00 kg/día				
Elaborado por:	Emerson Paredes Aroquipa		**Costo unitario por kg:**		**S/. 0.40**
Descripción de Recurso	**Unidad**	**Cuadrilla**	**Cantidad**	**Precio (S/.)**	**Parcial (S/.)**
Mano de Obra					
Peon	hh	1	0.0372	7.48	0.28
					0.28
Materiales					
Papel	kg		0.0465	0.30	0.01
					0.01
Equipos					
Herramientas manuales	%mo		3	0.28	0.01
Trituradora Papel	hm	1	0.0372	1.28	0.05
Procesadora	hm	1	0.0372	1.28	0.05
					0.10

(*) Los precios se obtuvieron de compras realizadas en junio de 2025.

(*) El rendimiento se obtuvo de lo ejecutado en laboratorio.

Nota: Elaboración propia.

5.5.3. Costo de obtención de materiales

Para la presente investigación se usó cemento YURA MAX, el cual se compró en el mes de junio de 2025 en una ferretería ubicada en el ingreso de Socabaya, a un precio de S/. 27.50 por bolsa; adicionalmente, se compró confitillo proveniente de la cantera Imapalca, la

cual está ubicada en el distrito de Socabaya, a un precio de S/. 6.60 por saco; asimismo, se usó agua del laboratorio, la cual proviene de la red de SEDAPAR; finalmente, se compró arena de embolsados SUPERMIX, con un precio de S/. 6.40 por saco; todas estas compras se realizaron en el mes de junio de 2025; estos materiales se llevaron a las instalaciones del laboratorio FAICA UCSM en transporte propio; los precios usados correspondieron únicamente a una escala experimental referencial, por lo cual no se podrá extrapolar a costos de escala industrial.

Figura 45.

Compra de insumos para elaboración de ladrillo ecológico de concreto.



Boleta compra Arena

Boleta compra de cemento

Compra de trituradora

Compra fabricacion molde

Nota: Elaboración propia.

5.5.4. Transporte de materiales

El transporte de los materiales se realizó en 3 días por medio de auto propio, para lo cual se destinaron S/. 90.00 para gasolina; al realizar un cálculo por kilogramo transportado al

laboratorio, se obtuvo un costo de transporte de 0.03 S/./kg; sin embargo, debido a que solo se realizó en una única etapa, no corresponde su incidencia en los APU de elaboración de ladrillos.

Tabla 117.
Costo de transporte por kg de material.

Material	Cantidad (bolsa)	Peso Unitario (kg)	Peso total (kg)
Arena	33	40	1320
Confitillo	26	30	780
Cemento	11	42.5	467.5
Caucho	2	25	50
Papel	2	20	40
	Total (kg)		**2657.5**
	Gasolina (S/.)		**90**
	Costo de transporte (S/. / kg)		**0.03**

(*) La cantidad se obtuvo de los materiales transportados al laboratorio UCSM.

Nota: Elaboración propia.

5.5.5. Rendimiento para elaboración de ladrillos

- Mano de Obra

Para el rendimiento del proceso de elaboración de los ladrillos de concreto ecológicos se consideró lo realizado en un día en el laboratorio de la UCSM, para lo cual se consiguió una cantidad de 65 ladrillos/día.

Para el proceso de obtención de la cantidad, se tomó en cuenta la cantidad del personal y las horas laboradas en un día normal en laboratorio; estos rendimientos corresponden a exclusivamente a una escala experimental referencial, por lo cual no podrán ser extrapolados a rendimientos de escala industrial.

Tabla 118.
Cantidad de mano de obra en elaboración de ladrillos ecológicos.

	Unidad	Valor
Diario	h/d	8
Personal	und	1
Rendimiento	und/d	65
Cantidad		0.1231

Nota: Elaboración propia.

- Mezcladora

  Para el rendimiento de la mezcladora de concreto se consideró la mezcladora del laboratorio de la UCSM, para lo cual se consultó a la dirección el precio por el uso de esta, el cual fue de S/. 1.00 ; asimismo, para el rendimiento se tomó en cuenta solo lo realizado en el día de elaboración del ladrillo de concreto, el cual fue de 65 ladrillos/día, este rendimiento correspondió únicamente a una escala experimental referencial, por lo cual no podrá ser extrapolado a un rendimiento de escala industrial.

Tabla 119.
Cantidad de mezcladora en elaboración de ladrillos ecológicos.

	Unidad	Valor
Diario	h/d	8
mezcladora	und	1
Rendimiento	und/d	65
Cantidad		0.1231

Nota: Elaboración propia.

- Materiales

  Para obtener la cantidad de material se tomó en cuenta, según las unidades tomadas en cuenta en el proceso de diseño de mezclas, lo referente únicamente a la elaboración de 1 ladrillo ecológico de concreto en cada tipo de dosificación, debido a que se usó 1 m3 de mezcla para 467 ladrillos; adicionalmente, se indicó que las cantidades correspondieron exclusivamente a una escala experimental referencial, por lo cual no podrán ser extrapoladas a cantidades de escala industrial; por lo tanto, se obtuvieron los siguientes valores:

Tabla 120.
Cantidad de material para 1 ladrillo de concreto.

CANTIDAD PARA 1 LADRILLO DE CONCRETO			
Material	**Unidad**	**Valor para 1 m3 de mezcla**	**Valor para 1 ladrillo**
Confitillo	m3	0.265	0.0006
Arena	m3	0.383	0.0008
Agua	m3	0.24	0.0005
Cemento HS (42.5 kg)	bl	7.755	0.0166

Nota: Elaboración propia.

Tabla 121.

Cantidad de material para 1 ladrillo ecológico de concreto - papel 2.5%.

CANTIDAD PARA 1 LADRILLO ECOLÓGICO DE CONCRETO - PAPEL 2.5%			
Material	**Unidad**	**Valor para 1 m3 de mezcla**	**Valor para 1 ladrillo**
Confitillo	m3	0.265	0.0006
Arena	m3	0.373	0.0008
Agua	m3	0.240	0.0005
Papel Reciclado	kg	24.743	0.0530
Cemento HS (42.5 kg)	bl	7.755	0.0166

Nota: Elaboración propia.

Tabla 122.

Cantidad de material para 1 ladrillo ecológico de concreto - papel 5%.

CANTIDAD PARA 1 LADRILLO ECOLÓGICO DE CONCRETO - PAPEL 5%			
Material	**Unidad**	**Valor para 1 m3 de mezcla**	**Valor para 1 ladrillo**
Confitillo	m3	0.265	0.0006
Arena	m3	0.364	0.0008
Agua	m3	0.240	0.0005
Papel Reciclado	kg	49.020	0.1050
Cemento HS (42.5 kg)	bl	7.755	0.0166

Nota: Elaboración propia.

Tabla 123.

Cantidad de material para 1 ladrillo ecológico de concreto - papel 7.5%.

CANTIDAD PARA 1 LADRILLO ECOLÓGICO DE CONCRETO - PAPEL 7.5%			
Material	**Unidad**	**Valor para 1 m3 de mezcla**	**Valor para 1 ladrillo**
Confitillo	m3	0.265	0.0006
Arena	m3	0.354	0.0008
Agua	m3	0.240	0.0005
Papel Reciclado	kg	73.763	0.1580
Cemento HS (42.5 kg)	bl	7.755	0.0166

Nota: Elaboración propia.

Tabla 124.

Cantidad de material para 1 ladrillo ecológico de concreto - caucho 2.5%.

CANTIDAD PARA 1 LADRILLO ECOLÓGICO DE CONCRETO - CAUCHO 2.5%			
Material	**Unidad**	**Valor para 1 m3 de mezcla**	**Valor para 1 ladrillo**
Confitillo	m3	0.265	0.0006
Arena	m3	0.373	0.0008
Agua	m3	0.240	0.0005
Caucho Reciclado	kg	24.743	0.0530
Cemento HS (42.5 kg)	bl	7.755	0.0166

Nota: Elaboración propia.

Tabla 125.

Cantidad de material para 1 ladrillo ecológico de concreto - caucho 5%.

CANTIDAD PARA 1 LADRILLO ECOLÓGICO DE CONCRETO - CAUCHO 5%			
Material	**Unidad**	**Valor para 1 m3 de mezcla**	**Valor para 1 ladrillo**
Confitillo	m3	0.265	0.0006
Arena	m3	0.364	0.0008
Agua	m3	0.240	0.0005
Caucho Reciclado	kg	49.020	0.1050
Cemento HS (42.5 kg)	bl	7.755	0.0166

Nota: Elaboración propia.

Tabla 126.

Cantidad de material para 1 ladrillo ecológico de concreto - caucho 7.5%.

CANTIDAD PARA 1 LADRILLO ECOLÓGICO DE CONCRETO - CAUCHO 7.5%			
Material	**Unidad**	**Valor para 1 m3 de mezcla**	**Valor para 1 ladrillo**
Confitillo	m3	0.265	0.0006
Arena	m3	0.354	0.0008
Agua	m3	0.240	0.0005
Caucho Reciclado	kg	73.763	0.1580
Cemento HS (42.5 kg)	bl	7.755	0.0166

Nota: Elaboración propia.

5.5.6. Análisis de precios unitarios

Una vez determinados los componentes presentes en el análisis de precios unitarios, se realizaron los APU de cada dosificación considerada; se tomó en cuenta que los precios obtenidos correspondieron exclusivamente a una escala puntual, experimental y referencial; asimismo, los rendimientos correspondieron a rendimientos experimentales de laboratorio, por lo cual no podrán ser extrapolado a costos y rendimientos de una escala industrial, las diferencias de costo correspondieron exclusivamente a una comparación de costos netamente experimentales; los APU experimentales referenciales son los siguientes:

Tabla 127.

Elaboración de ladrillo de concreto patrón.

Partida:	ELABORACION DE LADRILLO DE CONCRETO				
Rendimiento	65.00 und/día				
Elaborado por:	Emerson Paredes Aroquipa		**Costo Unitario por und:**		**S/. 1.60**
Descripción de Recurso	**Unidad**	**Cuadrilla**	**Cantidad**	**Precio (S/.)**	**Parcial (S/.)**
Mano de Obra					
Peon	hh	1	0.1231	7.48	0.92
					0.92
Materiales					
Confitillo	m3		0.0006	63	0.04
Arena	m3		0.0008	49	0.04
Agua	m3		0.0005	1.065	0.001
Cemento HS (42.5 kg)	bol		0.0166	27.1	0.45
					0.53
Equipos					
Herramientas manuales	%mo		3	0.92	0.03
Mezcladora	hm	1	0.1231	1	0.12
					0.15

(*) Los precios son puntuales y experimentales de compras realizadas en junio de 2025.

(*) El rendimiento es experimental de lo realizado en laboratorio UCSM.

Nota: Elaboración propia.

Tabla 128.

Elaboración de ladrillo ecológico de concreto- papel 2.5%.

Partida:	ELABORACION DE LADRILLO ECOLÓGICO DE CONCRETO - PAPEL 2.5%				
Rendimiento	65.00 und/día				
Elaborado por:	Emerson Paredes Aroquipa		**Costo Unitario por und:**		**S/. 1.62**
Descripción de Recurso	**Unidad**	**Cuadrilla**	**Cantidad**	**Precio (S/.)**	**Parcial (S/.)**
Mano de Obra					
Peon	hh	1	0.1231	7.48	0.92
					0.92
Materiales					
Confitillo	m3		0.0006	63	0.04
Arena	m3		0.0008	49	0.04
Agua	m3		0.0005	1.065	0.00
Papel Reciclado	kg		0.0530	0.4	0.02
Cemento HS (42.5 kg)	bol		0.0166	27.1	0.45
					0.55
Equipos					
Herramientas manuales	%mo		3	0.92	0.03
Mezcladora	hm	1	0.1231	1	0.12
					0.15

(*) Los precios son puntuales y experimentales de compras realizadas en junio de 2025.

(*) El rendimiento es experimental de lo realizado en laboratorio UCSM.

Nota: Elaboración propia.

Tabla 129.

Elaboración de ladrillo ecológico de concreto - papel 5%.

Partida:	ELABORACION DE LADRILLO ECOLÓGICO DE CONCRETO- PAPEL 5%				
Rendimiento	65.00 und/día				
Elaborado por:	Emerson Paredes Aroquipa		**Costo Unitario por und:**		**S/. 1.64**
Descripción de Recurso	**Unidad**	**Cuadrilla**	**Cantidad**	**Precio (S/.)**	**Parcial (S/.)**
Mano de Obra					
Peon	hh	1	0.1231	7.48	0.92
					0.92
Materiales					
Confitillo	m3		0.0006	63	0.04
Arena	m3		0.0008	49	0.04
Agua	m3		0.0005	1.065	0.00
Papel Reciclado	kg		0.1050	0.4	0.04
Cemento HS (42.5 kg)	bol		0.0166	27.1	0.45
					0.57
Equipos					
Herramientas manuales	%mo		3	0.92	0.03
Mezcladora	hm	1	0.1231	1	0.12
					0.15

(*) Los precios son puntuales y experimentales de compras realizadas en junio de 2025.

(*) El rendimiento es experimental de lo realizado en laboratorio UCSM.

Nota: Elaboración propia.

Tabla 130.

Elaboración de ladrillo ecológico de concreto - papel 7.5%.

Partida:	ELABORACION DE LADRILLO ECOLÓGICO DE CONCRETO - PAPEL 7.5%				
Rendimiento	65.00 und/día				
Elaborado por:	Emerson Paredes Aroquipa		**Costo Unitario por und:**		**S/. 1.66**
Descripción de Recurso	**Unidad**	**Cuadrilla**	**Cantidad**	**Precio (S/.)**	**Parcial (S/.)**
Mano de Obra					
Peon	hh	1	0.1231	7.48	0.92
					0.92
Materiales					
Confitillo	m3		0.0006	63	0.04
Arena	m3		0.0008	49	0.04
Agua	m3		0.0005	1.065	0.00
Papel Reciclado	kg		0.1580	0.4	0.06
Cemento HS (42.5 kg)	bol		0.0166	27.1	0.45
					0.59
Equipos					
Herramientas manuales	%mo		3	0.92	0.03
Mezcladora	hm	1	0.1231	1	0.12
					0.15

(*) Los precios son puntuales y experimentales de compras realizadas en junio de 2025.

(*) El rendimiento es experimental de lo realizado en laboratorio UCSM.

Nota: Elaboración propia.

Tabla 131.

Elaboración de ladrillo ecológico de concreto - caucho 2.5%.

Partida:	ELABORACION DE LADRILLO ECOLÓGICO DE CONCRETO - CAUCHO 2.5%				
Rendimiento	65.00 und/día				
Elaborado por:	Emerson Paredes Aroquipa		**Costo Unitario por und:**		**S/. 1.64**
Descripción de Recurso	**Unidad**	**Cuadrilla**	**Cantidad**	**Precio (S/.)**	**Parcial (S/.)**
Mano de Obra					
Peon	hh	1	0.1231	7.48	0.92
					0.92
Materiales					
Confitillo	m3		0.0006	63	0.04
Arena	m3		0.0008	49	0.04
Agua	m3		0.0005	1.065	0.00
Caucho reciclado	kg		0.0530	0.8	0.04
Cemento HS (42.5 kg)	bol		0.0166	27.1	0.45
					0.57
Equipos					
Herramientas manuales	%mo		3	0.92	0.03
Mezcladora	hm	1	0.1231	1	0.12
					0.15

(*) Los precios son puntuales y experimentales de compras realizadas en junio de 2025.

(*) El rendimiento es experimental de lo realizado en laboratorio UCSM.

Nota: Elaboración propia.

Tabla 132.

Elaboración de ladrillo ecológico de concreto - caucho 5%.

Partida:	ELABORACION DE LADRILLO ECOLÓGICO DE CONCRETO - CAUCHO 5%				
Rendimiento	65.00 und/día				
Elaborado por:	Emerson Paredes Aroquipa		**Costo Unitario por und:**		**S/. 1.68**
Descripción de Recurso	**Unidad**	**Cuadrilla**	**Cantidad**	**Precio (S/.)**	**Parcial (S/.)**
Mano de Obra					
Peon	hh	1	0.1231	7.48	0.92
					0.92
Materiales					
Confitillo	m3		0.0006	63	0.04
Arena	m3		0.0008	49	0.04
Agua	m3		0.0005	1.065	0.00
Caucho reciclado	kg		0.1050	0.8	0.08
Cemento HS (42.5 kg)	bol		0.0166	27.1	0.45
					0.61
Equipos					
Herramientas manuales	%mo		3	0.92	0.03
Mezcladora	hm	1	0.1231	1	0.12
					0.15

(*) Los precios son puntuales y experimentales de compras realizadas en junio de 2025.

(*) El rendimiento es experimental de lo realizado en laboratorio UCSM.

Nota: Elaboración propia.

Tabla 133.

Elaboración de ladrillo ecológico de concreto - caucho 7.5%.

Partida:	ELABORACION DE LADRILLO ECOLÓGICO DE CONCRETO - CAUCHO 7.5%					
Rendimiento	65.00	und/día				
Elaborado por:	Emerson Paredes Aroquipa		**Costo Unitario por und:**		**S/. 1.72**	
Descripción de Recurso	**Unidad**	**Cuadrilla**	**Cantidad**	**Precio (S/.)**	**Parcial (S/.)**	
Mano de Obra						
Peon	hh	1	0.1231	7.48	0.92	
						0.92
Materiales						
Confitillo	m3		0.0006	63	0.04	
Arena	m3		0.0008	49	0.04	
Agua	m3		0.0005	1.065	0.00	
Caucho reciclado	kg		0.1580	0.8	0.13	
Cemento HS (42.5 kg)	bol		0.0166	27.1	0.45	
						0.65
Equipos						
Herramientas manuales	%mo		3	0.92	0.03	
Mezcladora	hm	1	0.1231	1	0.12	
						0.15

(*) Los precios son puntuales y experimentales de compras realizadas en junio de 2025.

(*) El rendimiento es experimental de lo realizado en laboratorio UCSM.

Nota: Elaboración propia.

CAPÍTULO VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- Los resultados obtenidos de los ensayos de variación dimensional en las dosificaciones analizadas fueron pequeños, debido a que sus variaciones son menores a 1 mm en dimensiones mayores a 100 mm y menores a 3 mm en dimensiones menores a 100 mm; esto demostró de esta forma la uniformidad geométrica durante el proceso de fabricación artesanal; esto indicó que la incorporación de partículas recicladas de papel y caucho no afectan en gran medida la forma de los ladrillos ecológicos de concreto, lo que permite uniformidad de juntas de mortero; asimismo, este resultado coincidió con lo señalado por Caceres y Mamani (2021) y Ruiz y Tassara (2023), quienes obtuvieron características similares en unidades ecológicas fabricadas con materiales reciclados.
- Los resultados obtenidos de los ensayos de alabeo en las dosificaciones analizadas fueron pequeños, debido a que su variación fue menor a 2 mm; esto demostró de esta forma la estabilidad dimensional durante el proceso de fabricación artesanal; esto indicó que la incorporación de partículas recicladas de papel y caucho no afectan en gran medida la forma de los ladrillos ecológicos de concreto, ya que se obtuvo una superficie de contacto correcta entre unidades de albañilería y mortero de asentado, asimismo, estos resultados fueron similares a los obtenidos por Torres (2023) y Campoverde et al. (2023), quienes concluyeron que incorporaciones pequeñas de materiales reciclados no alteran de manera significativa la estabilidad geométrica de ladrillos.
- Los resultados obtenidos de los ensayos de porcentaje de vacíos clasificaron a las unidades de ladrillo como tipo sólido, según lo indicado por la norma E.070, debido a que presentaron vacíos menores al límite de 30% que señala la norma; asimismo, este comportamiento experimental concordó con lo señalado por Castro et al. (2020) y Quispe (2024), quienes reportaron porcentaje de vacíos compatibles con unidades aceptables.

- El ensayo de absorción realizado concluyó que las distintas dosificaciones de caucho reciclado y papel reciclado permanecieron por debajo del límite máximo señalado por la norma E.070 para unidades de concreto, el cual es de 12%, debido a que los valores de menor y mayor absorción fueron 6% (LCP1) y 11.37% (LCP3), respectivamente; esto indicó que las sustituciones realizadas del agregado fino por partículas de papel o partículas de caucho no generaron niveles críticos de porosidad que llegaran a comprometer su estabilidad frente a la acción del agua; adicionalmente, los resultados concordaron con lo indicado por Dou et al. (2022) y Da Costa et al. (2023), quienes determinaron que porcentajes moderados de materiales reciclados permitieron controlar la absorción ante una adecuada dosificación.
- El ensayo de succión realizado indicó que los ladrillos ecológicos de concreto permanecieron por debajo del límite de 20 g/200 cm²-min el cual fue considerado aceptable, este límite se estableció en la norma E.070, artículo 9; si bien esta norma indica que para el caso de unidades de concreto se debe pasar una brocha húmeda sobre la cara de asentado, también señala un valor máximo de 20 g/200 cm²-min para succión; asimismo, para LC se obtuvo un valor de 9.09 g/200 cm²-min, para ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial de papel se obtuvo un valor mínimo y máximo de 14.02 g/200 cm²-min y 16.28 g/200 cm²-min, respectivamente, mientras que para los ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial de caucho se obtuvieron valores máximos y mínimos de 9.97 g/200 cm²-min y 9.12 g/200 cm²-min, respectivamente; según señalan Muñoz et al. (2020) y Torres (2023), las dosificaciones con presencia del papel incrementan su capacidad de succión debido a su naturaleza higroscópica.
- El incremento de los porcentajes de sustitución del agregado fino por partículas de papel reciclado produjo una reducción gradual de la resistencia a compresión, y se observaron valores menores de resistencia a compresión promedio en los tipos LCP2 (sustitución

de 5%), el cual se clasifica como tipo III y LCP3 (sustitución de 7.5%), el cual se clasifica como tipo II, según la norma E.070; adicionalmente, este comportamiento experimental coincidió con lo señalado por Chinchay (2023) y Torres (2023), quienes concluyeron que los porcentajes elevados de papel incrementan la porosidad y disminuyen la cohesión interna; teóricamente, esto se puede atribuir al exceso de las fibras de celulosa, ya que alteran la demanda de agua y compactación de la mezcla, lo que a su vez reduce la adherencia entre la pasta de cemento y los agregados; no obstante, esto último no se evaluó en la presente investigación.

