



UNIVERSIDAD  
DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Impacto de la incorporación de residuos de bolsas de cemento en la resistencia y sostenibilidad de morteros**

Tesis para optar el Título de  
Ingeniero Civil

**Luis Felipe Ayala Tume**  
**César Luis Sánchez Sanjinez**

Asesor(es):  
Mgtr. Ing. Christian Mario Varhen García  
Ing. Diego Angel Mario Cánova Valladolid

Piura, septiembre de 2025



### Declaración Jurada de Originalidad del Trabajo Final

Yo, Luis Felipe Ayala Tume, egresado del Programa Académico de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Piura, identificado(a) con DNI: 73798319, declaro que:

Soy autor del trabajo final titulado:

“Impacto de la incorporación de residuos de bolsas de cemento en la resistencia y sostenibilidad de morteros”

El mismo que presento bajo la modalidad de Tesis para optar el Título profesional de Ingeniero Civil.

Que el trabajo se realizó en coautoría con los siguientes alumnos de la Universidad de Piura.

- César Luis Sánchez Sanjinez, identificado con DNI: 70679309

El texto de mi trabajo final es original y no vulnera los derechos de terceros o, de ser el caso, derechos de los coautores, incluidos los derechos de propiedad intelectual, datos personales, entre otros. En tal sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para lo cual, he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas. Asimismo, el texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico; y que la investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.

En caso de detectarse el incumplimiento de lo declarado asumo frente a terceros, la Universidad de Piura y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

La asesoría del trabajo estuvo a cargo de los siguientes docentes de la Universidad de Piura:

- Mgtr. Ing. Christian Mario Varhen García, identificado con DNI: 41328212
- Ing. Diego Angel Mario Cánova Valladolid, identificado con DNI: 70861941

Declaro (declaramos) que:

Luego de haber empleado el software de coincidencia Turnitin, revisado las fuentes de información señaladas por el autor, y en razón de mi (nuestra) experiencia como investigador(es), declaro (declaramos) que las ideas expuestas en el trabajo final alcanzan las condiciones de calidad, integridad y originalidad acorde a los objetivos institucionales y estándares en materia de investigación. Finalmente, no asumo (asumimos) responsabilidad por la posible vulneración de derechos de autor en el trabajo final referido, pues tal responsabilidad es exclusiva del autor.

Fecha: 03/09/2025.

Firma del asesor

Firma del autor

Firma del co-asesor



### Declaración Jurada de Originalidad del Trabajo Final

Yo, César Luis Sánchez Sanjinez, egresado del Programa Académico de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Piura, identificado(a) con DNI: 70679309, declaro que:

Soy autor del trabajo final titulado:

"Impacto de la incorporación de residuos de bolsas de cemento en la resistencia y sostenibilidad de morteros"

El mismo que presento bajo la modalidad de Tesis para optar el Título profesional de Ingeniero Civil.

Que el trabajo se realizó en coautoría con los siguientes alumnos de la Universidad de Piura.

- Luis Felipe Ayala Tume, identificado con DNI: 73798319

El texto de mi trabajo final es original y no vulnera los derechos de terceros o, de ser el caso, derechos de los coautores, incluidos los derechos de propiedad intelectual, datos personales, entre otros. En tal sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para lo cual, he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas. Asimismo, el texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico; y que la investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.

En caso de detectarse el incumplimiento de lo declarado asumo frente a terceros, la Universidad de Piura y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

La asesoría del trabajo estuvo a cargo de los siguientes docentes de la Universidad de Piura:

- Mgtr. Ing. Christian Mario Varhen García, identificado con DNI: 41328212
- Ing. Diego Angel Mario Cánova Valladolid, identificado con DNI : 70861941

Declaro (declaramos) que:

Luego de haber empleado el software de coincidencia Turnitin, revisado las fuentes de información señaladas por el autor, y en razón de mi (nuestra) experiencia como investigador(es), declaro (declaramos) que las ideas expuestas en el trabajo final alcanzan las condiciones de calidad, integridad y originalidad acorde a los objetivos institucionales y estándares en materia de investigación. Finalmente, no asumo (asumimos) responsabilidad por la posible vulneración de derechos de autor en el trabajo final referido, pues tal responsabilidad es exclusiva del autor.