- El resultado obtenido en el ladrillo ecológico de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de papel reciclado evidenció que en el tipo LCP1 (Sustitución de 2.5%) la resistencia a compresión fue en promedio superior con respecto al ladrillo patrón, pero estadísticamente equivalente, y cumplió la norma E.070, alcanzando 103.28 kg/cm² en el tipo LCP1 con respecto a los 97.09 kg/cm² del LC y los 95 kg/cm² de la clasificación tipo III; esto se corroboró con la prueba post hoc de Tukey, en la cual, para la resistencia a compresión, se obtuvieron resistencias estadísticamente equivalentes para los casos LC-LCP1, LC-LCP2, LCC1-LCC2 y LCP1-LCP2; adicionalmente, este comportamiento experimental coincidió con lo señalado por Muñoz et al. (2020) y Campoverde et al. (2023), quienes indicaron que observaron incrementos en la resistencia mediante la incorporación de residuos de papel en pequeñas cantidades; teóricamente, esto se puede atribuir a que las fibras de celulosa generan una mejor distribución interna de esfuerzos durante el proceso de carga además de contribuir al control de las microfisuras dentro de los ladrillos; aunque estos últimos no se comprobaron en la presente investigación.
- El incremento de los porcentajes de sustitución del agregado fino por partículas de caucho reciclado produjo una reducción significativa de la resistencia a la compresión,

obteniéndose valores de 75.97 kg/cm², 71.19 kg/cm² y 55.71 kg/cm² para porcentajes de reemplazo de 2.5% (LCC1), 5% (LCC2) y 7.5% (LCC3), respectivamente; este comportamiento experimental coincidió con lo indicado por Choquenaira (2022) y Fernández et al. (2022), quienes determinaron que el caucho reciclado reduce la resistencia a compresión debido a su baja rigidez y limitada adherencia entre las partículas de caucho y la pasta de cemento; teóricamente, esto se puede atribuir a que las partículas de caucho presentan menor módulo de elasticidad que los agregados minerales usados de manera tradicional, lo que genera limitada formación de enlaces químicos efectivos con la pasta de cemento, zonas de concentración de esfuerzos y una transferencia de cargas menos eficiente dentro de los ladrillos ecológicos; sin embargo, estos últimos aspectos no se corroboraron en la investigación realizada.

- Para la contrastación estadística se diferenciaron los resultados obtenidos mediante ANOVA de las comparaciones específicas realizadas mediante la prueba de Tukey; al realizar el ANOVA, se comprobó la existencia de diferencias estadísticamente significativas en las propiedades de porcentaje de vacíos, absorción, succión, resistencia a compresión de unidad de albañilería y resistencia a compresión axial de pilas; en cambio, para la resistencia a compresión diagonal de muretes no se obtuvieron diferencias significativas; por lo anterior, se rechazó la hipótesis nula y se aceptó parcialmente la hipótesis alterna: Sí existen diferencias en las propiedades físico-mecánicas de las unidades de ladrillos ecológicos de concreto, evaluando el porcentaje de vacíos, absorción, succión y la resistencia a compresión de la unidad de albañilería; para las propiedades donde el ANOVA demostró diferencias significativas , se realizó la prueba post hoc de Tukey para obtener los casos donde existieron diferencias significativas, tal como se muestra en la Tabla 110, Tabla 111, Tabla 112 y Tabla 113; por lo cual, se obtuvieron diferencias en las propiedades físico-mecánicas de los

ladrillos ecológicos de concreto para los casos LC-LCC1, LC-LCP3, LCC1-LCP1, LCC1-LCP3, LCC2-LCP1, LCC2-LCP3, LCC3-LCP1 y LCC3-LCP3; para el resto de casos, al menos una de sus propiedades no presentó diferencias estadísticamente significativas.

- A pesar de la disminución de resistencia a compresión en las distintas dosificaciones del ladrillo ecológico de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado, estos ladrillos ecológicos cumplieron con lo que exige la norma E.070; por esto, se clasificaron como tipo II (LCC1 y LCC2) y tipo I (LCC3); coincidiendo con lo indicado por Fernández et al. (2022) y Choquenaira (2022), quienes identificaron estas limitaciones en las unidades de albañilería con clasificaciones del tipo II y tipo I.
- El resultado de los ensayos de compresión de prismas mostró que el ladrillo ecológico de papel reciclado (PLCP1) tuvo una resistencia en promedio mayor al mínimo indicado por la norma E.070 para unidades de concreto, el cual es de 71 kg/cm², y al del ladrillo patrón, ya que se obtuvieron valores de 93.34 kg/cm² y 106.80 kg/cm² para el tipo PLC (0%) Y PLCP1 (2.5%), respectivamente; este comportamiento experimental indicó una mejora de la interacción del mortero con los ladrillos ecológicos con respecto al ladrillo patrón.
- El resultado del ensayo de compresión diagonal de muretes mostró que los ladrillos ecológicos de papel reciclado alcanzaron una resistencia en promedio mayor que la del ladrillo patrón y que los valores mínimos señalados por la norma E.070, ya que el murete tipo MLCP1-2.5% alcanzó una resistencia de 0.97 MPa con respecto a los 0.44 MPa que exige la norma para unidades de albañilería de concreto y los 0.78 MPa del tipo MLC-0%.

- El ladrillo ecológico de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de papel reciclado en porcentaje de 2.5% (LCP1) fue el que presentó un promedio mayor de resistencia a la compresión con respecto al ladrillo patrón y cumplió con lo indicado por la norma E.070, con lo cual se clasificó como unidad sólida y tipo III.
- Los resultados obtenidos para los ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de papel reciclado en porcentaje de 2.5% , indica que constituyó una opción con dosificación de mejor comportamiento experimental dentro de las condiciones de laboratorio evaluadas con respecto al ladrillo de concreto patrón; adicionalmente, los resultados de los ensayos confirmaron la hipótesis planteada de manera parcial, debido a que solo el porcentaje de sustitución de 2.5% de papel reciclado logró un promedio superior, pero estadísticamente equivalente, de la resistencia a compresión con respecto al ladrillo patrón y lo indicado por la norma E.070; mientras que porcentajes mayores o el uso de caucho reciclado generaron reducciones en la resistencia a compresión, según señalan Choquenaira (2022) y Fernandez et al. (2022); teóricamente, esto se debió al incremento de vacíos, pérdidas de cohesión y disminución de la adherencia interna; estos últimos aspectos no se comprobaron en la presente investigación.
- Los resultados obtenidos permitieron observar un buen comportamiento físico-mecánico inicial de los ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de papel reciclado en porcentaje de 2.5% bajo condiciones controladas del laboratorio; sin embargo, el tema de durabilidad, ataques químicos y comportamiento térmico prolongado, deberá desarrollarse en investigaciones adicionales.
- El análisis de los costos referenciales de elaboración de los ladrillos ecológicos mostró que la sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado o

partículas de papel reciclado, modificaron el costo unitario de los ladrillos de concreto con respecto al patrón; la forma de obtención se realizó por medio de análisis de precios unitarios exclusivamente experimentales; esta consideración fue similar a la obtenida por Prashanth et al. (2024), quienes señalaron que los costos de los materiales con residuos reciclados dependen en gran medida del tipo de material reciclado, porcentaje de sustitución y condiciones de elaboración.

- En la investigación se observó que los costos de elaboración referenciales de los ladrillos ecológicos de concreto con partículas de papel reciclado fueron menores que los costos de elaboración de los ladrillos ecológicos de concreto con caucho reciclado, debido a que el LCP1 tuvo un costo experimental de S/. 1.62, mientras que el LCC1 tuvo un costo experimental de S/.1.64. Esto se interpretó como una comparación de costos referenciales de elaboración experimentales en laboratorio, por lo cual no se pudo evidenciar rentabilidad comercial o industrial; asimismo, estos resultados no permitieron afirmar que una dosificación fuera más económica en una producción industrial, debido a que no se consideraron economías de escala, variaciones comerciales de precios, transporte industrial ni procesos automatizados.

Tabla 134.

Comparativa de resultados con la Norma E.070.

ELEMENTO	ENSAYO	RESULTADO EXPERIMENTAL	UNIDAD	REFERENCIA NORMATIVA	VALOR NORMATIVO MÁXIMO	VALOR NORMATIVO MÍNIMO	CLASE DE ALBAÑILERIA	CRITERIO
LADRILLO DE CONCRETO	Variación dimensional-largo (+ 150 mm)	-0.60	mm	RNE E.070 - Tabla 1	3	-3		
	Variación dimensional-ancho (Hasta 150 mm)	-0.92	mm	RNE E.070 - Tabla 1	4	-4	LADRILLO III	Se seleccionó el ladrillo Tipo III de la tabla 1, norma E.070
	Variación dimensional-alto (Hasta 100 mm)	2.02	mm	RNE E.070 - Tabla 1	5	-5		
	Alabeo	1.63	mm	RNE E.070 - Tabla 1	6	0		
	Compresión Simple	97.09	kg/cm²	RNE E.070 - Tabla 1	130	95		
	Porcentaje de vacíos	21.30	%	RNE E.070 - Artículo 3.21	30	0	SÓLIDO	< 70%
	Absorción	6.75	%	RNE E.070 - Artículo 5.5	12	0	CONCRETO	Se seleccionó ladrillo de concreto
	Succión	9.09	g/200 cm²-min	RNE E.070 - Artículo 9	20	0		
	Resistencia a compresión de pilas (*)	93.34	kg/cm²	RNE E.070 - Tabla 7	65	47	CLASE III ARTESANAL	Se eligió el tipo III de la tabla 7, por su elaboración artesanal
	Resistencia a compresión diagonal de muretes (*)	7.91	kg/cm²	RNE E.070 - Tabla 7	8.1	6.5		
LADRILLO ECOLÓGICO DE CONCRETO - PAPEL 2.5%	Variación dimensional-largo (+ 150 mm)	-0.07	mm	RNE E.070 - Tabla 1	3	-3		
	Variación dimensional-ancho (Hasta 150 mm)	1.36	mm	RNE E.070 - Tabla 1	4	-4	LADRILLO III	Se seleccionó el ladrillo Tipo III de la tabla 1, norma E.070
	Variación dimensional-alto (Hasta 100 mm)	0.66	mm	RNE E.070 - Tabla 1	5	-5		
	Alabeo	1.13	mm	RNE E.070 - Tabla 1	6	0		
	Compresión Simple	103.28	kg/cm²	RNE E.070 - Tabla 1	130	95		
	Porcentaje de vacíos	25.91	%	RNE E.070 - Artículo 3.21	30	0	SÓLIDO	< 70%
	Absorción	6.00	%	RNE E.070 - Artículo 5.5	12	0	CONCRETO	Se seleccionó ladrillo de concreto
	Succión	14.02	g/200 cm²-min	RNE E.070 - Artículo 9	20	0		
	Resistencia a compresión de pilas (*)	106.80	kg/cm²	RNE E.070 - Tabla 7	65	47	CLASE III ARTESANAL	Se eligió el tipo III de la tabla 7, por su elaboración artesanal
	Resistencia a compresión diagonal de muretes (*)	9.84	kg/cm²	RNE E.070 - Tabla 7	8.1	6.5		
LADRILLO ECOLÓGICO DE CONCRETO - CAUCHO 2.5%	Variación dimensional-largo (+ 150 mm)	-0.15	mm	RNE E.070 - Tabla 1	4	-4		
	Variación dimensional-ancho (Hasta 150 mm)	-0.26	mm	RNE E.070 - Tabla 1	6	-6	LADRILLO II	Se seleccionó el ladrillo Tipo III de la tabla 1, norma E.070
	Variación dimensional-alto (Hasta 100 mm)	0.85	mm	RNE E.070 - Tabla 1	7	-7		
	Alabeo	1.31	mm	RNE E.070 - Tabla 1	8	0		
	Compresión Simple	75.97	kg/cm²	RNE E.070 - Tabla 1	95	70		
	Porcentaje de vacíos	22.39	%	RNE E.070 - Artículo 3.21	30	0	SÓLIDO	< 70%
	Absorción	7.98	%	RNE E.070 - Artículo 5.5	12	0	CONCRETO	Se seleccionó ladrillo de concreto
	Succión	9.97	g/200 cm²-min	RNE E.070 - Artículo 9	20	0		
	Resistencia a compresión de pilas (*)	71.88	kg/cm²	RNE E.070 - Tabla 7	47	40	CLASE II ARTESANAL	Se eligió el tipo III de la tabla 7, por su elaboración artesanal
	Resistencia a compresión diagonal de muretes (*)	7.50	kg/cm²	RNE E.070 - Tabla 7	6.5	5.6		

(*) Se usó mortero Tipo P2 de la tabla 4 de la norma E.070, el cual tiene una relación cemento : arena de 1:4

Nota: Elaboración propia.

CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1.Conclusiones

- La evaluación experimental de las propiedades físico-mecánicas de los ladrillos ecológicos elaborados mediante la sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y partículas de papel reciclado demostró que ambas incorporaciones modificaron el comportamiento experimental del ladrillo de concreto respecto al patrón, bajo las condiciones controladas de laboratorio; entre las dosificaciones que se evaluaron, la sustitución de 2.5 % de partículas de papel reciclado (LCP1) alcanzó una resistencia a compresión de 103.28 kg/cm², en promedio, mayor al ladrillo patrón de 97.09 kg/cm², aunque estadísticamente equivalente; no obstante, se tuvieron diferencias estadísticamente significativas en las propiedades de porcentaje de vacíos, absorción y succión entre LC-LCP1, siendo LCP1 el de mejor comportamiento experimental; asimismo, LCP1 alcanzó una resistencia a compresión axial de pilas de 106.80 kg/cm² y una resistencia a compresión diagonal de muretes de 9.84 kg/cm², valores en promedio superiores al ladrillo patrón, pero estadísticamente equivalentes; asimismo, cumplió los requerimientos establecidos por la Norma E.070 para su clasificación de ladrillo tipo III en las propiedades evaluadas; en consecuencia, los resultados permitieron establecer que LCP1 presentó valores promedio superiores a los del LC en las propiedades físico-mecánicas evaluadas, sin atribuirle una superioridad estadística general.
- Se determinaron las propiedades físico-mecánicas de los ladrillos ecológicos de concreto fabricados, comprobándose que las sustituciones parciales con partículas recicladas de caucho o papel modificaron su comportamiento experimental respecto al ladrillo patrón; el análisis estadístico de la unidad de albañilería identificó diferencias estadísticamente significativas entre algunas de las mezclas evaluadas; no obstante, en

todas las dosificaciones se obtuvieron unidades sólidas, ya que el porcentaje de vacíos fue inferior al 30 %, además de valores de absorción inferiores al límite establecido por la norma E.070, el cual es 12 %, y la succión menor a los 20 g/200 cm²-min; asimismo, se obtuvieron unidades con clasificación tipo III en los casos LC, LCP1 y LCP2, unidades con clasificación tipo II en los casos LCC1, LCC2 y LCP3; finalmente, unidades con clasificación tipo I en el caso LCC3; por tanto, los resultados experimentales permitieron concluir que las sustituciones modificaron las propiedades físico-mecánicas evaluadas, mientras que los indicadores de porcentaje de vacíos, absorción y succión se mantuvieron dentro de los límites normativos de la E.070 para cada clasificación de ladrillo realizado; esta interpretación se mantuvo limitado a las condiciones de laboratorio realizadas.

- El análisis comparativo entre los ladrillos elaborados con partículas de caucho reciclado, partículas de papel reciclado y el ladrillo patrón permitió establecer diferencias técnicas entre las opciones evaluadas; mientras el incremento del contenido de caucho produjo reducciones progresivas de la resistencia a compresión, el empleo de papel reciclado mostró un comportamiento experimental más favorable, especialmente con una sustitución del 2.5 %, condición en la que se obtuvo, en promedio, la mayor resistencia a compresión de la unidad de albañilería de todas las dosificaciones evaluadas.
- La evaluación técnica permitió identificar que el ladrillo elaborado con 2.5 % de sustitución del agregado fino por partículas de papel reciclado (LCP1) presentó el mejor comportamiento experimental entre todas las dosificaciones analizadas, al cumplir los requerimientos de las propiedades físico-mecánicas indicados por la Norma E.070 para su clasificación de ladrillo tipo III y alcanzar una resistencia promedio a compresión de 103.28 kg/cm², mayor a los 97.09 kg/cm² del ladrillo patrón; la contrastación estadística

respaldó parcialmente la hipótesis planteada, ya que el ANOVA identificó diferencias en las propiedades de porcentaje de vacíos, absorción, succión, resistencia a compresión de unidades y resistencia a compresión de pilas; en contraste, la resistencia a compresión diagonal de muretes no presentó diferencias entre las dosificaciones evaluadas; por lo cual la hipótesis alterna no se respaldó de manera global; no obstante, debido a que la investigación se limitó a ensayos experimentales de laboratorio, lo cual implica solo la validación de su comportamiento experimental, esto no incluyó la evaluación del comportamiento estructural de edificaciones a escala real, análisis de durabilidad a largo plazo, respuesta a ataques químicos, comportamiento térmico ni respuesta sísmica del sistema de albañilería, por lo cual no es metodológicamente procedente generalizar su aplicación industrial, estructural o constructiva.

- El análisis de precios unitarios permitió determinar que las dosificaciones evaluadas presentaron diferencias en su costo experimental de elaboración; sin embargo, estas diferencias fueron analizadas de manera experimental, descriptiva y referencial, debido a que se tuvieron los precios de los insumos, la obtención de los materiales reciclados y el rendimiento de la elaboración de los ladrillos ecológicos bajo condiciones exclusivas de laboratorio, por tanto, la dosificación LCP1 con sustitución de 2.5% de partículas de papel reciclado presentó la alternativa con menor costo experimental entre las dosificaciones con material reciclado evaluadas, sin que esto constituyera una ventaja económica general, rentabilidad comercial o la validación de su rentabilidad para producción industrial.

7.2.Recomendaciones

- Se recomienda el uso de agregados en estado seco para evitar el incremento o la reducción en la cantidad de agua utilizada en la mezcla, lo cual, además, evita la variación en la consistencia de la misma.

- Se recomienda ampliar el campo de la investigación en cuanto a las propiedades que brindan los ladrillos de concreto con añadidos de materiales reciclados, ya sea su incremento en la resistencia mediante métodos semiindustriales o industriales como el prensado; asimismo, ampliar el estudio de las propiedades brindadas para el confort ambiental.
- Se recomienda realizar investigaciones de mayor alcance o profundidad para validar su durabilidad con respecto al tiempo, los ciclos ambientales, la resistencia química o la respuesta sísmica estructural.
- Se recomienda continuar la línea de investigación mediante la evaluación experimental de diferentes geometrías de ladrillos ecológicos de concreto con partículas de papel reciclado y partículas de caucho reciclado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACI 211.1-22. (2022). ACI. 211.1-22: Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete. *American Concrete Institute*, 1-38.

Alva Reyes, L. A., Elias Silupu, J. W., Paredes Gonzales, L. S., & Silva Castro, J. L. (2020). Production of Bricks Based on Recycled Bond Paper for non-Bearing Walls. *INFOC, 1*(4). doi:https://doi.org/10.47192/rcs.v1i4.51

Assaggaf, R., Maslehuddin, M., Al-Osta, M. A., Al-Dulaijan, S. U., & Ahmad, S. (2022). Properties and sustainability of treated crumb rubber concrete. *Journal of Building Engineering, 51*. doi:https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104250.

AUTODESK JOURNAL. (22 de Octubre de 2019). *La revolución de los ladrillos*. Obtenido de https://autodeskjournal.triangulo-msc.com/construccion/la-revolucion-de-los-ladrillos/

Begazo Cardenas, F. G., & Flores Choque, N. A. (2025). *Gestión integral de residuos de construcción y demolición (RCD) para su aprovechamiento sostenible en el marco de la economía circular en Arequipa Metropolitana.* Obtenido de [Tesis de Pregrado, Universidad Catolica de Santa Maria]. Repositorio Institucional de la UCSM: https://repositorio.ucsm.edu.pe/items/569a5da7-3ea4-475a-898b-4ec40886afd8

bloqueras.org. (2024). *Ladrillos de cemento*.

Brown, A. (2024). Bricks: a review of sustainability and toxicity issues. En A. Brown, E. K. Petrovic, M. Gjerde, F. Chicca, & G. Marriage (Edits.), *Sustainability and Toxicity of Building Materials_Manufacture, Use and Disposal Stages* (págs. 179-194). doi:https://doi.org/10.1016/B978-0-323-98336-5.00009-1.

Bu, C., Zhu, D., Lu, X., Liu, L., Sun, Y., Yu, L., . . . Zhang, W. (2022). Modification of Rubberized Concrete: A Review. *Buildings*. doi:https://doi.org/10.3390/buildings12070999

Caceres Larico, M. S., & Mamani Flores, A. G. (2021). *Propiedades fisico mecánicas de ladrillos de concreto con adición de fibras de caucho reciclado.* Obtenido de [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de San Agustin de Arequipa]. Repositorio Institucional de la UNSA: http://hdl.handle.net/20.500.12773/13062

Camacllanqui Huamanlazo, O. A. (2021). *Elaboracion de ladrillo ecológico a partir de residuos solidos (papel y poliestireno).* Lima: UNIVERSIDAD CIENTIFICA DEL SUR.

Campoverde Bustos, F. M., Nieto Cardenas, X., & Takeuchi, C. P. (2023). Analisis de Ladrillos ecológicos fabricados con suelo Limo-arenoso, cemento, viruta y papel, en base a resistencia, costo y deformación. *Project, Design and Management*, 37-56. doi:https://doi.org/10.35992/pdm.mo2023.1842

Campoy-Bencomo, N. A., Chavez-Alegria, O., Rojas-Gonzales, E., Gaxiola-Camacho, J. R., Millan-Almaraz, J. R., & De la Rosa-Hernandez, D. (2021). Analisis Esfuerzo-Deformación de concreto reforzado con fibras metalicas y polimeros. *Ingenieria Investigacion y Tecnologia, XXII*(1), 1-11.

Castro Alay, K. D., Farfan Peralta, I. C., & Sotomayor, S. (Abril de 2020). Elaboracion de Eco-bloques a base de caucho triturado y aserrin para viviendas de interes social. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*. Obtenido de http://hdl.handle.net/20.500.11763/caribe2004elaboracion-eco-bloques

CEDEX. (Noviembre de 2013). *propiedades del neumatico con bibliografia*. Obtenido de https://www.cedexmateriales.es/catalogo-de-residuos/32/neumaticos-fuera-de-uso/valorizacion/306/propiedades-.html#:~:text=Entre%20el%2050%20y%20el,de%20caucho%20natural%20o%20sint%C3%A9tico.

CEMENTO YURA. (2024). *CEMENTO YURA*. Obtenido de https://www.yura.com.pe/wp-content/uploads/FICHA-TECNICA-YURA-MAX-2024.pdf

Chinchay Padilla, A. (2023). *Determinacion del porcentaje óptimo de adicion de celulosa de papel reciclado en la elaboracion de unidades de albañileria de concreto.*

Choquenaira Castro, A. (2022). *Evaluacion de las propiedades mecanicas del concreto con adicion de caucho en polvo sustituyendo al agregado fino, Sabandia, Arequipa 2022.* Obtenido de [Tesis de Pregrado, Universidad Cesar Vallejo], Repositorio Institucional de la UCV: https://hdl.handle.net/20.500.12692/96676

Da Costa Goncalves, L. F., Tino Balestra, C. E., & Ramirez Gil, M. A. (2023). Evaluation of mechanical, physical and chemical properties of ecological modular soil-alkali activated bricks without Portland cement. *Environmental Development, 48*. doi:https://doi.org/10.1016/j.envdev.2023.100932.

Dantas Peixoto, C., Secundo da Luz, D. C., Silva Vieira de Souza, E., Figueiredo Bezerra Costa, G., Correia Cavalcanti de Albuquerque, K. S., Alves da Silva, M., . . . Santos de Macedo, M. (2021). Uso do residuo do papel gerado pela UFRN na fabricacao de tijolos-Desenvolvimento de uma etodologia. *Brazilian Journal od Development*. doi:10.34117/bjdv7n8-640

De Maeijer, P. K., Craeye, B., Blom, J., & Bervoets, L. (2021). Crumb Rubber in Concrete—The Barriers for Application in the Construction Industry. *Infrastructures, 6*(8). doi:https://doi.org/10.3390/infrastructures6080116

Delgado Condori, K. Y., & Bedoya Zevallos, A. M. (Junio de 2018). *Estudio de Factibilidad Para La Implementación De Una Planta Reencauchadora de Neumaticos Usados en la Ciudad de Arequipa.* Obtenido de [Tesis de Pregrado, Universidad Católica San Pablo]. Repositorio Institucional de la UCSP: https://hdl.handle.net/20.500.12590/15621

Diario el Pueblo. (18 de Mayo de 2023). *Diario el Pueblo*. Obtenido de https://diarioelpueblo.com.pe/2023/05/18/en-arequipa-solo-se-recicla-el-3-de-los-residuos-que-se-producen/

Docusign. (23 de Septiembre de 2021). *Impacto del papel en el medio ambiente y que puede hacer tu empresa para reducir su uso*. Obtenido de https://www.docusign.com/es-mx/blog/medio-ambiente

Dou, Y., Feng, G., Xu, L., Yang, Y., Zhang, Z., You, L., . . . Cui, X. (2022). Modification of rubber particles and its application in rubberized concrete. *Journal of Building Engineering, 51*. doi:https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104346

El peruano. (13 de Octubre de 2021). *Minam: Neumaticos fuera de uso influyen significativamente en la generacion de residuos solidos*. Obtenido de https://elperuano.pe/noticia/131092-minam-neumaticosfuera-de-uso-influyen-significativamente-en-la-generacion-de-residuos-solidos

Fernandez Torrez, L. A., Aquino-Rocha, J. H., & Cayo Chileno, N. G. (Diciembre de 2022). Analysis of the Physical and Mechanical properties of waste tire rubber as a partial replacement of fine aggregate in concrete. *Revista Habitat Sustentable, 12*(2), 52-65. doi:http://dx.doi.org/10.22320/07190700.2022.12.02.04

Fuentes Molina, N., Jimenez Mendoza, K., Otero Añez, R., & Uzuriaga Marulanda, W. (2021). Aprovechamiento sostenible de residuos polimericos como agregados del concreto: una revision. *REDALYC*, 240-247.

Ganesan, Y., Sakthivel, K., Murugan, V., & Duraisamy, S. (2020). Research Analysis of Paper Sludge and Paper Ash Brick. *IOP Publishing*. doi:10.1088/1757-899X/955/1/012057

Helmy, S., M. Tahwia, A., G. Mahdy, M., Abd Elrahman, M., A. Abed, M., & Youssf, O. (2023). The Use of Recycled Tire Rubber, Crushed Glass, and Crushed Clay Brick in Lightweight Concrete Production: A Review. *Sustainability*. doi:https://doi.org/10.3390/su151310060

Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodologia de la Investigacion.* Mexico D.F.: Mc Graw Hill Education.

Hinojosa Perez, A. H., & Meza Muñoz, P. A. (2020). studio de los aspectos económicos y ambientales de la gestión de residuos sólidos de actividades de construcción y demolición en la municipalidad distrital de Miraflores, Arequipa - 2016. *ILLUSTRO, 9*. doi:https://doi.org/10.36901/illustro.v9i0.1219

Idrogo Perez, C. A. (2023). *Evaluación del Comportamiento Mecánico del Concreto con Adicion de Caucho Reciclado.* Obtenido de [Tesis de Pregrado, Universidad Señor de Sipan]. Repositorio Institucional de la USS: https://hdl.handle.net/20.500.12802/12104

INEI. (05 de Septiembre de 2022). *INEI*. Obtenido de https://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/poblacion-y-vivienda/

Kuroiwa Horiuchi, J. (Marzo de 2016). Manual para la Reduccion del Riesgo Sismico de Viviendas en el Perú. Perú.

Marinelli, S., Marinello, S., Lolli, F., Gamberini, R., & Maria Coruzzolo, A. (2023). Waste Plastic and Rubber in Concrete and Cement Mortar: A Tertiary Literature Review. *Sustainability*. doi:https://doi.org/10.3390/su15097232

Mauricci Ortega, A. (Agosto de 2021). *Reduccion del impacto al medio ambiente ocasionado por los neumaticos de camion minerommediante el reencauche*. Obtenido de

https://revistamineria.com.pe/tecnico-cientifico/reduccion-del-impacto-al-medio-ambiente-ocasionado-por-los-neumaticos-de-camion-minero-mediante-el-reencauche

Muñoz Perez, S. P., Bayona Reyes, M., & Yovera Santisteban, J. R. (2021). Gestión de residuos de construcción y demolición, para mitigar el impacto Ambiental y preservar nuestros recursos naturales: Una revisión de la literatura. *Ecuadorian Science Journal, 5*. doi:https://doi.org/10.46480/esj.5.2.90

Muñoz, P., Letelier, V., Muñoz, L., & Bustamante, M. A. (2020). Adobe bricks reinforced with paper & pulps wastes improving thermal and mechanical properties. *Construction and Building MATERIALS*, 1-10.

NTP 339.034. (2021). NTP 339.034 CONCRETO. Determinacion de la resistencia a la compresion del concreto en muestras cilindricas. Obtenido de INACAL: https://tiendavirtual.inacal.gob.pe/0/modulos/TIE/TIE_DetallarProducto.aspx?PRO=9214

NTP 400.012. (2021). NTP 400.012 AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino y grueso. Método de ensayo. 4° Edición. Obtenido de INACAL: https://bit.ly/43nqVga

Ñaupas Paitan, H., Mejia Mejia, E., Trujillo Roman, I. R., Romero Delgado, H. E., Medina Barcena, W., & Novoa Ramirez, E. (2023). *Metodología de la investigación total Cuantitativa – Cualitativa y redacción de tesis* (6ta ed.). Bogota, Colombia: Ediciones de la U.

Park, J., Diaz-Posada, N., & Mejia-Dugand, S. (2018). Challenges in implementing the extended producer responsibility in an emerging economy: The end-of-life tire management in Colombia. *ELSEVIER, 189*, 754-762. doi:https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.058

Pimentel Calderon, J. M. (2023). Propiedades fisicas de material de construcción ecológico. 1-5.

Prashanth, K., Lohith, N., Vikas, M., & Basutkar, S. (2024). *Properties of fiber incorporated concrete blocks manufactured using recycled aggregates* (3 ed., Vol. 2). Low-carbon Materials and Green Construction. doi:/10.1007/s44242-024-00034-w

Quispe Maquera, R. (2024). *Elaboración de Ladrillos Ecológicos con Plastico PET y Papel Reciclado, como Alternativa para la Construcción de Viviendas en el Distrito de Ilave - 2023.* Obtenido de [Tesis de Pregrado, Universidad Privada San Carlos]. Repositorio Institucional de la UPSC: http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/845

Ramos Chavez, M. A. (2022). *Reciclaje de residuos de celulosa (madera y carton) en la elaboracion de briquetas que puedan ser evaluadas para su disponibilidad de segundo uso en diversas actividades antropicas propiciando la proteccion del medio ambiente.* Obtenido de [Tesis de doctorado, Universidad Nacional de San Agustin de Arequipa]. Repositorio Institucional de la UNSA: http://hdl.handle.net/20.500.12773/15479

Residuos Profesional. (12 de Septiembre de 2022). *El 71.4% del papel consumido en europa en 2021 se recicló*. Obtenido de https://www.residuosprofesional.com/reciclaje-de-papel-europa-2021/

Reyes Gutierrez, C. G. (2024). *Influencia de Caucho Granulado en las Propiedades Mecanicas del Concreto*. Obtenido de [Tesis de Pregrado, Universidad Señor de Sipan]. Repositorio Intitucional de la USS: https://hdl.handle.net/20.500.12802/12618

Ruiz Pacheco, K. L., & Tassara Zuñiga, E. S. (2023). *Elaboración y diseño de eco-ladrillos modulares compuestos a base de papel y cartón reciclado para la construcción de muros en viviendas en la ciudad de Arequipa-Perú, 2021.* Obtenido de [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de San Agustin de Arequipa]. Repositorio Institucional de la UNSA: https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/12524

Saldaña Acosta, J., Rosales, J., & Muñoz, A. (2016). Reutilización de papel reciclado en la producción de material de construcción aislante térmico y acústico. *Revista de Invetigación y Desarrollo*, 68-74.

Salinas, R., & Lazares, F. (Agosto de 2007). LA ALBAÑILERIA TUBULAR Y SU USO EN VIVIENDAS EN ZONAS SISMICAS. Lima, Peru: CISMID-UNI.

Sarmiento, F. (16 de Agosto de 2022). *INSPENET*. Obtenido de Inspenet: https://inspenet.com/noticias/ingenieros-desarrollan-un-hormigon-con-caucho-de-neumatico-reciclado-ecológico-y-ligero/

SENCICO. (2020). Reglamento Nacional de Edificaciones: Norma E.070 Albañileria. Lima, Peru.

Soras Ortiz, K. Y. (2023). *Análisis de las propiedades físico mecánicas del bloque hueco de concreto con la incorporacion de fibras de caucho neumatico reciclado, Abancay 2023.* Obtenido de [Tesis de Pregrado, Universidad Tecnologica de los Andes]. Repositorio Institucional de la UTEA: https://repositorio.utea.edu.pe/items/d0560a5c-b862-42c6-80ed-1ec8a687a97b

Thakur, A., Senthil, K., & Pal Singh, A. (2022). Evaluation of concrete bricks with crumb rubber and polypropylene fibres under impact loading. *Construction and Building Materials, 315*. doi:https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125752

Torres Carrasco, T. E. (2023). *Evaluacion de las Propiedades Fisico-Mecanicas de bloques de concreto tipo P usando fibras de celulosa de papel reciclado.* Obtenido de [Tesis de Pregrado, Universidad Señor de Sipan]. Repositorio Insitucional de la USS: https://hdl.handle.net/20.500.12802/11126

Valdes, C. (16 de Agosto de 2022). *Ingenieros desarrollan un hormigón de caucho de neumáticos de nueva generación y más resistente*. Obtenido de https://www.emol.com/noticias/Autos/2022/08/16/1070043/cren-nuevo-hormigon-caucho.html

Vera, E. (16 de Enero de 2018). *Sismo en Arequipa: instituto superior de Bella Unión en ruinas*. Obtenido de https://elcomercio.pe/peru/arequipa/sismo-arequipa-instituto-superior-bella-union-ruinas-noticia-489310-noticia/

Zhang, P., Wang, X., Wang, J., & Zhang, T. (2022). Workability and Durability of Concrete Incorporating Waste Tire Rubber: A Review. *Journal of Renewable Materials, 11*(2). doi:https://doi.org/10.32604/jrm.2022.022846.

Anexo 1.

Total de ensayos de laboratorio a ladrillos de concreto.

Ítem	Material a ensayar	Nombre del ensayo	Norma a aplicar	Unidad	Cantidad total	Tercerizado (si/no)
1	Ladrillo de Concreto	Variación dimensional	NTP 399.604	Und	70	No
2	Ladrillo de Concreto	Alabeo	NTP 399.613	Und	70	No
3	Ladrillo de Concreto	Porcentaje de vacíos	NTP 399.604	Und	70	No
4	Ladrillo de Concreto	Absorción	NTP 399.604	Und	42	No
5	Ladrillo de Concreto	Succión	NTP 399.604	Und	42	No
6	Ladrillo de Concreto	Compresión simple	NTP 399.604	Und	105	No
7	Ladrillo de Concreto	Resistencia a compresión de pilas	NTP 399.605	Und	9	No
8	Ladrillo de Concreto	Resistencia a compresión diagonal de muretes	NTP 399.621	Und	9	No

Nota: Elaboración propia.

Anexo 2.

Matriz de consistencia.

Título: Evaluación de las propiedades físico-mecánicas y costo de ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y partículas de papel reciclado, Arequipa 2024

Autores:	**Emerson Paredes Aroquipa**					
Formulación del Problema	**Objetivos**	**Hipótesis**	**Variables e Indicadores**			**Metodología**
Problema General	**Objetivo General**	**Hipótesis General**	**Variable Independiente**			**Diseño Metodológico**
¿la sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado o la sustitución parcial del agregado fino por partículas de papel reciclado en el proceso de fabricación de ladrillos ecológicos de concreto permitirá mejorar las propiedades físico-mecánicas del ladrillo, reduciendo su costo, pero sin perjudicar la calidad y propiedades del ladrillo?	Evaluar las propiedades físico-mecánicas y el costo del ladrillo ecológico con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y partículas de papel reciclado en Arequipa, 2024.	La sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y por partículas de papel reciclado generan diferencias en las propiedades físico-mecánicas y el costo referencial de elaboración de los ladrillos ecológicos con respecto a las unidades de albañilería de concreto patrón.	**Porcentaje de sustitución de partículas de caucho reciclado** **Porcentaje de sustitución de partículas de papel reciclado**			Tipo: Básica Nivel: Explicativo Enfoque: Cuantitativo Diseño: Experimental
Problemas Específicos	**Objetivos Específicos**	**Hipótesis Específicas**	**Dimensión**	**Indicador**	**Escala de Medición**	**Técnicas e instrumentos de recolección de datos**
¿Cuáles serán las propiedades físico-mecánicas de las propuestas de ladrillo ecológico de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y con sustitución parcial del agregado fino por partículas de papel reciclado?	Determinar las propiedades físico-mecánicas de las propuestas de ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y de los ladrillos ecológicos con sustitución parcial del agregado fino por partículas de papel reciclado.	La sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y por partículas de papel reciclado modifican las propiedades físico-mecánicas de los ladrillos ecológicos de concreto con respecto al ladrillo de concreto patrón.	Dosificación porcentual de partículas de caucho reciclado	Sustitución de 2.5% Sustitución de 5% Sustitución de 7.5%	De Razón	Observación Datos Secundarios Informe

¿Cómo se compararán las propiedades físico-mecánicas del ladrillo ecológico de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y el ladrillo ecológico de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de papel reciclado?	Comparar las propiedades físico-mecánicas de las propuestas de ladrillos ecológicos de concreto con sustitución del agregado fino por partículas de caucho reciclado y los ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de papel reciclado, con respecto al ladrillo de concreto patrón realizado.	Las diferentes proporciones de sustitución del agregado fino por partículas de caucho reciclado y partículas de papel reciclado producirán diferencias significativas en las propiedades físico-mecánicas de los ladrillos ecológicos de concreto, con respecto al ladrillo de concreto patrón.	Dosificación porcentual de partículas de papel reciclado	Sustitución de 2.5% Sustitución de 5% Sustitución de 7.5%	De Razón	Fichas de ensayos de laboratorio Registro Fotográfico Recolección de adicionantes
¿ Cuál será la dosificación de mejor comportamiento entre los ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y los ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de papel reciclado?	Identificar la dosificación de mejor comportamiento físico-mecánico experimental de las propuestas de ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y los ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de papel reciclado, comparándolo con el ladrillo de concreto patrón realizado.	Existirán diferencias en el comportamiento físico-mecánico de las dosificaciones evaluadas entre los ladrillos ecológicos de concreto elaborados con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado; así como los elaborados con partículas de papel reciclado y el ladrillo de concreto patrón.	**Variables Dependientes**			**Población y Muestra**
			Propiedades físico-mecánicas del ladrillo ecológico de concreto			Población: Corresponde a la totalidad de unidades que se han de fabricar para asegurar un buen conjunto de datos para obtener resultados experimentalmente aceptables, este será de 420 unidades de albañilería de concreto.
			Costo de elaboración de ladrillo ecológico de concreto			
			Dimensión	**Indicador**	**Medición**	
¿Cuáles serán los costos de elaboración de los ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado o los ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de papel reciclado?	Evaluar los costos referenciales de elaboración experimental de las propuestas de ladrillo ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y los ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de papel reciclado.	Existirán diferencias en el costo de elaboración entre los ladrillos ecológicos de concreto elaborados con partículas de caucho reciclado y partículas de papel reciclado con respecto al ladrillo de concreto patrón.	Propiedades físicas del ladrillo ecológico	Variación dimensional Alabeo Porcentaje de vacíos Absorción Succión	De Razón	Muestra: Son las unidades de albañilería de concreto elaborados para los distintos ensayos a realizar. **Procedimiento** Fase 1: Análisis de Características de unidades de albañilería de concreto Fase 2: Destinación de materiales que conforman las unidades de albañilería ecológica de concreto

		Resistencia a la compresión de la unidad de albañilería		Fase 3: Fabricación de las unidades de albañilería ecológica de concreto.
	Propiedades mecánicas del ladrillo ecológico	Resistencia a la compresión axial de pilas de albañilería	De Razón	Fase 4: Ensayos de laboratorio de las unidades de albañilería ecológica de concreto.
		Resistencia a compresión diagonal de muretes de albañilería		Fase 5: Análisis de propiedades físico-mecánicas y costo de elaboración de la unidad de albañilería ecológica de concreto.
		Costo de adquisición de materia prima	De Razón	
	Costos de elaboración del ladrillo ecológico	Costo de adaptación del material		
		Costo del ladrillo	De Razón	

Nota: Elaboración propia.

Anexo 3.

Ensayo de granulometría del agregado fino.

FICHA DE LABORATORIO - UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIAS CIVIL Y DEL AMBIENTE

LUGAR DE DESARROLLO: Laboratorio de Suelos y Concreto de la UCSM

NORMATIVA APLICADA: NTP 400.012 (2021) AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino y grueso. Método de ensayo

TESIS: Evaluación de las propiedades físico – mecánicas y costo de ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y partículas de papel reciclado, Arequipa 2024

ELABORADO POR Paredes Aroquipa Emerson

ENSAYO DE GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO

ENSAYO 1:	MUESTRA	300	g

Malla		**Peso Retenido (g)**	**Porcentaje Retenido Parcial (%)**	**Porcentaje Retenido Acumulado (%)**	**Pasante Acumulado (%)**
Nomenclatura (N°)	**Abertura (mm)**				
3/8"	9.5	0	0.00	0.00	100.00
4	4.75	2.11	0.70	0.70	99.30
8	2.36	64.36	21.45	22.16	77.84
16	1.18	60.96	20.32	42.48	57.52
30	0.6	50.31	16.77	59.25	40.75
50	0.3	40.09	13.36	72.61	27.39
100	0.15	32.59	10.86	83.47	16.53

Modulo de Fineza	2.807

ENSAYO 2:	MUESTRA	300	g

Malla		**Peso Retenido (g)**	**Porcentaje Retenido Parcial (%)**	**Porcentaje Retenido Acumulado (%)**	**Pasante Acumulado (%)**
Nomenclatura (N°)	**Abertura (mm)**				
3/8"	9.5	0.00	0.00	0.00	100.00
4	4.75	2.74	0.91	0.91	99.09
8	2.36	65.57	21.86	22.77	77.23
16	1.18	60.94	20.31	43.08	56.92
30	0.6	50.37	16.79	59.87	40.13
50	0.3	40.81	13.60	73.48	26.52
100	0.15	31.81	10.60	84.08	15.92

Modulo de Fineza	2.842

ENSAYO 3:	MUESTRA	300	g

Malla		**Peso Retenido (g)**	**Porcentaje Retenido Parcial (%)**	**Porcentaje Retenido Acumulado (%)**	**Pasante Acumulado (%)**
Nomenclatura (N°)	**Abertura (mm)**				
3/8"	9.5	0.00	0.00	0.00	100.00
4	4.75	3.24	1.08	1.08	98.92
8	2.36	63.40	21.13	22.21	77.79
16	1.18	61.19	20.40	42.61	57.39
30	0.6	50.44	16.81	59.42	40.58
50	0.3	41.45	13.82	73.24	26.76
100	0.15	32.71	10.90	84.14	15.86

Modulo de Fineza	2.827

PROMEDIO DE MODULO DE FINEZA	**2.825**

Nota: Elaboración propia.