Fecha: 03/09/2025.

Firma del asesor

Firma del autor

Firma del co-asesor

## Dedicatoria

### **César Luis Sánchez Sanjinez:**

“Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía atómica: la voluntad”

Albert Einstein

A mis padres, Mercedes y Julio, por todo el apoyo durante mi vida y por ser fuente de motivación para continuar en este largo camino de aprendizaje que ha sido mi etapa universitaria; el esfuerzo realizado es por y para ellos siempre. Los amo.

A mis hermanas, Luciana y Ariana, por su cariño, compañía y aliento constante, que me inspiran a ser mejor cada día.

Y a mis amigos, Bonet, Alonso y Roberto, por su compañía en mi etapa universitaria, siendo una amistad que prevalece hasta el día de hoy.

### **Luis Felipe Ayala Tume:**

“No se vive sin la fe. La fe es el conocimiento del significado de la vida humana. La fe es la fuerza de la vida. Si el hombre vive es porque cree en algo.”

León Tolstói

A mis padres Felipe y Emperatriz, y hermano Edgar; por ser el motor y motivo de mi vida, por su apoyo incondicional que ha sido trascendental durante mi vida universitaria y por su paciencia.

## Agradecimiento

A Dios por darnos sabiduría, fortaleza espiritual y fe en todo momento de nuestras vidas.

A nuestro asesor Mgtr. Ing. Christian Varhen García por brindarnos su tiempo y compartir sus conocimientos para encaminar el desarrollo de este trabajo, por su buena disposición y grata paciencia. Le deseamos que siga desarrollándose exitosamente y que continúe siendo guía de futuras generaciones.

A los técnicos de laboratorio Francisco Castro Cruz y Estiwar Campos Encalada, por apoyarnos durante todo el proceso experimental, por transmitir sus conocimientos, guiarnos en la realización de ensayos y siempre mostrar disponibilidad para ayudarnos, por sus consejos y propuestas siempre útiles.

A nuestras amistades, compañeros y demás personas que mostraron su apoyo durante nuestra etapa universitaria.

Finalmente, a la Universidad de Piura, en especial a los profesionales que nos brindaron enseñanzas de calidad y aportaron en nuestra formación profesional, mediante sus consejos y experiencias compartidas.

## Resumen

El presente estudio se centra en la evaluación del uso del residuo de bolsas de cemento como agregado en morteros, con el objetivo principal de analizar las características físicas y mecánicas de los morteros que incorporan dichos residuos en su matriz. Este estudio tiene como objetivo evaluar la viabilidad de utilizar residuos de bolsas de cemento como un material de construcción sostenible, lo que podría impulsar una reconsideración significativa de los procesos actuales de aprovechamiento de estos recursos en la industria.

La investigación surge en el contexto de la creciente necesidad de prácticas sostenibles en la industria de la construcción, especialmente en el manejo de residuos. La utilización de residuos de bolsas de cemento en morteros no solo propone una solución al problema de los desechos, sino que también plantea la posibilidad de crear materiales con nuevas propiedades y aplicaciones, promoviendo un enfoque más ecológico y responsable.

Para la metodología, se elaboraron tres grupos de mezclas que luego se compararon con la finalidad de identificar los beneficios y limitaciones de cada uno. Estos grupos fueron: mezclas patrón (sin adiciones de papel), mezclas con reemplazo en volumen de agregado fino por fibras de celulosa, y mezclas con reemplazo en volumen de agregado fino por papel picado.