- *Curva de granulometría del agregado fino*

FICHA DE LABORATORIO - UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIAS CIVIL Y DEL AMBIENTE

LUGAR DE DESARROLLO: Laboratorio de Suelos y Concreto de la UCSM

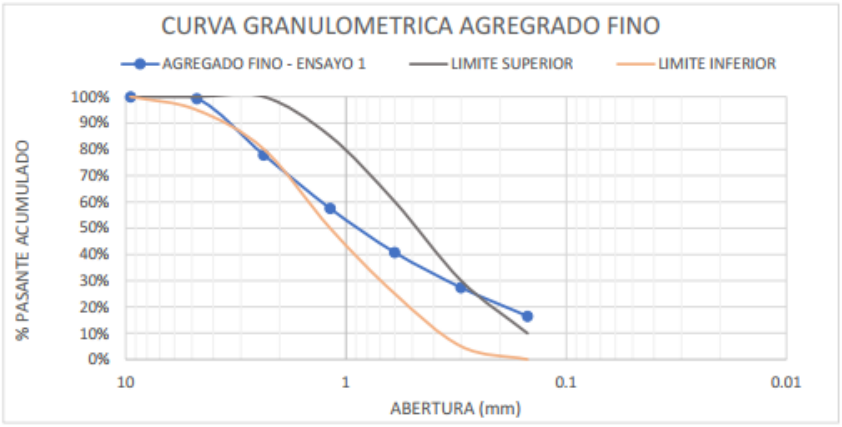
NORMATIVA APLICADA: NTP 400.037 (2021) AGREGADOS. Agregados para concreto. Especificaciones

TESIS: Evaluación de las propiedades físico – mecánicas y costo de ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y partículas de papel reciclado, Arequipa 2024

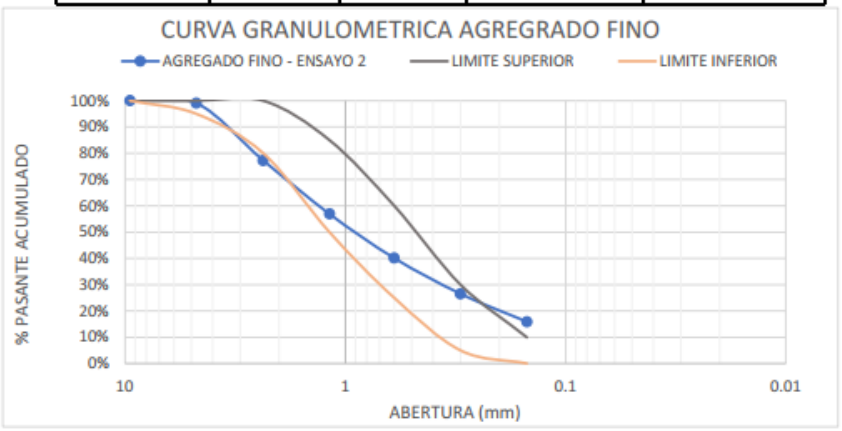
ELABORADO POR Paredes Aroquipa Emerson

CURVA DE GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO

Malla		Limite Inferior (%)	Pasante Acumulado (%)	Limite Superior (%)
in	mm			
3/8"	9.5	100%	100.00%	100%
4	4.75	95%	99.30%	100%
8	2.36	80%	77.84%	100%
16	1.18	50%	57.52%	85%
30	0.6	25%	40.75%	60%
50	0.3	5%	27.39%	30%
100	0.15	0%	16.53%	10%



Malla		Limite Inferior	Pasante Acumulado	Limite Superior
in	mm			
3/8"	9.5	100%	100.00%	100%
4	4.75	95%	99.09%	100%
8	2.36	80%	77.23%	100%
16	1.18	50%	56.92%	85%
30	0.6	25%	40.13%	60%
50	0.3	5%	26.52%	30%
100	0.15	0%	15.92%	10%



Nota: Elaboración propia.

- *Curva de granulometría del agregado fino*

FICHA DE LABORATORIO - UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIAS CIVIL Y DEL AMBIENTE

LUGAR DE DESARROLLO: Laboratorio de Suelos y Concreto de la UCSM

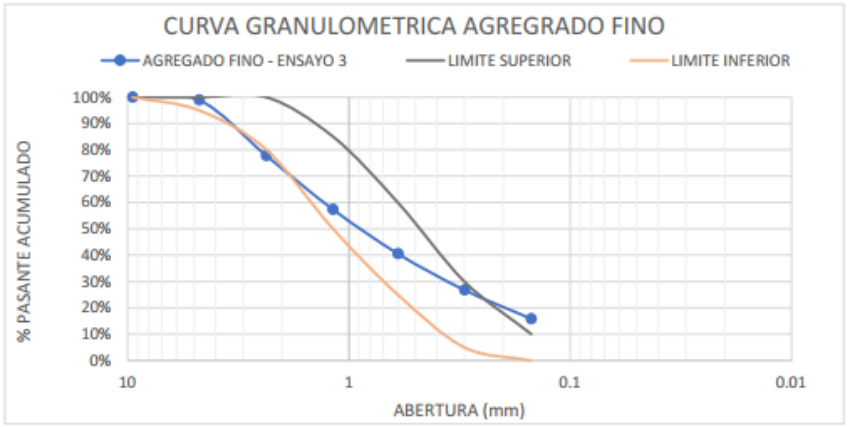
NORMATIVA APLICADA: NTP 400.037 (2021) AGREGADOS. Agregados para concreto. Especificaciones

TESIS: Evaluación de las propiedades físico – mecánicas y costo de ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y partículas de papel reciclado, Arequipa 2024

ELABORADO POR Paredes Aroquipa Emerson

CURVA DE GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO

Malla		Limite Inferior	Pasante Acumulado	Limite Superior
in	mm			
3/8"	9.5	100%	100.00%	100%
4	4.75	95%	98.92%	100%
8	2.36	80%	77.79%	100%
16	1.18	50%	57.39%	85%
30	0.6	25%	40.58%	60%
50	0.3	5%	26.76%	30%
100	0.15	0%	15.86%	10%



Nota: Elaboración propia.

Anexo 4.

Ensayo de granulometría de agregado grueso.

FICHA DE LABORATORIO - UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIAS CIVIL Y DEL AMBIENTE

LUGAR DE DESARROLLO: Laboratorio de Suelos y Concreto de la UCSM

NORMATIVA APLICADA: NTP 400.012 (2021) AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino y grueso. Método de ensayo

TESIS: Evaluación de las propiedades físico – mecánicas y costo de ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y partículas de papel reciclado, Arequipa 2024

ELABORADO POR Paredes Aroquipa Emerson

ENSAYO DE GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO

ENSAYO 1:	MUESTRA	1000	g

Malla		**Peso Retenido (g)**	**Porcentaje Retenido Parcial (%)**	**Porcentaje Retenido Acumulado (%)**	**Pasante Acumulado (%)**
Nomenclatura (N°)	**Abertura (mm)**				
1/2"	12.70	0	0	0	100
3/8"	9.51	47.97	4.797	4.797	95.203
N° 4	4.75	656.96	65.696	70.493	29.507
N°8	2.36	179.01	17.901	88.394	11.606
N°16	1.18	42.53	4.253	92.647	7.353
N°50	0.30	12.55	1.255	93.902	6.098

Modulo de Fineza	7.004

ENSAYO 2:	MUESTRA	1000	g

Malla		**Peso Retenido (g)**	**Porcentaje Retenido Parcial (%)**	**Porcentaje Retenido Acumulado (%)**	**Pasante Acumulado (%)**
Nomenclatura (N°)	**Abertura (mm)**				
1/2"	12.70	0	0	0	100
3/8"	9.51	35.15	3.515	3.515	96.485
N° 4	4.75	552.93	55.293	58.808	41.192
N°8	2.36	307.65	30.765	89.573	10.427
N°16	1.18	75.99	7.599	97.172	2.828
N°50	0.30	3.56	0.356	97.528	2.472

Modulo de Fineza	6.932

ENSAYO 3:	MUESTRA	1000	g

Malla		**Peso Retenido (g)**	**Porcentaje Retenido Parcial (%)**	**Porcentaje Retenido Acumulado (%)**	**Pasante Acumulado (%)**
Nomenclatura (N°)	**Abertura (mm)**				
1/2"	12.70	0	0	0	100
3/8"	9.51	43.66	4.366	4.366	95.634
N° 4	4.75	634.87	63.487	67.853	32.147
N°8	2.36	196.32	19.632	87.485	12.515
N°16	1.18	48.77	4.877	92.362	7.638
N°50	0.30	12.47	1.247	93.609	6.391

Modulo de Fineza	6.914
PROMEDIO DE MODULO DE FINEZA	**6.95**

Nota: Elaboración propia.

- *Curva de granulometría del agregado grueso.*

FICHA DE LABORATORIO - UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIAS CIVIL Y DEL AMBIENTE

LUGAR DE DESARROLLO: Laboratorio de Suelos y Concreto de la UCSM

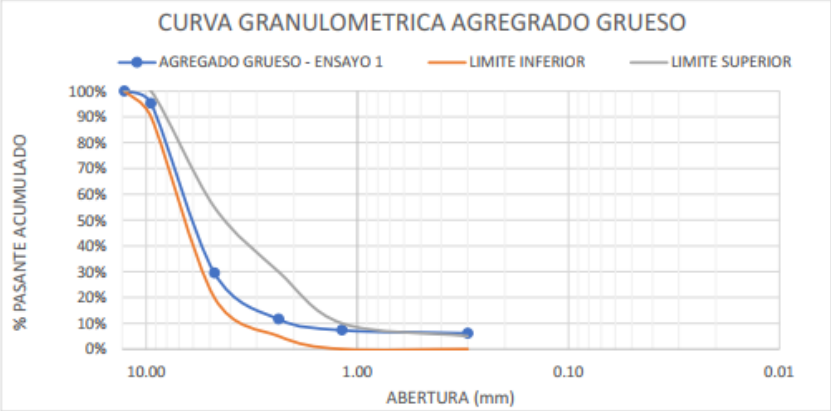
NORMATIVA APLICADA: NTP 400.037 (2021) AGREGADOS. Agregados para concreto. Especificaciones

TESIS: Evaluación de las propiedades físico – mecánicas y costo de ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y partículas de papel reciclado, Arequipa 2024

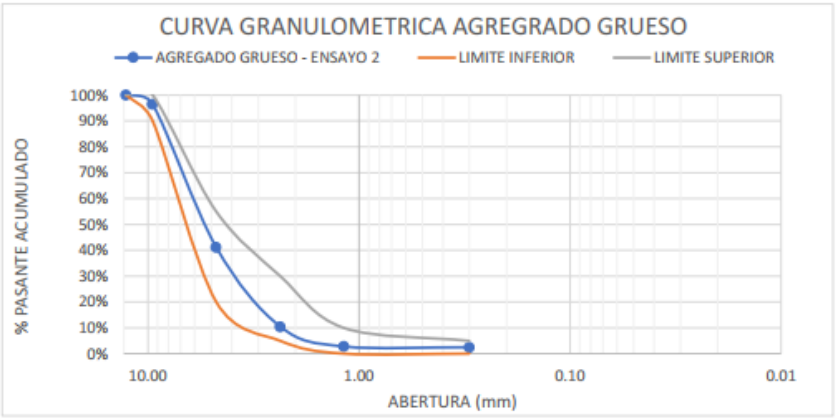
ELABORADO POR Paredes Aroquipa Emerson

CURVA DE GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO

Malla		Limite Superior (%)	Pasante Acumulado (%)	Limite Inferior (%)
in	mm			
1/2"	12.70	100%	100.00%	100%
3/8"	9.51	100%	95.20%	90%
N° 4	4.75	55%	29.51%	20%
N°8	2.36	30%	11.61%	5%
N°16	1.18	10%	7.35%	0%
N°50	0.30	5%	6.10%	0%



Malla		Limite Superior	Pasante Acumulado	Limite Inferior
in	mm			
1/2"	12.70	100%	100.00%	100%
3/8"	9.51	100%	96.49%	90%
N° 4	4.75	55%	41.19%	20%
N°8	2.36	30%	10.43%	5%
N°16	1.18	10%	2.83%	0%
N°50	0.30	5%	2.47%	0%



Nota: Elaboración propia.

- *Curva de granulometría del agregado grueso.*

FICHA DE LABORATORIO - UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIAS CIVIL Y DEL AMBIENTE

LUGAR DE DESARROLLO: Laboratorio de Suelos y Concreto de la UCSM

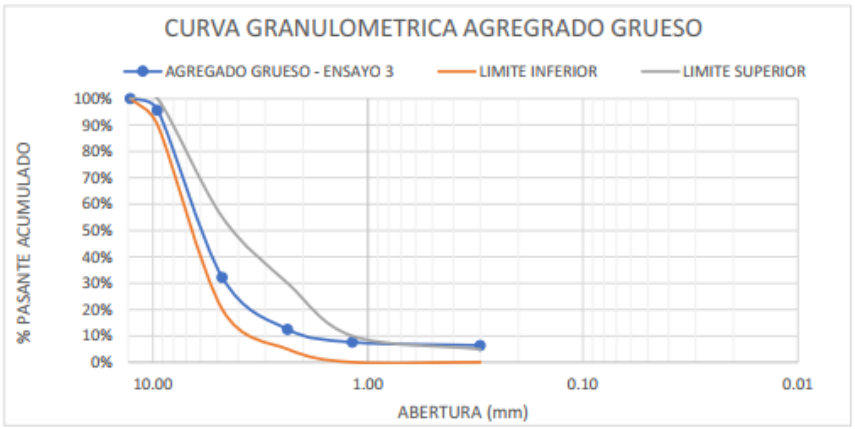
NORMATIVA APLICADA: NTP 400.037 (2021) AGREGADOS. Agregados para concreto. Especificaciones

TESIS: Evaluación de las propiedades físico – mecánicas y costo de ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y partículas de papel reciclado, Arequipa 2024

ELABORADO POR Paredes Aroquipa Emerson

CURVA DE GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO

Malla		Limite Superior	Pasante Acumulado	Limite Inferior
in	mm			
1/2"	12.70	100%	100.00%	100%
3/8"	9.51	100%	95.63%	90%
N° 4	4.75	55%	32.15%	20%
N°8	2.36	30%	12.52%	5%
N°16	1.18	10%	7.64%	0%
N°50	0.30	5%	6.39%	0%



Nota: Elaboración propia.

Anexo 5.

Ensayo de contenido de humedad del agregado fino.

FICHA DE LABORATORIO - UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIAS CIVIL Y DEL AMBIENTE

LUGAR DE DESARROLLO: Laboratorio de Suelos y Concreto de la UCSM

NORMATIVA APLICADA: NTP 339.185 (2021) AGREGADOS. Determinacion del contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. Metodo de Ensayo

TESIS: Evaluación de las propiedades físico – mecánicas y costo de ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y partículas de papel reciclado, Arequipa 2024

ELABORADO POR Paredes Aroquipa Emerson

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO

Ensayo de contenido de humedad	Peso de la tara	Peso de la muestra húmeda + tara	Peso de la muestra seca + tara	Peso del agua evaporada	Contenido de humedad
UNIDAD	**g**	**g**	**g**	**g**	**%**
ENSAYO 1	118.25	618.19	616.04	2.20	0.35
ENSAYO 2	118.51	618.54	616.46	2.10	0.34
ENSAYO 3	118.33	618.31	616.08	2.20	0.36
PROMEDIO	**118.400**	**618.300**	**616.200**	**2.20**	**0.35**

Nota: Elaboración propia.

Anexo 6.

Ensayo de contenido de humedad del agregado grueso.

FICHA DE LABORATORIO - UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIAS CIVIL Y DEL AMBIENTE

LUGAR DE DESARROLLO: Laboratorio de Suelos y Concreto de la UCSM

NORMATIVA APLICADA: NTP 339.185 (2021) AGREGADOS. Determinacion del contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. Metodo de Ensayo

TESIS: Evaluación de las propiedades físico – mecánicas y costo de ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y partículas de papel reciclado, Arequipa 2024

ELABORADO POR Paredes Aroquipa Emerson

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO

Ensayo de contenido de humedad	Peso de la tara	Peso de la muestra húmeda + tara	Peso de la muestra seca + tara	Peso del agua evaporada	Contenido de humedad
UNIDAD	**g**	**g**	**g**	**g**	**%**
ENSAYO 1	489.43	1989.29	1977.72	11.60	0.59
ENSAYO 2	486.79	1986.73	1974.98	11.80	0.59
ENSAYO 3	489.3	1990.19	1977.98	12.20	0.62
PROMEDIO	**488.51**	**1988.74**	**1976.89**	**11.87**	**0.60**

Nota: Elaboración propia.

Anexo 7.

Ensayo de peso específico y absorción del agregado fino.

FICHA DE LABORATORIO - UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIAS CIVIL Y DEL AMBIENTE

LUGAR DE DESARROLLO: Laboratorio de Suelos y Concreto de la UCSM

NORMATIVA APLICADA: NTP 400.022 (2024) AGREGADOS. Determinación de la densidad relativa (peso específico) y absórcion del agregado fino. Método de ensayo

TESIS: Evaluación de las propiedades físico – mecánicas y costo de ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y partículas de papel reciclado, Arequipa 2024

ELABORADO POR Paredes Aroquipa Emerson

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DEL AGREGADO FINO

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION	Peso del picnometro vacio	Peso de la muestra seca al horno A	Peso del picnometro llenado de agua hasta la marca de calibracion B	Peso del picnometro + muestra de arena + agua hasta limite de marca C	Peso de la muestra saturada superficialmente seca S	Densidad Relativa OD	Densidad Relativa saturada con superficie seca SSD	Densidad relativa aparente	Absorcion
UNIDAD	**g**	**g**	**g**	**g/cm³**	**g/cm³**	**g/cm³**	**g/cm³**	**g/cm³**	**%**
ENSAYO 1	214.44	491.47	712.84	1017.48	500	2.52	2.56	2.63	1.74
ENSAYO 3	147.79	491.94	645.79	956.62	500	2.60	2.64	2.72	1.64
ENSAYO 4	148.05	492.34	645.88	955.88	500	2.59	2.63	2.70	1.56
PROMEDIO	**170.09**	**491.92**	**668.17**	**976.66**	**500.00**	**2.57**	**2.61**	**2.68**	**1.64**

Nota: Elaboración propia.

Anexo 8.

Ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso.

FICHA DE LABORATORIO - UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIAS CIVIL Y DEL AMBIENTE

LUGAR DE DESARROLLO: Laboratorio de Suelos y Concreto de la UCSM

NORMATIVA APLICADA: NTP 400.021 (2020) AGREGADOS. Densidad relativa (peso específico) y absórcion del agregado grueso. Método de ensayo

TESIS: Evaluación de las propiedades físico – mecánicas y costo de ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y partículas de papel reciclado, Arequipa 2024

ELABORADO POR Paredes Aroquipa Emerson

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION	Peso de la muestra seca al horno A	Peso de la muestra saturada con superficie seca B	Peso de la muestra saturada en el agua C	Densidad Relativa OD	Densidad Relativa saturada con superficie seca SSD	Densidad relativa aparente	Absorcion
UNIDAD	**g**	**g**	**g/cm³**	**g/cm³**	**g/cm³**	**g/cm³**	**%**
ENSAYO 1	1926.11	2000	1210	2.44	2.53	2.69	3.84
ENSAYO 2	1927.81	2000	1189	2.38	2.47	2.61	3.74
ENSAYO 3	1927.61	2000	1191	2.38	2.47	2.62	3.76
PROMEDIO	**1927.18**	**2000.00**	**1196.67**	**2.40**	**2.49**	**2.64**	**3.78**

Nota: Elaboración propia.

Anexo 9.

Cálculo de volumen del recipiente y factor F para peso unitario del agregado fino.

FICHA DE LABORATORIO - UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIAS CIVIL Y DEL AMBIENTE

LUGAR DE DESARROLLO: Laboratorio de Suelos y Concreto de la UCSM

NORMATIVA APLICADA: NTP 400.017 (2020) AGREGADOS. Metodo de ensayo para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (Peso Unitario) y los vacios en los agregados

TESIS: Evaluación de las propiedades físico – mecánicas y costo de ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y partículas de papel reciclado, Arequipa 2024

ELABORADO POR Paredes Aroquipa Emerson

CALCULO DEL VOLUMEN DEL RECIPIENTE Y FACTOR F - AGREGADO FINO

CALCULO DEL VOLUMEN DEL RECIPIENTE Y FACTOR F	Peso del recipiente T	Peso del recipiente + placa de vidrio	Peso del recipiente + agua + muestra W	Peso del agua	Densidad del agua para la temperatura medida	Volumen del recipiente V	Factor F
UNIDAD	**g**	**g**	**g**	**g**	**g/cm³**	**cm³**	**cm³**
ENSAYO 1	1643.6	2143.6	4952.76	2809.16	0.99854	2810.46	0.000355
ENSAYO 2	1643.46	2143.46	4997.44	2853.98	0.99854	2847.56	0.00035
ENSAYO 3	1721.25	2221.25	5028.00	2806.75	0.99854	2819.79	0.000356
PROMEDIO	**1669.44**	**2169.44**	**4992.73**	**2823.30**	**1.00**	**2825.94**	**0.000354**

Nota: Elaboración propia.

Anexo 10.

Ensayo de peso unitario del agregado fino.

FICHA DE LABORATORIO - UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIAS CIVIL Y DEL AMBIENTE

LUGAR DE DESARROLLO: Laboratorio de Suelos y Concreto de la UCSM

NORMATIVA APLICADA: NTP 400.017 (2020) AGREGADOS. Metodo de ensayo para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (Peso Unitario) y los vacios en los agregados

TESIS: Evaluación de las propiedades físico – mecánicas y costo de ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y partículas de papel reciclado, Arequipa 2024

ELABORADO POR Paredes Aroquipa Emerson

PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO

PESO UNITARIO SUELTO SECO	Volumen del recipiente V	Peso del recipiente T	Peso del recipiente + Agregado G	Peso del Agregado	Factor de correcion	Peso unitario suelto seco, con factor F	Peso Unitario suelto con volumen de recipiente M
UNIDAD	**cm³**	**g**	**g**	**g**	**cm³**	**g/cm³**	**g/cm³**
ENSAYO 1	2810.46	1643.6	6630.5	4986.90	0.000355	1.77	1.77
ENSAYO 2	2847.56	1643.46	6738.5	5095.04	0.00035	1.78	1.79
ENSAYO 3	2819.79	1721.25	6725	5003.75	0.000356	1.78	1.77
PROMEDIO	**2825.94**	**1669.44**	**6698.00**	**5028.56**	**0.000354**	**1.78**	**1.78**

PESO UNITARIO SUELTO COMPACTADO-VARILLADO	Volumen del recipiente V	Peso del recipiente T	Peso del recipiente + Agregado G	Peso del Agregado	Factor de correcion	Peso unitario suelto seco, con factor F	Peso Unitario suelto con volumen de recipiente M
UNIDAD	**cm³**	**g**	**g**	**g**	**cm³**	**g/cm³**	**g/cm³**
ENSAYO 1	2810.46	1643.6	7036.5	5392.90	0.000355	1.91	1.92
ENSAYO 2	2847.56	1643.46	7127.5	5484.04	0.00035	1.92	1.93
ENSAYO 3	2819.79	1721.25	7145.5	5424.25	0.000356	1.93	1.92
PROMEDIO	**2825.94**	**1669.44**	**7103.17**	**5433.73**	**0.00**	**1.92**	**1.92**

Nota: Elaboración propia.

Anexo 11.

Cálculo de volumen del recipiente y factor F para peso unitario del agregado grueso.

FICHA DE LABORATORIO - UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIAS CIVIL Y DEL AMBIENTE

LUGAR DE DESARROLLO: Laboratorio de Suelos y Concreto de la UCSM

NORMATIVA APLICADA: NTP 400.017 (2020) AGREGADOS. Metodo de ensayo para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (Peso Unitario) y los vacios en los agregados

TESIS: Evaluación de las propiedades físico – mecánicas y costo de ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y partículas de papel reciclado, Arequipa 2024

ELABORADO POR Paredes Aroquipa Emerson

CALCULO DEL VOLUMEN DEL RECIPIENTE Y FACTOR F - AGREGADO GRUESO

CALCULO DEL VOLUMEN DEL RECIPIENTE Y FACTOR F	Peso del recipiente T	Peso del recipiente + placa de vidrio	Peso del recipiente + agua + muestra W	Peso del agua	Densidad del agua para la temperatura medida	Volumen del recipiente V	Factor F
UNIDAD	g	g	g	g	g/cm³	cm³	cm³
ENSAYO 1	1613.65	2113.65	4930.76	2817.11	0.99854	2837.81	0.000354
ENSAYO 2	1643.7	2143.7	4966.25	2817.00	0.99854	2818.31	0.000354
ENSAYO 3	1721.07	2221.07	5050.34	2822.00	0.99854	2819.79	0.000353
PROMEDIO	**1659.47**	**2159.47**	**4982.45**	**2818.70**	**0.99854**	**2825.3**	**0.000354**

Nota: Elaboración propia.

Anexo 12.

Ensayo de peso unitario del agregado grueso.

FICHA DE LABORATORIO - UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIAS CIVIL Y DEL AMBIENTE

LUGAR DE DESARROLLO: Laboratorio de Suelos y Concreto de la UCSM

NORMATIVA APLICADA: NTP 400.017 (2020) AGREGADOS. Metodo de ensayo para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (Peso Unitario) y los vacios en los agregados

TESIS: Evaluación de las propiedades físico – mecánicas y costo de ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y partículas de papel reciclado, Arequipa 2024

ELABORADO POR Paredes Aroquipa Emerson

PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO

PESO UNITARIO SUELTO SECO	Volumen del recipiente V	Peso del recipiente T	Peso del recipiente + Agregado G	Peso del Agregado	Factor de correcion	Peso unitario suelto seco, con factor F	Peso Unitario suelto con volumen de recipiente M
UNIDAD	cm³	g	g	g	cm³	g/cm³	g
ENSAYO 1	2837.81	1613.65	5147	3533.35	0.000354	1.25	1.25
ENSAYO 2	2818.31	1643.7	5210	3566.30	0.000354	1.26	1.27
ENSAYO 3	2819.79	1721.07	5236.5	3515.43	0.000353	1.24	1.25
PROMEDIO	**2825.30**	**1659.47**	**5197.83**	**3538.36**	**0.000354**	**1.25**	**1.25**

PESO UNITARIO SUELTO COMPACTADO-VARILLADO	Volumen del recipiente V	Peso del recipiente T	Peso del recipiente + Agregado G	Peso del Agregado	Factor de correcion	Peso unitario suelto seco, con factor F	Peso Unitario suelto con volumen de recipiente M
UNIDAD	cm³	g	g	g	cm³	g/cm³	g
ENSAYO 1	2837.81	1613.65	5501	3887.35	0.000354	1.38	1.37
ENSAYO 2	2818.31	1643.7	5503	3859.30	0.000354	1.37	1.37
ENSAYO 3	2819.79	1721.07	5664	3942.93	0.000353	1.39	1.40
PROMEDIO	**2825.30**	**1659.47**	**5556**	**3896.53**	**0.000354**	**1.38**	**1.38**

Nota: Elaboración propia.

Anexo 13.

Ensayo de resistencia a la compresión de probetas.

FICHA DE LABORATORIO - UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIAS CIVIL Y DEL AMBIENTE

LUGAR DE DESARROLLO: Laboratorio de Suelos y Concreto de la UCSM

NORMATIVA APLICADA: NTP 399.604 (2015) UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Metodos de muestreo y ensayos de unidades de albañileria de concreto

TESIS: Evaluación de las propiedades físico – mecánicas y costo de ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y partículas de papel reciclado, Arequipa 2024

ELABORADO POR Paredes Aroquipa Emerson

RESISTENCIA A COMPRESION DE PROBETAS DE CONCRETO

PROBETAS DE CONCRETO											
MUESTRAS											
SERIE	**EDAD DE ROTURA**	**CARGA (kg)**	**RESISTENCIA (kg/cm²)**	**SERIE**	**EDAD DE ROTURA**	**CARGA (kg)**	**RESISTENCIA (kg/cm²)**	**SERIE**	**EDAD DE ROTURA**	**CARGA (kg)**	**RESISTENCIA (kg/cm²)**
M-1	7 DIAS	11307	143.97	M-4	14 DIAS	13267	168.92	M-7	28 DIAS	15849	201.80
M-2	7 DIAS	11053	140.73	M-5	14 DIAS	13057	166.25	M-8	28 DIAS	15733	200.32
M-3	7 DIAS	11247	143.20	M-6	14 DIAS	13267	168.92	M-9	28 DIAS	15891	202.33
PROMEDIO			142.63	PROMEDIO			168.03	PROMEDIO			201.48
DESVIACION ESTÁNDAR (S)			1.69	DESVIACION ESTÁNDAR			1.54	DESVIACION ESTÁNDAR			1.04
COEFICIENTE DE VARIACION (%)			1.19	COEFICIENTE DE			0.92	COEFICIENTE DE			0.52

Nota: Elaboración propia.

Anexo 14.

Ensayo de alabeo de ladrillos de concreto.

FICHA DE LABORATORIO - UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIAS CIVIL Y DEL AMBIENTE

LUGAR DE DESARROLLO: Laboratorio de Suelos y Concreto de la UCSM

NORMATIVA APLICADA: NTP 399.613 (2017) UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Metodo de Muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañileria

TESIS: Evaluación de las propiedades físico – mecánicas y costo de ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y partículas de papel reciclado, Arequipa 2024

ELABORADO POR: Paredes Aroquipa Emerson

ALABEO EN LADRILLOS

ALABEO		
LC - 0%		
SERIE	**CARA SUPERIOR (mm)**	**CARA INFERIOR (mm)**
LC - 01	**1.25**	**0.5**
LC - 02	**1.5**	**0.5**
LC - 03	**1.25**	**0.5**
LC - 04	**1.75**	**1**
LC - 05	**2.125**	**0.5**
LC - 06	**1.125**	**0.5**
LC - 07	**2.125**	**0.5**
LC - 08	**1.25**	**1**
LC - 09	**2.25**	**1.5**
LC - 10	**1.625**	**0.5**
ALABEO PROMEDIO	1.625	0.7
PROMEDIO TOTAL	1.163	
DESVIACION ESTÁNDAR	0.59	

ALABEO		
LCC1 - 2.5%		
SERIE	**CARA SUPERIOR (mm)**	**CARA INFERIOR (mm)**
LCC1 - 01	**0.625**	**0.5**
LCC1 - 02	**0.75**	**1**
LCC1 - 03	**1**	**0.5**
LCC1 - 04	**1.25**	**0.25**
LCC1 - 05	**0.5**	**0.5**
LCC1 - 06	**2.375**	**0.5**
LCC1 - 07	**1.625**	**1**
LCC1 - 08	**1.75**	**0.5**
LCC1 - 09	**1.875**	**0.5**
LCC1 - 10	**1.375**	**0.5**
ALABEO PROMEDIO	1.313	0.575
PROMEDIO TOTAL	0.944	
DESVIACION ESTÁNDAR	0.571	

Nota: Elaboración propia.

FICHA DE LABORATORIO - UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIAS CIVIL Y DEL AMBIENTE

LUGAR DE DESARROLLO: Laboratorio de Suelos y Concreto de la UCSM

NORMATIVA APLICADA: NTP 399.613 (2017) UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Metodo de Muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañileria

TESIS: Evaluación de las propiedades físico – mecánicas y costo de ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y partículas de papel reciclado, Arequipa 2024

ELABORADO POR: Paredes Aroquipa Emerson

ALABEO EN LADRILLOS

ALABEO		
LCC2 - 5%		
SERIE	**CARA SUPERIOR (mm)**	**CARA INFERIOR (mm)**
LCC2 - 01	**1.38**	**1**
LCC2 - 02	**1.38**	**0.25**
LCC2 - 03	**1.50**	**0.5**
LCC2 - 04	**1.63**	**0.25**
LCC2 - 05	**1.00**	**0.25**
LCC2 - 06	**1.00**	**0.5**
LCC2 - 07	**1.00**	**0.5**
LCC2 - 08	**1.50**	**0.5**
LCC2 - 09	**1.75**	**0.25**
LCC2 - 10	**1.88**	**0.5**
ALABEO PROMEDIO	1.4	0.45
PROMEDIO TOTAL	0.925	
DESVIACION ESTÁNDAR	0.543	

ALABEO		
LCC3 - 7.5%		
SERIE	**CARA SUPERIOR (mm)**	**CARA INFERIOR (mm)**
LCC3 - 01	**0.63**	**1**
LCC3 - 02	**0.35**	**0.5**
LCC3 - 03	**1.75**	**0.5**
LCC3 - 04	**2.63**	**0.5**
LCC3 - 05	**0.75**	**0.15**
LCC3 - 06	**2.00**	**0.5**
LCC3 - 07	**1.63**	**0.25**
LCC3 - 08	**1.50**	**0.25**
LCC3 - 09	**1.00**	**0.5**
LCC3 - 10	**1.25**	**0.5**
ALABEO PROMEDIO	1.348	0.465
PROMEDIO TOTAL	0.907	
DESVIACION ESTÁNDAR	0.66	

Nota: Elaboración propia.

FICHA DE LABORATORIO - UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIAS CIVIL Y DEL AMBIENTE

LUGAR DE DESARROLLO: Laboratorio de Suelos y Concreto de la UCSM

NORMATIVA APLICADA: NTP 399.613 (2017) UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Metodo de Muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañileria

TESIS: Evaluación de las propiedades físico – mecánicas y costo de ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y partículas de papel reciclado, Arequipa 2024

ELABORADO POR: Paredes Aroquipa Emerson

ALABEO EN LADRILLOS

ALABEO		
LCP1 - 2.5%		
SERIE	**CARA SUPERIOR (mm)**	**CARA INFERIOR (mm)**
LCP1 - 01	**0.88**	**0.5**
LCP1 - 02	**1.38**	**0.5**
LCP1 - 03	**1.13**	**0.5**
LCP1 - 04	**0.75**	**0.25**
LCP1 - 05	**1.38**	**0.5**
LCP1 - 06	**1.00**	**0.5**
LCP1 - 07	**1.63**	**0.5**
LCP1 - 08	**1.50**	**1**
LCP1 - 09	**0.88**	**0.5**
LCP1 - 10	**0.75**	**0.25**
ALABEO PROMEDIO	1.125	0.5
PROMEDIO TOTAL	0.813	
DESVIACION ESTÁNDAR	0.404	

ALABEO		
LCP2 - 5%		
SERIE	**CARA SUPERIOR (mm)**	**CARA INFERIOR (mm)**
LCP2 - 01	**0.63**	**0.25**
LCP2 - 02	**0.25**	**0.5**
LCP2 - 03	**0.75**	**0**
LCP2 - 04	**0.75**	**1**
LCP2 - 05	**0.50**	**0**
LCP2 - 06	**1.13**	**0**
LCP2 - 07	**0.56**	**0**
LCP2 - 08	**0.50**	**0.5**
LCP2 - 09	**0.50**	**0.25**
LCP2 - 10	**0.88**	**0.5**
ALABEO PROMEDIO	0.644	0.3
PROMEDIO TOTAL	0.472	
DESVIACION ESTÁNDAR	0.324	

Nota: Elaboración propia.

FICHA DE LABORATORIO - UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIAS CIVIL Y DEL AMBIENTE

LUGAR DE DESARROLLO: Laboratorio de Suelos y Concreto de la UCSM

NORMATIVA APLICADA: NTP 399.613 (2017) UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Metodo de Muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañileria

TESIS: Evaluación de las propiedades físico – mecánicas y costo de ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y partículas de papel reciclado, Arequipa 2024

ELABORADO POR: Paredes Aroquipa Emerson

ALABEO EN LADRILLOS

ALABEO		
LCP3 - 7.5%		
SERIE	**CARA SUPERIOR (mm)**	**CARA INFERIOR (mm)**
LCP3 - 01	**0.75**	**1**
LCP3 - 02	**0.75**	**1**
LCP3 - 03	**0.63**	**1**
LCP3 - 04	**0.63**	**0.5**
LCP3 - 05	**1.25**	**0.5**
LCP3 - 06	**0.75**	**0.5**
LCP3 - 07	**0.75**	**0.5**
LCP3 - 08	**0.88**	**0.25**
LCP3 - 09	**0.63**	**1**
LCP3 - 10	**0.6875**	**0.5**
ALABEO PROMEDIO	0.769	0.675
PROMEDIO TOTAL	0.722	
DESVIACION ESTÁNDAR	0.236	

Nota: Elaboración propia.

Anexo 15.

Ensayo de variación dimensional de ladrillos de concreto.

FICHA DE LABORATORIO - UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIAS CIVIL Y DEL AMBIENTE

LUGAR DE DESARROLLO: Laboratorio de Suelos y Concreto de la UCSM

NORMATIVA APLICADA: NTP 399.604 (2015) UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Metodos de muestreo y ensayos de unidades de albañileria de concreto

TESIS: Evaluación de las propiedades físico – mecánicas y costo de ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y partículas de papel reciclado, Arequipa 2024

ELABORADO POR: Paredes Aroquipa Emerson

VARIACION DIMENSIONAL EN LADRILLOS

SERIE	LARGO (mm)					ALTO (mm)					ANCHO (mm)				
LC - 0%	LADO 1	LADO 2	LADO 3	LADO 4	LARGO PROMEDIO	LADO 1	LADO 2	LADO 3	LADO 4	ALTO PROMEDIO	LADO 1	LADO 2	LADO 3	LADO 4	ANCHO PROMEDIO
LC - 01	241.32	241.46	241.60	241.57	241.49	86.22	84.46	85.30	84.02	85.00	141.03	141.52	141.63	141.07	141.31
LC - 02	242.10	241.62	242.03	241.82	241.89	84.13	84.04	84.46	84.07	84.18	142.04	140.83	141.32	141.60	141.45
LC - 03	241.33	241.40	241.85	241.63	241.55	86.37	82.25	84.05	84.26	84.23	141.67	141.28	141.17	141.14	141.32
LC - 04	243.03	242.16	241.61	242.61	242.35	84.01	83.68	84.17	83.13	83.75	142.78	142.42	143.28	142.02	142.63
LC - 05	242.18	241.32	241.60	241.26	241.59	84.36	84.23	86.69	74.46	82.44	142.64	140.70	140.85	141.03	141.31
LC - 06	243.78	243.64	242.87	241.90	243.05	84.63	83.20	85.15	83.74	84.18	142.74	142.32	142.30	142.24	142.40
LC - 07	241.20	243.17	241.13	243.43	242.23	85.03	84.42	83.09	83.77	84.08	142.11	141.36	142.02	141.46	141.74
LC - 08	241.98	242.58	243.72	241.96	242.56	85.53	83.32	83.56	84.39	84.20	141.77	141.70	141.81	142.04	141.83
LC - 09	242.20	240.49	242.42	241.37	241.62	83.66	83.23	83.63	82.88	83.35	141.42	141.49	141.67	142.77	141.84
LC - 10	241.78	241.30	241.94	241.02	241.51	84.91	83.66	86.70	84.90	85.04	142.30	140.89	141.04	142.37	141.65
Medida Estándar (E)					240.00	Medida Estándar (E)				85.00	Medida Estándar (E)				140.00
Medida Alto Promedio (LP)					241.98	Medida Alto Promedio (LP)				84.04	Medida Alto Promedio (LP)				141.75
Desviacion Estándar (s)					0.54	Desviacion Estándar (s)				0.76	Desviacion Estándar (s)				0.46
Variacion Dimensional (%)					-0.60	Variacion Dimensional (%)				2.02	Variacion Dimensional (%)				-0.92

SERIE	LARGO (mm)					ALTO (mm)					ANCHO (mm)				
LCC1 - 2.5%	LADO 1	LADO 2	LADO 3	LADO 4	LARGO PROMEDIO	LADO 1	LADO 2	LADO 3	LADO 4	ALTO PROMEDIO	LADO 1	LADO 2	LADO 3	LADO 4	ANCHO PROMEDIO
LCC1 - 01	240.39	240.10	240.48	240.28	240.31	85.72	85.90	86.65	85.04	85.83	140.10	140.30	140.57	140.45	140.36
LCC1 - 02	240.27	240.40	241.40	241.13	240.80	85.82	84.40	85.54	84.79	85.14	141.09	140.92	140.26	140.75	140.76
LCC1 - 03	240.36	240.03	240.39	240.06	240.21	86.81	85.85	85.76	84.41	85.71	140.20	139.73	140.63	139.81	140.09
LCC1 - 04	240.29	240.74	239.90	239.79	240.18	87.00	85.83	86.73	84.54	86.03	140.60	140.39	139.89	140.09	140.24
LCC1 - 05	240.47	240.29	241.33	240.28	240.59	84.44	84.43	86.80	84.00	84.92	140.40	140.87	140.96	141.00	140.81
LCC1 - 06	241.90	242.11	241.96	242.33	242.08	85.10	83.10	84.15	83.00	83.84	141.45	142.16	142.44	142.51	142.14
LCC1 - 07	242.68	242.52	243.01	241.72	242.48	83.03	84.11	86.76	82.85	84.19	142.82	141.66	141.20	142.60	142.07
LCC1 - 08	242.62	242.24	241.17	243.04	242.27	88.87	85.17	83.64	85.64	85.83	141.86	141.90	141.22	141.66	141.66
LCC1 - 09	242.70	242.63	241.23	242.82	242.35	84.10	84.34	87.05	82.84	84.58	141.49	142.10	141.85	142.97	142.10
LCC1 - 10	242.21	242.71	242.43	241.70	242.26	85.36	84.09	84.11	84.23	84.45	141.27	142.06	140.75	142.51	141.65
Medida Estándar (E)					240.00	Medida Estándar (E)				85.00	Medida Estándar (E)				140.00
Medida Alto Promedio (LP)					241.35	Medida Alto Promedio (LP)				85.05	Medida Alto Promedio (LP)				141.19
Desviacion Estándar (s)					1.01	Desviacion Estándar (s)				0.78	Desviacion Estándar (s)				0.82
Variacion Dimensional (%)					-0.15	Variacion Dimensional (%)				0.85	Variacion Dimensional (%)				-0.26

Nota: Elaboración propia.