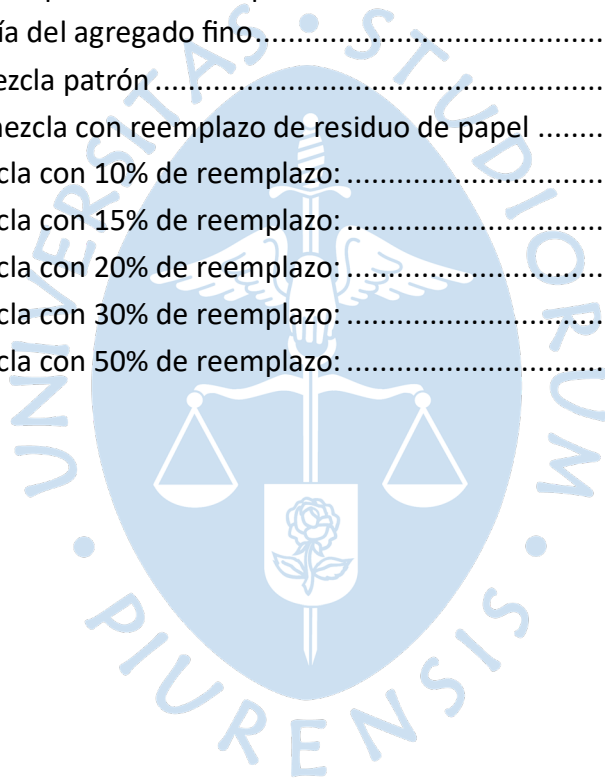
Se tomó en cuenta un parámetro constante para la comparación entre mezclas: la trabajabilidad o fluidez, evaluada según la NTP 334.057, donde todas las mezclas cumplen con un rango de fluidez de 100% a 120%. Posteriormente, se realizaron ensayos en estado endurecido para medir la resistencia a la compresión según la NTP 339.051, la resistencia a la flexión siguiendo la NTP 339.079, el peso unitario según la NTP 400.022 y la absorción se evaluó según la NTP 400.021.

Los resultados indicaron que la incorporación de fibra de celulosa resultó en una mayor cohesión interna y resistencia mecánica, alcanzando aproximadamente 185 kg/cm<sup>2</sup> en resistencia a la compresión a 28 días (equivalente al 88% de la mezcla patrón), en comparación con 117 kg/cm<sup>2</sup> (56% de la mezcla patrón) obtenidos al emplear papel picado. Asimismo, se registró un incremento de 117% y 83% en la absorción de agua de las mezclas con fibra celulosa y papel picado respectivamente, lo que, aunque podría favorecer propiedades como aislamiento térmico y acústico, repercute negativamente en la resistencia mecánica. Estos datos evidencian la necesidad de seleccionar cuidadosamente el nivel de reemplazo según los requerimientos específicos del proyecto, aprovechando las ventajas de ligereza y manejabilidad que ofrece el mortero elaborado con residuos de bolsas de papel de cemento.

## Tabla de contenido

Introducción .....	12
Capítulo 1 .....	14
Marco teórico .....	14
1.1 Sostenibilidad en la industria de la construcción .....	14
1.1.1 Sostenibilidad en la construcción .....	15
1.1.2 Alternativas para concreto sostenible .....	16
1.1.3 Uso de residuos y materiales alternativos .....	21
1.2 Uso de residuos de papel en morteros .....	23
1.3 Residuos de papel como agregado .....	24
1.3.1 Propiedades de los residuos de papel de bolsas de cemento .....	25
1.3.2 Influencia en las propiedades del mortero .....	25
Capítulo 2 .....	30
Programa experimental .....	30
2.1 Métodos de ensayos .....	32
2.1.1 Caracterización de materiales .....	32
2.1.2 Mortero en estado fresco .....	35
2.1.3 Mezclas en estado endurecido .....	39
2.2 Materiales .....	41
2.2.1 Cemento .....	41
2.2.2 Aditivo plastificante .....	41
2.2.3 Agregado fino .....	42
2.2.4 Residuos de bolsas de cemento .....	45
2.3 Mezclas evaluadas .....	49
2.3.1 Mortero patrón .....	50
2.3.2 Mortero con reemplazo de fibra celulosa .....	51
2.3.3 Mortero con reemplazo de papel picado .....	53
Capítulo 3 .....	56
Resultados y análisis .....	56
3.1 Propiedades de la mezcla en estado fresco .....	56
3.1.1 Trabajabilidad o fluidez .....	56
3.1.2 Cantidad de pasta requerida .....	59
3.2 Propiedades de la mezcla en estado endurecido .....	61
3.2.1 Peso unitario .....	61
3.2.2 Absorción .....	63
3.2.3 Resistencia a la compresión .....	66
3.2.4 Resistencia a la flexión (Módulo de rotura) .....	71
Conclusiones .....	76
Recomendaciones .....	77

Referencias .....	78
Anexos .....	83
Anexo 1. Resultados del concreto endurecido (compresión y tracción) .....	84
1. Resistencia a la compresión .....	84
a) Mezcla patrón .....	84
b) Mezcla con reemplazo en volumen de papel en forma de fibra de celulosa .....	85
c) Mezcla con reemplazo en volumen de papel picado .....	90
2. Resistencia a la tracción .....	92
a) Mezcla patrón .....	92
b) Mezcla con reemplazo en volumen de papel en forma de fibra de celulosa .....	93
c) Mezcla con reemplazo en volumen de papel picado .....	98
Anexo 2. Ficha técnica de plastificante empleado Sikacem .....	100
Anexo 3. Granulometría del agregado fino .....	102
Anexo 4. Diseño de mezcla patrón .....	103
Anexo 5. Diseños de mezcla con reemplazo de residuo de papel .....	104
a) Diseño de mezcla con 10% de reemplazo: .....	104
b) Diseño de mezcla con 15% de reemplazo: .....	105
c) Diseño de mezcla con 20% de reemplazo: .....	106
d) Diseño de mezcla con 30% de reemplazo: .....	107
e) Diseño de mezcla con 50% de reemplazo: .....	108



## Lista de tablas

<b>Tabla 1</b>	<i>Caracterización del agregado fino de la cantera de Chulucanas</i> .....	45
<b>Tabla 2</b>	<i>Caracterización del residuo de bolsas de papel</i> .....	49
<b>Tabla 3</b>	<i>Diseño de mezcla patrón</i> .....	51
<b>Tabla 4</b>	<i>Diseños de mezcla con fibra celulosa</i> .....	52
<b>Tabla 5</b>	<i>Diseños de mezcla con papel picado</i> .....	54
<b>Tabla 6</b>	<i>Diseños de mezcla</i> .....	55



## Lista de figuras

<b>Figura 1</b> Estadísticas de composición de comercialización de cemento año 2023.....	13
<b>Figura 2</b> Acumulación de desechos en un proyecto de construcción. ....	14
<b>Figura 3</b> Esquema del impacto de la industria de la construcción en el ambiente. ....	16
<b>Figura 4</b> Pilares fundamentales de la sostenibilidad .....	17
<b>Figura 5</b> Aplicación de concreto de alta resistencia en elementos prefabricados.....	19
<b>Figura 6</b> Estructura del concreto permeable .....	20
<b>Figura 7</b> Bloque de mortero ligero .....	21
<b>Figura 8</b> Papel picado de bolsas de cemento .....	24
<b>Figura 9</b> Mezcla no homogénea producto del aumento de cantidad de fibra de celulosa.....	26
<b>Figura 10</b> Unión entre la pasta de cemento y las partículas de celulosa .....	27
<b>Figura 11</b> Microestructura de la pasta de cemento con fibra de celulosa y material puzolánico .....	27
<b>Figura 12</b> Curvas típicas de tensión-deflexión en comparación con diferentes porcentajes de fibras .....	28
<b>Figura 13</b> Dispersión de fibras en la mezcla de cemento. a) Relación $a/c=0.56$ y b) Relación $a/c=0.64$ .....	29
<b>Figura 14</b> Diagrama de flujo del procedimiento experimental .....	31
<b>Figura 15</b> Agregado fino en condición SSS .....	33
<b>Figura 16</b> Muestras en horno para ensayo de contenido de humedad .....	34
<b>Figura 17</b> Tamices utilizados para ensayos de Granulometría.....	34
<b>Figura 18</b> Ensayo de peso unitario.....	35
<b>Figura 19</b> Elaboración de mezcla de mortero.....	37
<b>Figura 20</b> Determinación de fluidez de mezcla.....	38
<b>Figura 21</b> Elaboración de especímenes.....	39
<b>Figura 22</b> Ensayo de absorción .....	39
<b>Figura 23</b> Ensayo de compresión .....	40
<b>Figura 24</b> Ensayo de flexión.....	40
<b>Figura 25</b> Aditivo plastificante SikaCem.....	42
<b>Figura 26</b> Ubicación de cantera Chulucanas .....	43
<b>Figura 27</b> Agregado fino utilizado .....	43
<b>Figura 28</b> Curva granulométrica del agregado fino .....	44
<b>Figura 29</b> Selección de residuos.....	46
<b>Figura 30</b> Obtención de papel picado .....	46
<b>Figura 31</b> Obtención de fibra celulosa .....	47
<b>Figura 32</b> Muestra para ensayo de gravedad específica y capacidad de absorción del residuo de papel.....	47
<b>Figura 33</b> Resultados del ensayo de capacidad de absorción del residuo de papel.....	48
<b>Figura 34</b> Ensayo de peso específico del residuo de papel.....	49