FICHA DE LABORATORIO - UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIAS CIVIL Y DEL AMBIENTE

LUGAR DE DESARROLLO: Laboratorio de Suelos y Concreto de la UCSM
NORMATIVA APLICADA: NTP 399.604 (2015) UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Metodos de muestreo y ensayos de unidades de albañileria de concreto
TESIS: Evaluación de las propiedades físico – mecánicas y costo de ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y partículas de papel reciclado, Arequipa 2024
ELABORADO POR: Paredes Aroquipa Emerson

VARIACION DIMENSIONAL EN LADRILLOS

SERIE	LARGO (mm)					ALTO (mm)					ANCHO (mm)				
LCC2 - 5%	LADO 1	LADO 2	LADO 3	LADO 4	LARGO PROMEDIO	LADO 1	LADO 2	LADO 3	LADO 4	ALTO PROMEDIO	LADO 1	LADO 2	LADO 3	LADO 4	ANCHO PROMEDIO
LCC2 - 01	243.34	240.88	241.44	240.86	241.63	83.00	83.19	82.19	82.69	82.77	140.77	141.91	141.10	142.20	141.50
LCC2 - 02	241.56	240.69	241.97	240.50	241.18	83.55	83.36	84.77	83.74	83.86	140.39	140.65	140.15	141.74	140.73
LCC2 - 03	241.80	241.58	242.74	242.17	242.07	83.66	82.97	83.88	82.15	83.17	141.95	142.02	141.50	141.69	141.79
LCC2 - 04	240.01	240.10	241.10	239.12	240.08	85.23	84.15	86.85	83.29	84.88	140.21	140.34	140.50	140.36	140.35
LCC2 - 05	242.15	241.27	242.50	240.49	241.60	83.76	83.35	84.24	83.69	83.76	141.66	141.31	141.41	140.11	141.12
LCC2 - 06	241.18	240.74	240.90	240.86	240.92	86.28	84.06	84.58	83.13	84.51	140.90	141.08	140.70	141.88	141.14
LCC2 - 07	239.83	240.06	240.45	239.22	239.89	85.57	85.66	88.22	85.92	86.34	139.70	139.87	139.36	139.78	139.68
LCC2 - 08	240.01	239.76	241.44	240.81	240.51	84.82	83.37	85.79	84.36	84.59	141.42	140.41	140.71	140.34	140.72
LCC2 - 09	241.69	241.84	241.40	240.88	241.45	84.52	82.11	82.19	83.76	83.15	141.06	140.10	140.92	140.87	140.74
LCC2 - 10	240.82	240.51	240.60	241.08	240.75	84.27	84.11	85.79	84.12	84.57	139.97	140.33	140.98	140.33	140.40
Medida Estándar (E)					240.00	Medida Estándar (E)				85.00	Medida Estándar (E)				140.00
Medida Alto Promedio (LP)					241.01	Medida Alto Promedio (LP)				84.16	Medida Alto Promedio (LP)				140.82
Desviacion Estándar (s)					0.71	Desviacion Estándar (s)				1.05	Desviacion Estándar (s)				0.61
Variacion Dimensional (%)					-0.13	Variacion Dimensional (%)				2.23	Variacion Dimensional (%)				-0.15

SERIE	LARGO (mm)					ALTO (mm)					ANCHO (mm)				
LCC3 - 7.5%	LADO 1	LADO 2	LADO 3	LADO 4	LARGO PROMEDIO	LADO 1	LADO 2	LADO 3	LADO 4	ALTO PROMEDIO	LADO 1	LADO 2	LADO 3	LADO 4	ANCHO PROMEDIO
LCC3 - 01	240.67	240.04	240.75	240.67	240.53	85.68	85.27	86.32	83.64	85.23	140.43	140.08	140.84	140.80	140.54
LCC3 - 02	240.10	240.11	240.35	240.85	240.35	87.49	85.45	86.56	85.73	86.31	140.19	140.03	140.22	140.41	140.21
LCC3 - 03	240.45	240.21	240.11	240.24	240.25	86.40	85.00	86.81	85.47	85.92	140.08	140.11	140.16	140.42	140.19
LCC3 - 04	240.03	240.24	240.19	240.34	240.20	86.58	86.08	87.17	85.39	86.31	140.16	139.68	139.75	140.43	140.01
LCC3 - 05	240.13	240.30	240.17	240.33	240.23	86.12	85.73	86.94	84.48	85.82	140.39	140.02	140.51	140.99	140.48
LCC3 - 06	240.04	240.03	240.37	240.64	240.27	87.26	84.51	86.59	85.73	86.02	140.22	140.15	140.38	140.32	140.27
LCC3 - 07	240.19	240.94	240.95	240.68	240.69	85.77	85.06	86.35	85.02	85.55	140.75	140.63	140.32	140.27	140.49
LCC3 - 08	240.01	240.05	240.01	240.10	240.04	86.77	85.41	87.06	86.18	86.36	140.37	139.96	139.81	139.96	140.03
LCC3 - 09	240.59	240.01	240.02	240.38	240.25	86.32	84.75	85.86	84.88	85.45	140.98	140.11	140.43	140.35	140.47
LCC3 - 10	240.33	240.33	240.27	240.86	240.45	86.88	85.43	85.82	84.28	85.60	140.55	140.77	140.14	139.98	140.36
Medida Estándar (E)					240.00	Medida Estándar (E)				85.00	Medida Estándar (E)				140.00
Medida Alto Promedio (LP)					240.33	Medida Alto Promedio (LP)				85.86	Medida Alto Promedio (LP)				140.30
Desviacion Estándar (s)					0.19	Desviacion Estándar (s)				0.39	Desviacion Estándar (s)				0.19
Variacion Dimensional (%)					-0.06	Variacion Dimensional (%)				-0.54	Variacion Dimensional (%)				-0.08

Nota: Elaboración propia.

FICHA DE LABORATORIO - UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIAS CIVIL Y DEL AMBIENTE

LUGAR DE DESARROLLO: Laboratorio de Suelos y Concreto de la UCSM

NORMATIVA APLICADA: NTP 399.604 (2015) UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Metodos de muestreo y ensayos de unidades de albañileria de concreto

TESIS: Evaluación de las propiedades físico – mecánicas y costo de ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y partículas de papel reciclado, Arequipa 2024

ELABORADO POR: Paredes Aroquipa Emerson

VARIACION DIMENSIONAL EN LADRILLOS

SERIE	LARGO (mm)					ALTO (mm)					ANCHO (mm)				
LCP1 - 2.5%	LADO 1	LADO 2	LADO 3	LADO 4	LARGO PROMEDIO	LADO 1	LADO 2	LADO 3	LADO 4	ALTO PROMEDIO	LADO 1	LADO 2	LADO 3	LADO 4	ANCHO PROMEDIO
LCP1 - 01	240.97	241.16	241.56	240.70	241.10	85.3	84.35	84.30	84.24	84.5475	140.84	141.12	141.92	141.88	141.44
LCP1 - 02	241.69	241.29	241.94	241.38	241.58	84.55	83.50	84.70	84.15	84.225	190.90	141.61	141.40	142.21	154.03
LCP1 - 03	240.16	239.8	240.27	239.55	239.95	85.86	85.80	85.78	85.05	85.6225	140.52	139.85	140.84	140.03	140.31
LCP1 - 04	240.46	240.69	240.16	240.15	240.37	85.95	85.37	85.73	84.85	85.475	141.04	139.85	141.58	140.07	140.64
LCP1 - 05	240.43	240.18	240.37	240.21	240.30	86.14	85.07	86.96	85	85.7925	140.73	140.72	141.31	140.50	140.82
LCP1 - 06	241.44	241.78	241.59	241.42	241.56	84	83.90	84.53	83.92	84.0875	141.55	141.86	141.44	141.68	141.63
LCP1 - 07	241.36	240.42	240.74	240.67	240.80	84.92	84.67	86.15	84.05	84.9475	141.50	140.86	141.47	140.64	141.12
LCP1 - 08	241.6	240.59	240.97	240.55	240.93	85.88	84.25	86.29	84.19	85.1525	141.56	141.50	141.43	141.20	141.42
LCP1 - 09	240.26	239.72	239.93	240.18	240.02	85.68	86.04	85.72	85.83	85.8175	139.68	139.70	139.85	140.03	139.82
LCP1 - 10	240.79	240.58	241.62	240.95	240.99	85.54	84.31	85.17	85.05	85.0175	141.86	140.99	141.50	141.40	141.44
Medida Estándar (E)					240.00	Medida Estándar (E)				85.00	Medida Estándar (E)				140.00
Medida Alto Promedio (LP)					240.76	Medida Alto Promedio (LP)				85.07	Medida Alto Promedio (LP)				142.27
Desviacion Estándar (s)					0.58	Desviacion Estándar (s)				0.63	Desviacion Estándar (s)				4.17
Variacion Dimensional (%)					-0.07	Variacion Dimensional (%)				0.66	Variacion Dimensional (%)				1.36

SERIE	LARGO (mm)					ALTO (mm)					ANCHO (mm)				
LCP2 - 5%	LADO 1	LADO 2	LADO 3	LADO 4	LARGO PROMEDIO	LADO 1	LADO 2	LADO 3	LADO 4	ALTO PROMEDIO	LADO 1	LADO 2	LADO 3	LADO 4	ANCHO PROMEDIO
LCP2 - 01	241.78	240.43	241.91	240.66	241.195	83.88	83.97	83.82	84.05	83.93	141.88	141.87	141.96	140.73	141.61
LCP2 - 02	241.21	240.45	241.14	241.37	241.0425	84.9	84.32	84.34	83.83	84.3475	140.93	140.64	141.62	141.93	141.28
LCP2 - 03	241.56	241.16	242.03	241.87	241.655	85.1	84.41	83.77	84.14	84.355	141.72	141.65	141.77	141.22	141.59
LCP2 - 04	241.91	241.78	241.65	242.01	241.8375	83.81	83.71	84.00	84.26	83.945	141.95	141.80	142.05	141.66	141.865
LCP2 - 05	240.57	239.53	240.42	239.70	240.055	84.88	84.89	85.67	85.11	85.1375	140.44	140.10	140.93	139.88	140.3375
LCP2 - 06	240.72	240.47	240.65	240.4	240.56	85.36	83.9	85.65	85.49	85.1	140.91	140.65	141.09	140.4	140.7625
LCP2 - 07	241.84	241.83	241.44	241.57	241.67	84.43	83.66	84.01	83.97	84.0175	141.87	141.73	141.93	141.27	141.7
LCP2 - 08	241.17	240.87	240.94	240.81	240.9475	83.99	84.2	83.55	83.76	83.875	141.67	141.55	141.78	141.34	141.585
LCP2 - 09	241.04	240.03	240.84	240.08	240.4975	85.28	84.12	84.98	85.82	85.05	141.38	140.77	141.64	140.66	141.1125
LCP2 - 10	240.82	240.23	240.96	240.95	240.74	84.86	84.59	83.8	84.28	84.3825	140.65	141.4	140.95	140.3	140.825
Medida Estándar (E)					240.00	Medida Estándar (E)				85.00	Medida Estándar (E)				140.00
Medida Alto Promedio (LP)					241.02	Medida Alto Promedio (LP)				84.41	Medida Alto Promedio (LP)				141.27
Desviacion Estándar (s)					0.58	Desviacion Estándar (s)				0.51	Desviacion Estándar (s)				0.50
Variacion Dimensional (%)					-0.18	Variacion Dimensional (%)				1.29	Variacion Dimensional (%)				-0.55

Nota: Elaboración propia.

FICHA DE LABORATORIO - UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIAS CIVIL Y DEL AMBIENTE

LUGAR DE DESARROLLO: Laboratorio de Suelos y Concreto de la UCSM
NORMATIVA APLICADA: NTP 399.604 (2015) UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Metodos de muestreo y ensayos de unidades de albañileria de concreto
TESIS: Evaluación de las propiedades físico – mecánicas y costo de ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y partículas de papel reciclado, Arequipa 2024
ELABORADO POR: Paredes Aroquipa Emerson

VARIACION DIMENSIONAL EN LADRILLOS

SERIE	LARGO (mm)					ALTO (mm)					ANCHO (mm)				
LCP3 - 7.5%	LADO 1	LADO 2	LADO 3	LADO 4	LARGO PROMEDIO	LADO 1	LADO 2	LADO 3	LADO 4	ALTO PROMEDIO	LADO 1	LADO 2	LADO 3	LADO 4	ANCHO PROMEDIO
LCP3 - 01	241.47	241.87	241.83	241.41	241.645	84.53	83.9	84.19	84.5	84.28	141.71	141.74	141.65	141.3	141.6
LCP3 - 02	241.94	241.64	241.50	241.37	241.6125	84.4	83.71	84.33	84.61	84.2625	141.93	141.58	141.68	141.84	141.7575
LCP3 - 03	241.65	241.89	241.86	240.91	241.5775	84.25	83.82	84.47	84.23	84.1925	141.61	140.88	141.41	141.63	141.3825
LCP3 - 04	240.6	241.35	240.56	241.37	240.97	85.8	83.70	85.05	84.76	84.8275	141.99	140.76	141.40	140.10	141.0625
LCP3 - 05	241.02	241.78	241.99	241.82	241.6525	84.33	83.84	84.07	84.03	84.0675	141.88	141.74	141.48	140.37	141.3675
LCP3 - 06	240.57	241.22	240.58	240.54	240.7275	85.76	84.82	85.20	84.73	85.1275	141.90	140.08	140.86	139.54	140.595
LCP3 - 07	240.75	240.6	240.87	240.27	240.6225	84.96	83.80	84.67	83.82	84.3125	141.87	140.35	140.83	140.98	141.0075
LCP3 - 08	240.64	240.48	241.53	241.25	240.975	84.7	84.19	84.85	85.11	84.7125	141.89	140.52	141.58	139.81	140.95
LCP3 - 09	240.47	241.08	240.74	240.10	240.5975	84.07	84.05	85.20	84.54	84.465	141.89	140.08	141.79	140.67	141.1075
LCP3 - 10	240.56	240.52	240.53	240.83	240.61	86.44	84.88	84.96	84.55	85.2075	141.11	140.86	140.10	140.07	140.535
Medida Estándar (E)					240.00	Medida Estándar (E)				85.00	Medida Estándar (E)				140.00
Medida Alto Promedio (LP)					241.10	Medida Alto Promedio (LP)				84.55	Medida Alto Promedio (LP)				141.14
Desviacion Estándar (s)					0.47	Desviacion Estándar (s)				0.40	Desviacion Estándar (s)				0.40
Variacion Dimensional (%)					-0.26	Variacion Dimensional (%)				1.01	Variacion Dimensional (%)				-0.53

Nota: Elaboración propia.

Anexo 16.

Ensayo de porcentaje de área de vacíos de ladrillos de concreto.

FICHA DE LABORATORIO - UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIAS CIVIL Y DEL AMBIENTE

LUGAR DE DESARROLLO: Laboratorio de Suelos y Concreto de la UCSM

NORMATIVA APLICADA: NTP 399.613 (2017) UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Metodo de Muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañileria

TESIS: Evaluación de las propiedades físico – mecánicas y costo de ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y partículas de papel reciclado, Arequipa 2024

ELABORADO POR: Paredes Aroquipa Emerson

PORCENTAJE DE VACIOS EN LADRILLOS

PORCENTAJE DE VACIOS				
LC - 0%				
SERIE	**Volumen (cm³)**	**Peso de la arena introducida (g)**	**Volumen (g)**	**Vacios (%)**
LC - 01	**2900.64**	**1039.04**	**635.69**	**21.92**
LC - 02	**2880.06**	**1039.46**	**635.95**	**22.08**
LC - 03	**2875.28**	**1014.42**	**620.63**	**21.59**
LC - 04	**2894.78**	**1011.26**	**618.70**	**21.37**
LC - 05	**2814.16**	**1022.49**	**625.57**	**22.23**
LC - 06	**2913.47**	**1000.12**	**611.88**	**21.00**
LC - 07	**2886.67**	**1013.81**	**620.26**	**21.49**
LC - 08	**2896.67**	**1011.18**	**618.65**	**21.36**
LC - 09	**2856.47**	**1029.4**	**629.80**	**22.05**
LC - 10	**2909.29**	**1041.71**	**637.33**	**21.91**
VACIOS PROMEDIO (%)	21.70			
DESVIACION ESTÁNDAR	0.40			
PORCENTAJE DE VACIOS	21.30			
COEF. DE VARIACION (%)	1.82			

PORCENTAJE DE VACIOS				
LCC1 - 2.5%				
SERIE	**Volumen (cm³)**	**Peso de la arena introducida (g)**	**Volumen (g)**	**Vacios (%)**
LCC1 - 01	**2894.88**	**1089.09**	**658.82**	**22.76**
LCC1 - 02	**2885.63**	**1046.2**	**632.88**	**21.93**
LCC1 - 03	**2884.20**	**1077.88**	**652.04**	**22.61**
LCC1 - 04	**2897.62**	**1118.7**	**676.74**	**23.35**
LCC1 - 05	**2876.77**	**1138.71**	**688.84**	**23.94**
LCC1 - 06	**2884.73**	**1074.4**	**649.94**	**22.53**
LCC1 - 07	**2900.22**	**1117.21**	**675.84**	**23.30**
LCC1 - 08	**2945.65**	**1106.32**	**669.25**	**22.72**
LCC1 - 09	**2912.84**	**1130.26**	**683.73**	**23.47**
LCC1 - 10	**2897.89**	**1103.9**	**667.78**	**23.04**
VACIOS PROMEDIO (%)	22.97			
DESVIACION ESTÁNDAR	0.58			
PORCENTAJE DE VACIOS	22.39			
COEF. DE VARIACION (%)	2.50			

Nota: Elaboración propia.

FICHA DE LABORATORIO - UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIAS CIVIL Y DEL AMBIENTE

LUGAR DE DESARROLLO: Laboratorio de Suelos y Concreto de la UCSM
NORMATIVA APLICADA: NTP 399.613 (2017) UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Metodo de Muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañileria
TESIS: Evaluación de las propiedades físico – mecánicas y costo de ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y partículas de papel reciclado, Arequipa 2024
ELABORADO POR: Paredes Aroquipa Emerson

PORCENTAJE DE VACIOS EN LADRILLOS

PORCENTAJE DE VACIOS				
LCC2 - 5%				
SERIE	**Volumen (cm³)**	**Peso de la arena introducida (g)**	**Volumen (g)**	**Vacios (%)**
LCC2 - 01	**2829.77**	**1017.66**	**628.84**	**22.22**
LCC2 - 02	**2846.20**	**1003.18**	**619.89**	**21.78**
LCC2 - 03	**2854.51**	**1016.47**	**628.10**	**22.00**
LCC2 - 04	**2860.13**	**1017.15**	**628.52**	**21.98**
LCC2 - 05	**2855.84**	**1027.01**	**634.61**	**22.22**
LCC2 - 06	**2873.72**	**1061.28**	**655.79**	**22.82**
LCC2 - 07	**2893.13**	**1051.11**	**649.51**	**22.45**
LCC2 - 08	**2862.68**	**1010.94**	**624.68**	**21.82**
LCC2 - 09	**2825.39**	**1005.09**	**621.07**	**21.98**
LCC2 - 10	**2858.74**	**1044.82**	**645.62**	**22.58**
VACIOS PROMEDIO (%)	22.19			
DESVIACION ESTÁNDAR	0.34			
PORCENTAJE DE VACIOS	21.84			
COEF. DE VARIACION (%)	1.54			

PORCENTAJE DE VACIOS				
LCC3 - 7.5%				
SERIE	**Volumen (cm³)**	**Peso de la arena introducida (g)**	**Volumen (g)**	**Vacios (%)**
LCC3 - 01	**2881.02**	**1111.66**	**680.28**	**23.61**
LCC3 - 02	**2908.60**	**1085.95**	**664.55**	**22.85**
LCC3 - 03	**2893.92**	**1095.67**	**670.50**	**23.17**
LCC3 - 04	**2902.37**	**1090.54**	**667.36**	**22.99**
LCC3 - 05	**2896.11**	**1081.83**	**662.03**	**22.86**
LCC3 - 06	**2899.14**	**1081.98**	**662.12**	**22.84**
LCC3 - 07	**2892.89**	**1125.04**	**688.47**	**23.80**
LCC3 - 08	**2902.56**	**1118.01**	**684.17**	**23.57**
LCC3 - 09	**2883.79**	**1129.86**	**691.42**	**23.98**
LCC3 - 10	**2889.02**	**1091.59**	**668.00**	**23.12**
VACIOS PROMEDIO (%)	23.28			
DESVIACION ESTÁNDAR	0.43			
PORCENTAJE DE VACIOS	22.85			
COEF. DE VARIACION (%)	1.83			

Nota: Elaboración propia.

FICHA DE LABORATORIO - UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIAS CIVIL Y DEL AMBIENTE

LUGAR DE DESARROLLO: Laboratorio de Suelos y Concreto de la UCSM

NORMATIVA APLICADA: NTP 399.613 (2017) UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Metodo de Muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañileria

TESIS: Evaluación de las propiedades físico – mecánicas y costo de ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y partículas de papel reciclado, Arequipa 2024

ELABORADO POR: Paredes Aroquipa Emerson

PORCENTAJE DE VACIOS EN LADRILLOS

PORCENTAJE DE VACIOS				
LCP1 - 2.5%				
SERIE	**Volumen (cm^3)**	**Peso de la arena introducida (g)**	**Volumen (g)**	**Vacios (%)**
LCP1 - 01	**2883.14**	**1205.93**	**745.17**	**25.85**
LCP1 - 02	**2879.662**	**1216.78**	**751.88**	**26.11**
LCP1 - 03	**2882.626**	**1285.57**	**794.39**	**27.56**
LCP1 - 04	**2889.374**	**1282.96**	**792.77**	**27.44**
LCP1 - 05	**2903.003**	**1280.21**	**791.07**	**27.25**
LCP1 - 06	**2876.835**	**1229.28**	**759.60**	**26.40**
LCP1 - 07	**2886.579**	**1184.20**	**731.75**	**25.35**
LCP1 - 08	**2901.364**	**1260.86**	**779.12**	**26.85**
LCP1 - 09	**2879.928**	**1237.45**	**764.65**	**26.55**
LCP1 - 10	**2897.763**	**1261.43**	**779.47**	**26.90**
VACIOS PROMEDIO (%)	26.63			
DESVIACION ESTÁNDAR	0.71			
PORCENTAJE DE VACIOS	25.91			
COEF. DE VARIACION (%)	2.69			

PORCENTAJE DE VACIOS				
LCP2 - 5%				
SERIE	**Volumen (cm^3)**	**Peso de la arena introducida (g)**	**Volumen (g)**	**Vacios (%)**
LCP2 - 01	**2866.682**	**1210.48**	**747.99**	**26.09**
LCP2 - 02	**2872.411**	**1244.65**	**769.10**	**26.78**
LCP2 - 03	**2886.285**	**1232.96**	**761.88**	**26.40**
LCP2 - 04	**2880.008**	**1245.04**	**769.34**	**26.71**
LCP2 - 05	**2868.173**	**1251.89**	**773.57**	**26.97**
LCP2 - 06	**2881.641**	**1282.57**	**792.53**	**27.50**
LCP2 - 07	**2877.149**	**1232.71**	**761.72**	**26.47**
LCP2 - 08	**2861.358**	**1213.98**	**750.15**	**26.22**
LCP2 - 09	**2886.359**	**1257.45**	**777.01**	**26.92**
LCP2 - 10	**2860.753**	**1218.6**	**753.00**	**26.32**
VACIOS PROMEDIO (%)	26.64			
DESVIACION ESTÁNDAR	0.42			
PORCENTAJE DE VACIOS	26.21			
COEF. DE VARIACION (%)	1.59			

Nota: Elaboración propia.