<b>Figura 35</b>	<i>Elaboración de especímenes de mezclas con fibra celulosa</i>	53
<b>Figura 36</b>	<i>Fluidez de las mezclas elaboradas</i>	56
<b>Figura 37</b>	<i>Mezcla con reemplazo en volumen de papel con fibra celulosa</i>	57
<b>Figura 38</b>	<i>Ensayo de fluidez de mezclas con papel picado</i>	58
<b>Figura 39</b>	<i>Mezcla con reemplazo de 30% en volumen de papel picado con evidente segregación</i>	58
<b>Figura 40</b>	<i>Cantidad de pasta requerida por cada m<sup>3</sup> de mortero</i>	59
<b>Figura 41</b>	<i>Mezcla con menor cantidad de pasta que la requerida</i>	60
<b>Figura 42</b>	<i>Peso unitario de mortero con fibra de celulosa</i>	62
<b>Figura 43</b>	<i>Peso Unitario de mortero con papel picado</i>	63
<b>Figura 44</b>	<i>Absorción de los morteros elaborados</i>	64
<b>Figura 45</b>	<i>Textura rugosa y heterogénea en espécimen con papel reciclado</i>	65
<b>Figura 46</b>	<i>Resistencia a la compresión de mortero con fibra de celulosa</i>	66
<b>Figura 47</b>	<i>Resistencia a la compresión de mortero con papel picado</i>	67
<b>Figura 48</b>	<i>Relación entre Resistencia a la compresión y Absorción</i>	69
<b>Figura 49</b>	<i>Cubo de mezcla patrón luego de ser ensayado a compresión</i>	70
<b>Figura 50</b>	<i>Cubo de mezcla con reemplazo luego de ser ensayado a compresión</i>	70
<b>Figura 51</b>	<i>Módulo de rotura de mortero con fibra de celulosa</i>	71
<b>Figura 52</b>	<i>Módulo de rotura de mortero con papel picado</i>	72
<b>Figura 53</b>	<i>Relación entre resistencia a la compresión y módulo de rotura</i>	74
<b>Figura 54</b>	<i>Viga de mezcla patrón luego de ser ensayada a flexión</i>	74
<b>Figura 55</b>	<i>Viga de mezcla con reemplazo en fibra celulosa luego de ser ensayado a flexión</i>	75
<b>Figura 56</b>	<i>Viga de mezcla con reemplazo en papel picado luego de ser ensayado a flexión</i>	75