FICHA DE LABORATORIO - UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIAS CIVIL Y DEL AMBIENTE

LUGAR DE DESARROLLO: Laboratorio de Suelos y Concreto de la UCSM
NORMATIVA APLICADA: NTP 399.613 (2017) UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Metodo de Muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañileria
TESIS: Evaluación de las propiedades físico – mecánicas y costo de ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y partículas de papel reciclado, Arequipa 2024
ELABORADO POR: Paredes Aroquipa Emerson

PORCENTAJE DE VACIOS EN LADRILLOS

PORCENTAJE DE VACIOS				
LCP3 - 7.5%				
SERIE	**Volumen (cm^3)**	**Peso de la arena introducida (g)**	**Volumen (g)**	**Vacios (%)**
LCP3 - 01	**2883.803**	**1200.26**	**722.97**	**25.07**
LCP3 - 02	**2886.023**	**1219.39**	**734.49**	**25.45**
LCP3 - 03	**2875.581**	**1252.07**	**754.18**	**26.23**
LCP3 - 04	**2883.442**	**1269.45**	**764.65**	**26.52**
LCP3 - 05	**2871.898**	**1252.99**	**754.73**	**26.28**
LCP3 - 06	**2881.147**	**1294.34**	**779.64**	**27.06**
LCP3 - 07	**2860.687**	**1208.69**	**728.04**	**25.45**
LCP3 - 08	**2877.296**	**1250.01**	**752.94**	**26.17**
LCP3 - 09	**2867.596**	**1255.04**	**755.97**	**26.36**
LCP3 - 10	**2881.217**	**1262.84**	**760.66**	**26.40**
VACIOS PROMEDIO (%)	26.10			
DESVIACION ESTÁNDAR	0.60			
PORCENTAJE DE VACIOS	25.50			
COEF. DE VARIACION (%)	2.29			

Nota: Elaboración propia.

Anexo 17.

Ensayo de absorción de ladrillos de concreto.

FICHA DE LABORATORIO - UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIAS CIVIL Y DEL AMBIENTE

LUGAR DE DESARROLLO: Laboratorio de Suelos y Concreto de la UCSM

NORMATIVA APLICADA: NTP 399.604 (2015) UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Metodos de muestreo y ensayos de unidades de albañileria de concreto

TESIS: Evaluación de las propiedades físico – mecánicas y costo de ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y partículas de papel reciclado, Arequipa 2024

ELABORADO POR: Paredes Aroquipa Emerson

PORCENTAJE DE ABSORCION EN LADRILLOS

ABSORCION LC - 0%				
SERIE	**PESO SECO (g)**	**PESO SATURADO (g)**	**DIFERENCIA EN PESO HUMEDO (g)**	**ABSORCION (%)**
LC - 01	**4485**	**4828**	**343**	7.65
LC - 02	**4537**	**4846.5**	**309.5**	6.82
LC - 03	**4516.5**	**4838.5**	**322**	7.13
LC - 04	**4569**	**4873**	**304**	6.65
LC - 05	**4470**	**4810**	**340**	7.61
LC - 06	**4534.5**	**4856**	**321.5**	7.09

ABSORCION PROMEDIO (%)	**7.16**
DESVIACION ESTÁNDAR (S)	**0.40**
ABSORCION (%)	**6.75**
COEF. DE VARIACION (%)	**5.63**

ABSORCION LCC1 - 2.5%				
SERIE	**PESO SECO (g)**	**PESO SATURADO (g)**	**DIFERENCIA EN PESO HUMEDO (g)**	**ABSORCION (%)**
LCC1 - 01	**4303.5**	**4648.5**	**345**	8.02
LCC1 - 02	**4269**	**4625.5**	**356.5**	8.35
LCC1 - 03	**4272**	**4653.5**	**381.5**	8.93
LCC1 - 04	**4283**	**4641.5**	**358.5**	8.37
LCC1 - 05	**4280.5**	**4654.5**	**374**	8.74
LCC1 - 06	**4283.5**	**4621.5**	**338**	7.89

ABSORCION PROMEDIO (%)	**8.38**
DESVIACION ESTÁNDAR (S)	**0.40**
ABSORCION (%)	**7.98**
COEF. DE VARIACION (%)	**4.78**

ABSORCION LCC2 - 5%				
SERIE	**PESO SECO (g)**	**PESO SATURADO (g)**	**DIFERENCIA EN PESO HUMEDO (g)**	**ABSORCION (%)**
LCC2 - 01	**4062.5**	**4416.5**	**354**	8.71
LCC2 - 02	**4102.5**	**4470**	**367.5**	8.96
LCC2 - 03	**4126**	**4446**	**320**	7.76
LCC2 - 04	**4125**	**4446**	**321**	7.78
LCC2 - 05	**4145**	**4482.5**	**337.5**	8.14
LCC2 - 06	**4059.5**	**4394.5**	**335**	8.25

ABSORCION PROMEDIO (%)	**8.27**
DESVIACION ESTÁNDAR (S)	**0.49**
ABSORCION (%)	**7.78**
COEF. DE VARIACION (%)	**5.90**

ABSORCION LCC3 - 7.5%				
SERIE	**PESO SECO (g)**	**PESO SATURADO (g)**	**DIFERENCIA EN PESO HUMEDO (g)**	**ABSORCION (%)**
LCC3 - 01	**4080.5**	**4392.5**	**312**	7.65
LCC3 - 02	**3954.5**	**4288.5**	**334**	8.45
LCC3 - 03	**4025**	**4336.5**	**311.5**	7.74
LCC3 - 04	**4030.5**	**4351**	**320.5**	7.95
LCC3 - 05	**4053.5**	**4382.5**	**329**	8.12
LCC3 - 06	**3999**	**4330.5**	**331.5**	8.29

ABSORCION PROMEDIO (%)	**8.03**
DESVIACION ESTÁNDAR (S)	**0.31**
ABSORCION (%)	**7.72**
COEF. DE VARIACION (%)	**3.88**

Nota: Elaboración propia.

FICHA DE LABORATORIO - UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIAS CIVIL Y DEL AMBIENTE

LUGAR DE DESARROLLO: Laboratorio de Suelos y Concreto de la UCSM

NORMATIVA APLICADA: NTP 399.604 (2015) UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Metodos de muestreo y ensayos de unidades de albañileria de concreto

TESIS: Evaluación de las propiedades físico – mecánicas y costo de ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y partículas de papel reciclado, Arequipa 2024

ELABORADO POR: Paredes Aroquipa Emerson

PORCENTAJE DE ABSORCION EN LADRILLOS

ABSORCION LCP1 - 2.5%				
SERIE	**PESO SECO (g)**	**PESO SATURADO (g)**	**DIFERENCIA EN PESO HUMEDO (g)**	**ABSORCION (%)**
LCP1 - 01	**4314**	**4588**	**274**	6.35
LCP1 - 02	**4302.5**	**4571**	**268.5**	6.24
LCP1 - 03	**4352.5**	**4613**	**260.5**	5.99
LCP1 - 04	**4346**	**4607.5**	**261.5**	6.02
LCP1 - 05	**4313**	**4596**	**283**	6.56
LCP1 - 06	**4332**	**4598**	**266**	6.14

ABSORCION PROMEDIO (%)	**6.22**
DESVIACION ESTÁNDAR (S)	**0.22**
ABSORCION (%)	**6.00**
COEF. DE VARIACION (%)	**3.50**

ABSORCION LCP2 - 5%				
SERIE	**PESO SECO (g)**	**PESO SATURADO (g)**	**DIFERENCIA EN PESO HUMEDO (g)**	**ABSORCION (%)**
LCP2 - 01	**4266**	**4629**	**363**	8.51
LCP2 - 02	**4249.5**	**4614.5**	**365**	8.59
LCP2 - 03	**4297.5**	**4649.5**	**352**	8.19
LCP2 - 04	**4283**	**4641**	**358**	8.36
LCP2 - 05	**4299**	**4657.5**	**358.5**	8.34
LCP2 - 06	**4313.5**	**4674**	**360.6072243**	8.36

ABSORCION PROMEDIO (%)	**8.39**
DESVIACION ESTÁNDAR (S)	**0.14**
ABSORCION (%)	**8.25**
COEF. DE VARIACION (%)	**1.67**

ABSORCION LCP3 - 7.5%				
SERIE	**PESO SECO (g)**	**PESO SATURADO (g)**	**DIFERENCIA EN PESO HUMEDO (g)**	**ABSORCION (%)**
LCP3 - 01	**4066.5**	**4544**	**477.5**	11.74
LCP3 - 02	**4059**	**4541**	**482**	11.88
LCP3 - 03	**4089.5**	**4560.5**	**471**	11.52
LCP3 - 04	**4068.5**	**4541**	**472.5**	11.61
LCP3 - 05	**4080**	**4539**	**459**	11.25
LCP3 - 06	**4027**	**4491**	**464**	11.52

ABSORCION PROMEDIO (%)	**11.59**
DESVIACION ESTÁNDAR (S)	**0.22**
ABSORCION (%)	**11.37**
COEF. DE VARIACION (%)	**1.87**

Nota: Elaboración propia.

Anexo 18.

Ensayo de succión de ladrillos de concreto.

FICHA DE LABORATORIO - UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIAS CIVIL Y DEL AMBIENTE

LUGAR DE DESARROLLO: Laboratorio de Suelos y Concreto de la UCSM

NORMATIVA APLICADA: NTP 399.613 (2017) UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Metodo de Muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañileria

TESIS: Evaluación de las propiedades físico – mecánicas y costo de ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y partículas de papel reciclado, Arequipa 2024

ELABORADO POR: Paredes Aroquipa Emerson

SUCCION DE LADRILLOS

SUCCION	LC - 0%					
SERIE	**LC - 01**	**LC - 02**	**LC - 03**	**LC - 04**	**LC - 05**	**LC - 06**
LARGO (cm)	24.15	24.19	24.16	24.24	24.16	24.22
ANCHO (cm)	14.13	14.15	14.13	14.26	14.13	14.17
AREA (cm2)	341.25	342.15	341.36	345.66	341.39	343.34
PESO SECO (g)	4518	4450	4505	4551.5	4489	4554.5
PESO DESPUES DE SUCCION (g)	4533.5	4466	4520.5	4568.5	4505	4571
SUCCION (gr/200cm2-min)	9.08	9.35	9.08	9.84	9.37	9.61
SUCCION PROMEDIO (SP)	9.39					
DESVIACION ESTÁNDAR (S)	0.30					
SUCCION (S)	9.09					
COEF. DE VARIACION (%)	3.16					

SUCCION	LCC1 - 2.5%					
SERIE	**LCC1 - 01**	**LCC1 - 02**	**LCC1 - 03**	**LCC1 - 04**	**LCC1 - 05**	**LCC1 - 06**
LARGO (cm)	24.03	24.08	24.02	24.23	24.25	24.21
ANCHO (cm)	14.04	14.08	14.01	14.17	14.21	14.21
AREA (cm2)	337.30	338.95	336.51	343.20	344.49	344.09
PESO SECO (g)	4261.5	4255	4268.5	4293.5	4328.5	4289.5
PESO DESPUES DE SUCCION (g)	4279.5	4272.5	4286.5	4311.5	4345	4308.5
SUCCION (gr/200cm2-min)	10.67	10.33	10.70	10.49	9.58	11.04
SUCCION PROMEDIO (SP)	10.47					
DESVIACION ESTÁNDAR (S)	0.50					
SUCCION (S)	9.97					
COEF. DE VARIACION (%)	4.75					

SUCCION	LCC2 - 5%					
SERIE	**LCC2 - 01**	**LCC2 - 02**	**LCC2 - 03**	**LCC2 - 04**	**LCC2 - 05**	**LCC2 - 06**
LARGO (cm)	24.16	24.09	23.99	24.01	24.16	24.05
ANCHO (cm)	14.11	14.11	13.97	14.04	14.15	14.07
AREA (cm2)	340.95	340.03	335.08	336.95	341.91	338.45
PESO SECO (g)	4156	4122.5	4105.5	4048	4116	4095
PESO DESPUES DE SUCCION (g)	4173	4138.5	4122.5	4065	4133.5	4113
SUCCION (gr/200cm2-min)	9.972	9.411	10.147	10.09	10.24	10.64
SUCCION PROMEDIO (SP)	10.08					
DESVIACION ESTÁNDAR (S)	0.40					
SUCCION (S)	9.68					
COEF. DE VARIACION (%)	3.96					

Nota: Elaboración propia.

FICHA DE LABORATORIO - UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIAS CIVIL Y DEL AMBIENTE

LUGAR DE DESARROLLO: Laboratorio de Suelos y Concreto de la UCSM

NORMATIVA APLICADA: NTP 399.613 (2017) UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Metodo de Muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañileria

TESIS: Evaluación de las propiedades físico – mecánicas y costo de ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y partículas de papel reciclado, Arequipa 2024

ELABORADO POR: Paredes Aroquipa Emerson

SUCCION DE LADRILLOS

SUCCION	LCC3 - 7.5%					
SERIE	**LCC3 - 01**	**LCC3 - 02**	**LCC3 - 03**	**LCC3 - 04**	**LCC3 - 05**	**LCC3 - 06**
LARGO (cm)	24.05	24.02	24.00	24.04	24.02	24.07
ANCHO (cm)	14.05	14.00	14.00	14.02	14.05	14.05
AREA (cm2)	338.04	336.30	336.13	336.99	337.48	338.15
PESO SECO (g)	3977	4075	4046.5	4017.5	3966.5	3982
PESO DESPUES DE SUCCION (g)	3992	4091	4062	4034.5	3983.5	3999
SUCCION (gr/200cm2-min)	8.88	9.52	9.22	10.09	10.08	10.06
SUCCION PROMEDIO (SP)	9.64					
DESVIACION ESTÁNDAR (S)	0.52					
SUCCION (S)	9.12					
COEF. DE VARIACION (%)	5.37					

SUCCION	LCP1 - 2.5%					
SERIE	**LCP1 - 01**	**LCP1 - 02**	**LCP1 - 03**	**LCP1 - 04**	**LCP1 - 05**	**LCP1 - 06**
LARGO (cm)	24.08	24.09	24.00	24.04	24.03	24.16
ANCHO (cm)	14.11	14.14	14.03	14.06	14.08	14.16
AREA (cm2)	339.82	340.72	336.67	338.06	338.39	342.12
PESO SECO (g)	4162.5	4192	4200.5	4214.5	4187	4221
PESO DESPUES DE SUCCION (g)	4188	4216.5	4224	4238.5	4213.5	4246
SUCCION (gr/200cm2-min)	15.01	14.38	13.96	14.20	15.66	14.62
SUCCION PROMEDIO (SP)	14.64					
DESVIACION ESTÁNDAR (S)	0.62					
SUCCION (S)	14.02					
COEF. DE VARIACION (%)	4.22					

SUCCION	LCP2 - 5%					
SERIE	**LCP2 - 01**	**LCP2 - 02**	**LCP2 - 03**	**LCP2 - 04**	**LCP2 - 05**	**LCP2 - 06**
LARGO (cm)	24.17	24.10	24.17	24.09	24.01	24.06
ANCHO (cm)	14.17	14.13	14.16	14.16	14.03	14.08
AREA (cm2)	342.45	340.54	342.16	341.15	336.89	338.62
PESO SECO (g)	4180.5	4166	4289	4237	4206.5	4176
PESO DESPUES DE SUCCION (g)	4209.5	4192	4315	4263.5	4231	4203
SUCCION (gr/200cm2-min)	16.94	15.27	15.20	15.54	14.55	15.95
SUCCION PROMEDIO (SP)	15.57					
DESVIACION ESTÁNDAR (S)	0.81					
SUCCION (S)	14.76					
COEF. DE VARIACION (%)	5.21					

Nota: Elaboración propia.

FICHA DE LABORATORIO - UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIAS CIVIL Y DEL AMBIENTE

LUGAR DE DESARROLLO: Laboratorio de Suelos y Concreto de la UCSM
NORMATIVA APLICADA: NTP 399.613 (2017) UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Metodo de Muestreo
TESIS: Evaluación de las propiedades físico – mecánicas y costo de ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial de. [illegible] fino por partículas de caucho reciclado y partículas de papel reciclado, Arequipa 2024
ELABORADO POR: Paredes Aroquipa Emerson

SUCCION DE LADRILLOS

SUCCION	LCP3 - 7.5%					
SERIE	**LCP3 - 01**	**LCP3 - 02**	**LCP3 - 03**	**LCP3 - 04**	**LCP3 - 05**	**LCP3 - 06**
LARGO (cm)	24.06	24.10	24.16	24.06	24.06	24.07
ANCHO (cm)	14.05	14.10	14.14	14.10	14.11	14.06
AREA (cm2)	338.14	339.65	341.55	339.30	339.50	338.45
PESO SECO (g)	4035.50	4052.50	4082.50	4061.50	4137.00	4020.00
PESO DESPUES DE SUCCION (g)	4064.50	4082.50	4112.50	4091.00	4163.50	4048.50
SUCCION (gr/200cm2-min)	17.15	17.67	17.57	17.39	15.61	16.84
SUCCION PROMEDIO (SP)	17.04					
DESVIACION ESTÁNDAR (S)	0.76					
SUCCION (S)	16.28					
COEF. DE VARIACION (%)	4.46					

Nota: Elaboración propia.

Anexo 19.

Ensayo de resistencia a la compresión de ladrillos de concreto.

FICHA DE LABORATORIO - UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIAS CIVIL Y DEL AMBIENTE

LUGAR DE DESARROLLO: Laboratorio de Suelos y Concreto de la UCSM

NORMATIVA APLICADA: NTP 399.604 (2015) UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Metodos de muestreo y ensayos de unidades de albañileria de concreto

TESIS: Evaluación de las propiedades físico – mecánicas y costo de ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y partículas de papel reciclado, Arequipa 2024

ELABORADO POR: Paredes Aroquipa Emerson

RESISTENCIA A COMPRESION EN LADRILLOS

UNIDAD DE ALBAÑILERIA DE CONCRETO											
LC - 0%											
SERIE	**EDAD DE ROTURA**	**CARGA (kg)**	**RESISTENCIA (kg/cm²)**	**SERIE**	**EDAD DE ROTURA**	**CARGA (kg)**	**RESISTENCIA (kg/cm²)**	**SERIE**	**EDAD DE ROTURA**	**CARGA (kg)**	**RESISTENCIA (kg/cm²)**
LC - 01	7 DIAS	23279	68.22	LC - 06	14 DIAS	20766	60.85	LC - 11	28 DIAS	32814	96.16
LC - 02	7 DIAS	23081	67.46	LC - 07	14 DIAS	22358	65.35	LC - 12	28 DIAS	30651	89.58
LC - 03	7 DIAS	20492	60.03	LC - 08	14 DIAS	22706	66.52	LC - 13	28 DIAS	31923	93.52
LC - 04	7 DIAS	22611	65.41	LC - 09	14 DIAS	20422	59.08	LC - 14	28 DIAS	33570	97.12
LC - 05	7 DIAS	18378	53.83	LC - 10	14 DIAS	23919	70.07	LC - 15	28 DIAS	37242	109.09
PROMEDIO			62.99	PROMEDIO			64.37	PROMEDIO			97.09
DESVIACION ESTÁNDAR (S)			6.04	DESVIACION ESTÁNDAR (S)			4.43	DESVIACION ESTÁNDAR (S)			7.31
COEFICIENTE DE VARIACION (%)			**9.58**	COEFICIENTE DE VARIACION			**6.88**	COEFICIENTE DE VARIACION (%)			**7.53**

UNIDAD DE ALBAÑILERIA DE CONCRETO											
LCC1 - 2.5%											
SERIE	**EDAD DE ROTURA**	**CARGA (kg)**	**RESISTENCIA (kg/cm²)**	**SERIE**	**EDAD DE ROTURA**	**CARGA (kg)**	**RESISTENCIA (kg/cm²)**	**SERIE**	**EDAD DE ROTURA**	**CARGA (kg)**	**RESISTENCIA (kg/cm²)**
LCC1 - 01	7 DIAS	17142	50.58	LCC1 - 06	14 DIAS	21094	62.54	LCC1 - 11	28 DIAS	24304	72.06
LCC1 - 02	7 DIAS	17615	52.35	LCC1 - 07	14 DIAS	22579	66.62	LCC1 - 12	28 DIAS	25783	76.07
LCC1 - 03	7 DIAS	18033	53.54	LCC1 - 08	14 DIAS	21153	62.86	LCC1 - 13	28 DIAS	25092	74.56
LCC1 - 04	7 DIAS	21053	62.14	LCC1 - 09	14 DIAS	23187	68.84	LCC1 - 14	28 DIAS	25641	76.12
LCC1 - 05	7 DIAS	20452	59.44	LCC1 - 10	14 DIAS	24061	71.02	LCC1 - 15	28 DIAS	27454	81.04
PROMEDIO			55.61	PROMEDIO			66.38	PROMEDIO			75.97
DESVIACION ESTÁNDAR (S)			4.94	DESVIACION ESTÁNDAR (S)			3.70	DESVIACION ESTÁNDAR (S)			3.28
COEFICIENTE DE VARIACION (%)			**8.89**	COEFICIENTE DE VARIACION			**5.58**	COEFICIENTE DE VARIACION (%)			**4.32**

Nota: Elaboración propia.

FICHA DE LABORATORIO - UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIAS CIVIL Y DEL AMBIENTE

LUGAR DE DESARROLLO: Laboratorio de Suelos y Concreto de la UCSM
NORMATIVA APLICADA: NTP 399.604 (2015) UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Metodos de muestreo y ensayos de unidades de albañileria de concreto
TESIS: Evaluación de las propiedades físico – mecánicas y costo de ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y partículas de papel reciclado, Arequipa 2024
ELABORADO POR: Paredes Aroquipa Emerson

RESISTENCIA A COMPRESION EN LADRILLOS

UNIDAD DE ALBAÑILERIA DE CONCRETO											
LCC2 - 5%											
SERIE	EDAD DE ROTURA	CARGA (kg)	RESISTENCIA (kg/cm²)	SERIE	EDAD DE ROTURA	CARGA (kg)	RESISTENCIA (kg/cm²)	SERIE	EDAD DE ROTURA	CARGA (kg)	RESISTENCIA (kg/cm²)
LCC2 - 01	7 DIAS	14467	42.31	LCC2 - 06	14 DIAS	22739	66.51	LCC2 - 11	28 DIAS	23243	67.98
LCC2 - 02	7 DIAS	15305	45.09	LCC2 - 07	15 DIAS	21239	62.57	LCC2 - 12	28 DIAS	25295	74.52
LCC2 - 03	7 DIAS	15858	46.20	LCC2 - 08	16 DIAS	22966	66.91	LCC2 - 13	28 DIAS	22945	66.85
LCC2 - 04	7 DIAS	14706	43.64	LCC2 - 09	17 DIAS	21263	63.10	LCC2 - 14	28 DIAS	25913	76.90
LCC2 - 05	7 DIAS	16002	46.93	LCC2 - 10	18 DIAS	21137	61.99	LCC2 - 15	28 DIAS	23755	69.67
PROMEDIO			44.84	PROMEDIO			64.22	PROMEDIO			71.19
DESVIACION ESTÁNDAR (S)			1.88	DESVIACION ESTÁNDAR (S)			2.31	DESVIACION ESTÁNDAR (S)			4.34
COEFICIENTE DE VARIACION (%)			**4.19**	COEFICIENTE DE VARIACION			**3.60**	COEFICIENTE DE VARIACION (%)			**6.09**

UNIDAD DE ALBAÑILERIA DE CONCRETO											
LCC3 - 7.5%											
SERIE	EDAD DE ROTURA	CARGA (kg)	RESISTENCIA (kg/cm²)	SERIE	EDAD DE ROTURA	CARGA (kg)	RESISTENCIA (kg/cm²)	SERIE	EDAD DE ROTURA	CARGA (kg)	RESISTENCIA (kg/cm²)
LCC3 - 01	7 DIAS	14011	41.45	LCC3 - 06	14 DIAS	17656	52.23	LCC3 - 11	28 DIAS	19095	56.49
LCC3 - 02	7 DIAS	11299	33.53	LCC3 - 07	14 DIAS	17878	53.05	LCC3 - 12	28 DIAS	18877	56.01
LCC3 - 03	7 DIAS	12419	36.87	LCC3 - 08	14 DIAS	17444	51.79	LCC3 - 13	28 DIAS	18410	54.66
LCC3 - 04	7 DIAS	11469	34.10	LCC3 - 09	14 DIAS	17334	51.54	LCC3 - 14	28 DIAS	18156	53.99
LCC3 - 05	7 DIAS	13604	40.31	LCC3 - 10	14 DIAS	17141	50.79	LCC3 - 15	28 DIAS	19372	57.40
PROMEDIO			37.25	PROMEDIO			51.88	PROMEDIO			55.71
DESVIACION ESTÁNDAR (S)			3.57	DESVIACION ESTÁNDAR (S)			0.84	DESVIACION ESTÁNDAR (S)			1.38
COEFICIENTE DE VARIACION (%)			**9.57**	COEFICIENTE DE VARIACION			**1.61**	COEFICIENTE DE VARIACION (%)			**2.48**

Nota: Elaboración propia.

FICHA DE LABORATORIO - UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIAS CIVIL Y DEL AMBIENTE

LUGAR DE DESARROLLO: Laboratorio de Suelos y Concreto de la UCSM
NORMATIVA APLICADA: NTP 399.604 (2015) UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Metodos de muestreo y ensayos de unidades de albañileria de concreto
TESIS: Evaluación de las propiedades físico – mecánicas y costo de ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y partículas de papel reciclado, Arequipa 2024
ELABORADO POR: Paredes Aroquipa Emerson

RESISTENCIA A COMPRESION EN LADRILLOS

UNIDAD DE ALBAÑILERIA DE CONCRETO											
LCP1 - 2.5%											
SERIE	**EDAD DE ROTURA**	**CARGA (kg)**	**RESISTENCIA (kg/cm²)**	**SERIE**	**EDAD DE ROTURA**	**CARGA (kg)**	**RESISTENCIA (kg/cm²)**	**SERIE**	**EDAD DE ROTURA**	**CARGA (kg)**	**RESISTENCIA (kg/cm²)**
LCP1 - 01	7 DIAS	26545	77.84	LCP1 - 06	14 DIAS	30892	90.59	LCP1 - 11	28 DIAS	36140	105.98
LCP1 - 02	7 DIAS	28001	75.25	LCP1 - 07	14 DIAS	29811	80.12	LCP1 - 12	28 DIAS	34250	92.05
LCP1 - 03	7 DIAS	25778	76.57	LCP1 - 08	14 DIAS	28994	86.12	LCP1 - 13	28 DIAS	38170	113.38
LCP1 - 04	7 DIAS	26855	79.44	LCP1 - 09	14 DIAS	32312	95.59	LCP1 - 14	28 DIAS	35657	105.48
LCP1 - 05	7 DIAS	26473	78.24	LCP1 - 10	14 DIAS	34937	103.25	LCP1 - 15	28 DIAS	33670	99.51
PROMEDIO			77.47	PROMEDIO			91.13	PROMEDIO			103.28
DESVIACION ESTÁNDAR (S)			1.61	DESVIACION ESTÁNDAR (S)			8.85	DESVIACION ESTÁNDAR (S)			7.98
COEFICIENTE DE VARIACION (%)			**2.08**	COEFICIENTE DE VARIACION			**9.71**	COEFICIENTE DE VARIACION (%)			**7.72**

UNIDAD DE ALBAÑILERIA DE CONCRETO											
LCP2 - 5%											
SERIE	**EDAD DE ROTURA**	**CARGA (kg)**	**RESISTENCIA (kg/cm²)**	**SERIE**	**EDAD DE ROTURA**	**CARGA (kg)**	**RESISTENCIA (kg/cm²)**	**SERIE**	**EDAD DE ROTURA**	**CARGA (kg)**	**RESISTENCIA (kg/cm²)**
LCP2 - 01	7 DIAS	26579	77.82	LCP2 - 06	14 DIAS	31236	91.45	LCP2 - 11	28 DIAS	32323	94.63
LCP2 - 02	7 DIAS	24812	72.86	LCP2 - 07	14 DIAS	30360	89.15	LCP2 - 12	28 DIAS	34702	101.90
LCP2 - 03	7 DIAS	25029	73.15	LCP2 - 08	14 DIAS	30689	89.69	LCP2 - 13	28 DIAS	33478	97.84
LCP2 - 04	7 DIAS	25093	73.14	LCP2 - 09	14 DIAS	30349	88.46	LCP2 - 14	28 DIAS	34372	100.19
LCP2 - 05	7 DIAS	26213	77.81	LCP2 - 10	14 DIAS	30328	90.02	LCP2 - 15	28 DIAS	32879	97.60
PROMEDIO			74.96	PROMEDIO			89.76	PROMEDIO			98.43
DESVIACION ESTÁNDAR (S)			2.61	DESVIACION ESTÁNDAR (S)			1.12	DESVIACION ESTÁNDAR (S)			2.76
COEFICIENTE DE VARIACION (%)			**3.48**	COEFICIENTE DE VARIACION			**1.25**	COEFICIENTE DE VARIACION (%)			**2.81**

Nota: Elaboración propia.

FICHA DE LABORATORIO - UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIAS CIVIL Y DEL AMBIENTE

LUGAR DE DESARROLLO: Laboratorio de Suelos y Concreto de la UCSM

NORMATIVA APLICADA: NTP 399.604 (2015) UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Metodos de muestreo y ensayos de unidades de albañileria de concreto

TESIS: Evaluación de las propiedades físico – mecánicas y costo de ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y partículas de papel reciclado, Arequipa 2024

ELABORADO POR: Paredes Aroquipa Emerson

RESISTENCIA A COMPRESION EN LADRILLOS

UNIDAD DE ALBAÑILERIA DE CONCRETO											
LCP3 - 7.5%											
SERIE	**EDAD DE ROTURA**	**CARGA (kg)**	**RESISTENCIA (kg/cm²)**	**SERIE**	**EDAD DE ROTURA**	**CARGA (kg)**	**RESISTENCIA (kg/cm²)**	**SERIE**	**EDAD DE ROTURA**	**CARGA (kg)**	**RESISTENCIA (kg/cm²)**
LCP3 - 01	7 DIAS	21648	63.27	LCP3 - 06	14 DIAS	27502	80.38	LCP3 - 11	28 DIAS	30596	89.42
LCP3 - 02	7 DIAS	24583	71.77	LCP3 - 07	14 DIAS	26532	77.46	LCP3 - 12	28 DIAS	31050	90.66
LCP3 - 03	7 DIAS	24397	71.43	LCP3 - 08	14 DIAS	27462	80.40	LCP3 - 13	28 DIAS	28126	82.35
LCP3 - 04	7 DIAS	22535	66.30	LCP3 - 09	14 DIAS	28344	83.38	LCP3 - 14	28 DIAS	29498	86.78
LCP3 - 05	7 DIAS	24929	72.97	LCP3 - 10	14 DIAS	27860	81.55	LCP3 - 15	28 DIAS	29485	86.31
PROMEDIO			69.15	PROMEDIO			80.64	PROMEDIO			87.10
DESVIACION ESTÁNDAR (S)			4.17	DESVIACION ESTÁNDAR (S)			2.15	DESVIACION ESTÁNDAR (S)			3.21
COEFICIENTE DE VARIACION (%)			**6.03**	COEFICIENTE DE VARIACION			**2.67**	COEFICIENTE DE VARIACION (%)			**3.69**

Nota: Elaboración propia.

Anexo 20.

Ensayo de variación dimensional de pilas de ladrillos de concreto.

FICHA DE LABORATORIO - UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIAS CIVIL Y DEL AMBIENTE

LUGAR DE DESARROLLO: Laboratorio de Suelos y Concreto de la UCSM

NORMATIVA APLICADA: NTP 399.605 (2018) UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Metodo de ensayo para la determinación de la resistencia en compresión de prismas de albañileria

TESIS: Evaluación de las propiedades físico – mecánicas y costo de ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y partículas de papel reciclado, Arequipa 2024

ELABORADO POR: Paredes Aroquipa Emerson

VARIACION DIMENSIONAL DE PILAS (PRISMAS) - LADRILLOS

SERIE	LARGO (mm)					ALTO (mm)					ANCHO (mm)				
PILA - 0%	LADO 1	LADO 2	LADO 3	LADO 4	LARGO PROMEDIO	LADO 1	LADO 2	LADO 3	LADO 4	ALTO PROMEDIO	LADO 1	LADO 2	LADO 3	LADO 4	ANCHO PROMEDIO
PLC - 01	242.18	241.96	242.45	242.46	242.26	267.30	267.75	266.53	267.85	267.36	142.28	140.04	139.83	140.06	140.55
PLC - 02	242.60	241.81	242.23	242.08	242.18	266.38	265.38	266.55	266.07	266.10	141.79	142.20	140.47	140.53	141.25
PLC - 03	241.73	240.92	242.00	240.92	241.39	266.05	265.56	266.96	266.51	266.27	141.15	140.62	140.58	141.68	141.01
SERIE	LARGO (mm)					ALTO (mm)					ANCHO (mm)				
PILA CAUCHO - 2.5%	LADO 1	LADO 2	LADO 3	LADO 4	LARGO PROMEDIO	LADO 1	LADO 2	LADO 3	LADO 4	ALTO PROMEDIO	LADO 1	LADO 2	LADO 3	LADO 4	ANCHO PROMEDIO
PLCC1 - 01	241.98	241.88	242.27	242.38	242.13	267.86	267.24	267.32	266.74	267.29	141.81	140.71	139.90	141.16	140.90
PLCC1 - 02	241.33	241.40	242.52	242.46	241.93	263.73	263.71	263.71	263.74	263.72	141.73	139.28	141.23	140.66	140.73
PLCC1 - 03	242.51	242.40	242.69	241.96	242.39	264.15	264.42	264.93	264.54	264.51	140.41	141.20	140.34	140.94	140.72
SERIE	LARGO (mm)					ALTO (mm)					ANCHO (mm)				
PILA PAPEL. - 2.5%	LADO 1	LADO 2	LADO 3	LADO 4	LARGO PROMEDIO	LADO 1	LADO 2	LADO 3	LADO 4	ALTO PROMEDIO	LADO 1	LADO 2	LADO 3	LADO 4	ANCHO PROMEDIO
PLCP1 - 01	240.81	240.25	240.99	240.66	240.68	265.91	266.94	265.76	265.82	266.11	139.53	139.88	140.61	139.69	139.93
PLCP1 - 02	239.86	240.08	240.18	241.17	240.32	267.86	268.28	269.64	269.54	268.83	139.82	140.04	141.30	140.70	140.47
PLCP1 - 03	240.15	240.10	240.14	240.87	240.32	265.75	266.10	266.74	266.73	266.33	140.34	140.58	140.45	141.60	140.74

Medida Alto Estándar (E)	240.00	Medida Alto Estándar (E)	265.00	Medida Ancho Estándar (E)	140.00
Medida Alto Promedio (LP)	241.51	Medida Alto Promedio (LP)	266.28	Medida Ancho Promedio (LP)	140.70
Desviacion Estándar (s)	0.86	Desviacion Estándar (s)	1.52	Desviacion Estándar (s)	0.37
Variacion Dimensional (%)	-0.27	Variacion Dimensional (%)	0.09	Variacion Dimensional (%)	-0.23
Coeficiente de Variacion (%)	0.36	Coeficiente de Variacion (%)	0.57	Coeficiente de Variacion (%)	0.26

Nota: Elaboración propia.

Anexo 21.

Ensayo de resistencia a la compresión axial de pilas de ladrillos de concreto.

FICHA DE LABORATORIO - UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIAS CIVIL Y DEL AMBIENTE

LUGAR DE DESARROLLO: Laboratorio de Suelos y Concreto de la UCSM

NORMATIVA APLICADA: NTP 399.605 (2018) UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Metodos de ensayo para la determinacion de la resistencia en compresion de prismas de albañileria

TESIS: Evaluación de las propiedades físico – mecánicas y costo de ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y partículas de papel reciclado, Arequipa 2024

ELABORADO POR: Paredes Aroquipa Emerson

COMPRESION AXIAL DE PILAS (PRISMAS) - LADRILLOS

SERIE	Compresión Axial de Pilas						
PILA - 0%	**Edad de Rotura**	**Área (cm²)**	**Carga (kg)**	**Resistencia (kg/cm²)**	**Esbeltez**	**Factor de Correción**	**Resistencia Corregida (kg/cm²)**
PLC - 01	28 dias	340.51	32943	96.75	1.90	0.97	94.10
PLC - 02	28 dias	342.07	34615	101.19	1.88	0.97	97.90
PLC - 03	28 dias	340.38	37104	109.01	1.89	0.97	105.60
PILA CAUCHO - 2.5%	**Edad de Rotura**	**Área (cm²)**	**Carga (Kg)**	**Resistencia (Kg/cm²)**	**Esbeltez**	**Factor de Correción**	**Resistencia Corregida (kg/cm²)**
PLCC1 - 01	28 dias	341.15	27664	81.09	1.90	0.97	78.75
PLCC1 - 02	28 dias	340.45	30130	88.50	1.87	0.96	85.38
PLCC1 - 03	28 dias	341.10	25354	74.33	1.88	0.97	71.83
PILA PAPEL. - 2.5%	**Edad de Rotura**	**Área (cm²)**	**Carga (Kg)**	**Resistencia (Kg/cm²)**	**Esbeltez**	**Factor de Correción**	**Resistencia Corregida (kg/cm²)**
PLCP1 - 01	28 dias	336.78	37581	111.59	1.90	0.97	108.52
PLCP1 - 02	28 dias	337.57	39210	116.15	1.91	0.98	113.35
PLCP1 - 03	28 dias	338.22	37559	111.05	1.89	0.97	107.70

Serie	Resistencia Promedio (f'm)	Desv. Estándar (s)	Coeficiente de Variacion (%)	Resistencia f'm (Kg/cm²)
PLC - 0%	99.20	5.86	5.91	93.34
PLCC1 - 2.5%	78.65	6.78	8.62	71.88
PLCP1 - 2.5%	109.86	3.05	2.78	106.80

Nota: Elaboración propia.

Anexo 22.

Ensayo de variación dimensional de muretes de ladrillos de concreto.

FICHA DE LABORATORIO - UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIAS CIVIL Y DEL AMBIENTE

LUGAR DE DESARROLLO: Laboratorio de Suelos y Concreto de la UCSM

NORMATIVA APLICADA: NTP 399.604 (2015) UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Metodos de muestreo y ensayos de unidades de albañileria de concreto

TESIS: Evaluación de las propiedades físico – mecánicas y costo de ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y partículas de papel reciclado, Arequipa 2024

ELABORADO POR: Paredes Aroquipa Emerson

VARIACION DIMENSIONAL DE MURETES - LADRILLOS

SERIE	LARGO (mm)					ALTO (mm)					ANCHO (mm)				
MURETE - 0%	LADO 1	LADO 2	LADO 3	LADO 4	LARGO PROMEDIO	LADO 1	LADO 2	LADO 3	LADO 4	ALTO PROMEDIO	LADO 1	LADO 2	LADO 3	LADO 4	ANCHO PROMEDIO
MLC - 01	627.50	626.50	624.00	625.50	625.88	622.00	621.00	622.50	622.00	621.88	140.90	142.25	141.71	141.11	141.49
MLC - 02	625.50	627.00	622.50	624.50	624.88	621.50	622.00	622.50	622.00	622.00	142.47	140.53	140.81	142.58	141.60
MLC - 03	628.00	625.00	624.00	625.00	625.50	620.50	622.50	621.00	622.00	621.50	142.37	140.52	141.35	142.76	141.75
SERIE	LARGO (mm)					ALTO (mm)					ANCHO (mm)				
MURETE CAUCHO - 2.5%	LADO 1	LADO 2	LADO 3	LADO 4	LARGO PROMEDIO	LADO 1	LADO 2	LADO 3	LADO 4	ALTO PROMEDIO	LADO 1	LADO 2	LADO 3	LADO 4	ANCHO PROMEDIO
MLCC1 - 01	627.50	628.00	624.00	623.50	625.75	620.00	625.00	625.00	620.00	622.50	141.29	141.89	142.48	141.98	141.91
MLCC1 - 02	625.00	627.50	625.00	624.00	625.38	621.00	620.50	624.00	622.00	621.88	142.16	141.94	140.48	142.07	141.66
MLCC1 - 03	624.50	624.00	626.00	624.50	624.75	620.00	624.50	625.00	620.00	622.38	141.76	141.66	141.14	141.52	141.52
SERIE	LARGO (mm)					ALTO (mm)					ANCHO (mm)				
MURETE PAPEL - 2.5%	LADO 1	LADO 2	LADO 3	LADO 4	LARGO PROMEDIO	LADO 1	LADO 2	LADO 3	LADO 4	ALTO PROMEDIO	LADO 1	LADO 2	LADO 3	LADO 4	ANCHO PROMEDIO
MLCP1 - 01	622.00	625.00	626.00	627.00	625.00	621.50	620.00	620.50	620.00	620.50	142.14	140.46	141.10	141.90	141.40
MLCP1 - 02	630.00	625.00	623.50	622.00	625.13	622.50	620.00	620.00	620.00	620.63	141.28	141.92	141.54	142.00	141.69
MLCP1 - 03	627.00	625.00	624.00	624.00	625.00	621.50	620.00	620.50	622.00	621.00	140.87	141.61	141.80	141.42	141.43

Medida Alto Estándar (E)	615.00	Medida Alto Estándar (E)	615.00	Medida Ancho Estándar (E)	140.00
Medida Alto Promedio (LP)	625.25	Medida Alto Promedio (LP)	621.58	Medida Ancho Promedio (LP)	141.60
Desviacion Estándar (s)	0.40	Desviacion Estándar (s)	0.73	Desviacion Estándar (s)	0.17
Variacion Dimensional (%)	-1.60	Variacion Dimensional (%)	-0.95	Variacion Dimensional (%)	-1.03
Coeficiente de Variacion (%)	0.06	Coeficiente de Variacion (%)	0.12	Coeficiente de Variacion (%)	0.12

Nota: Elaboración propia.

Anexo 23.

Ensayo de resistencia a la compresión diagonal de muretes de ladrillos de concreto.

FICHA DE LABORATORIO - UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIAS CIVIL Y DEL AMBIENTE

LUGAR DE DESARROLLO: Laboratorio de Suelos y Concreto de la UCSM

NORMATIVA APLICADA: NTP 399.621 (2015) UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Metodos de ensayo de compresion diagonal en muretes de albañileria

TESIS: Evaluación de las propiedades físico – mecánicas y costo de ladrillos ecológicos de concreto con sustitución parcial del agregado fino por partículas de caucho reciclado y partículas de papel reciclado, Arequipa 2024

ELABORADO POR: Paredes Aroquipa Emerson

COMPRESION DIAGONAL DE MURETES - LADRILLOS

SERIE	Compresión Diagonal de Muretes					
PILA - 0%	**Edad de Rotura**	**Área**	**Carga (kg)**	**Resistencia (kg/cm²)**	**Resistencia**	
					Mpa	**kg/cm²**
MLC - 01	28 dias	88273.63	13563	ROTURA	1.07	10.86
MLC - 02	28 dias	88277.19	10055	ROTURA	0.79	8.05
MLC - 03	28 dias	88381.13	11346	ROTURA	0.89	9.08
PILA CAUCHO - 2.5%	**Edad de Rotura**	**Área**	**Carga (kg)**	**Resistencia (kg/cm²)**	**Resistencia**	
					Mpa	**kg/cm²**
MLCC1 - 01	28 dias	88569.58	13301	ROTURA	1.04	10.62
MLCC1 - 02	28 dias	88344.28	14443	ROTURA	1.13	11.56
MLCC1 - 03	28 dias	88246.57	8985	ROTURA	0.71	7.20
PILA PAPEL. - 2.5%	**Edad de Rotura**	**Área**	**Carga (kg)**	**Resistencia (kg/cm²)**	**Resistencia**	
					Mpa	**kg/cm²**
MLCP1 - 01	28 dias	88056.85	11999	ROTURA	0.94	9.63
MLCP1 - 02	28 dias	88252.04	14858	ROTURA	1.17	11.90
MLCP1 - 03	28 dias	88107.78	15100	ROTURA	1.19	12.12

Serie	Resistencia Promedio (f'm)	Desv. Estándar (s)	Coeficiente de Variacion (%)	Resistencia v'm (kg/cm²)
MLC - 0%	9.33	1.42	15.24	7.91
MLCC1 - 2.5%	9.79	2.29	23.43	7.50
MLCP1 - 2.5%	11.22	1.38	12.27	9.84

Nota: Elaboración propia.