## Introducción

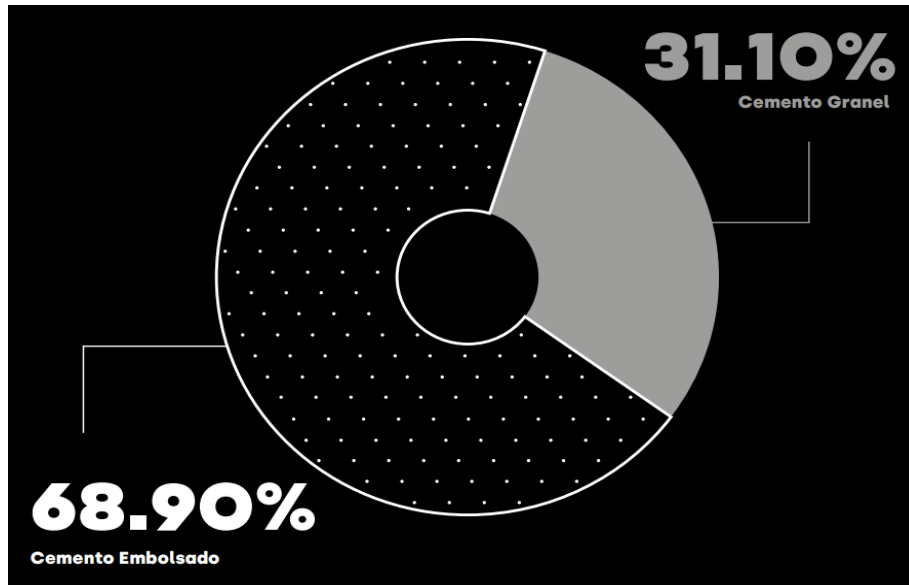
El creciente interés en encontrar soluciones sostenibles en la industria de la construcción ha llevado a explorar alternativas innovadoras para reducir el impacto ambiental asociado con la producción de materiales de construcción. Este interés se centra en abordar aspectos clave de la cadena de suministro de materiales, especialmente la producción tanto de cemento como de agregados, que, en conjunto, constituyen los componentes fundamentales para la elaboración de materiales como el concreto y el mortero. Este enfoque integral busca reevaluar y reformar los procesos industriales para lograr una construcción más sostenible y respetuosa con el medio ambiente.

Según indica un informe reciente, la industria de la construcción se destaca como una de las principales responsables de altas emisiones contaminantes, siendo una de las mayores fuentes de gases de efecto invernadero (Naciones Unidas, 2022). Este sector, esencial para el desarrollo humano y económico, ha recibido atención destacada debido a su considerable impacto ambiental, lo que subraya la urgente necesidad de abordar sus prácticas y procesos para mitigar su contribución al cambio climático. En este contexto, el presente estudio se enfoca en evaluar el uso de residuos de bolsas de cemento como agregado en mortero.

El foco de esta investigación se encuentra en la utilización de residuos provenientes de bolsas de cemento como reemplazo de la arena en las mezclas de mortero tradicionales. Esta iniciativa plantea una alternativa sostenible que busca mitigar la demanda de recursos naturales como la arena, cuya extracción frecuentemente carece de controles ambientales adecuados, como ha sido documentado en estudios sobre el análisis ambiental de canteras (Marín & Ríos, 2021). Esta práctica insostenible puede generar impactos ambientales significativos.

Al fomentar el uso de materiales reciclados en la industria de la construcción, se persigue principalmente abordar y reducir el impacto negativo en el medio ambiente asociado con la fabricación de materiales convencionales para la construcción. Este enfoque busca no solo ofrecer una alternativa ambientalmente consciente, sino también impulsar prácticas más responsables y sostenibles en la industria de la construcción.

Durante el año 2022, se alcanzó un importante volumen de despacho de cemento en el mercado peruano, registrándose un total de 11,985 toneladas métricas distribuidas. Este dato cobra especial relevancia al analizar la composición de comercialización del cemento, según lo reportado por la Asociación de Productores de Cemento (UNACEM, 2023). De acuerdo con sus estadísticas, las cuales se observan en la Figura 1, el 68.90% del cemento despachado corresponde a presentaciones embolsadas, mientras que el 31.10% se distribuye a granel.

**Figura 1***Estadísticas de composición de comercialización de cemento año 2023**Nota.* Adaptado de ASOCEM (2023).

Con base en esta proporción, se estima que en 2023 se despacharon aproximadamente 194,298 bolsas de cemento a nivel nacional, reflejando la alta demanda del segmento de autoconstrucción y pequeñas obras, características predominantes en el país. A partir de esta información, se abre una ventana de oportunidad para explorar y proponer alternativas innovadoras y sostenibles para gestionar los residuos generados por estas actividades. De esta manera, surge la posibilidad de considerar estrategias para el uso efectivo y responsable de los residuos de bolsas de cemento.

Las bolsas de cemento, debido a su composición y disponibilidad, representan un potencial recurso para ser reutilizadas en la elaboración de morteros, lo que podría contribuir significativamente a la reducción de la demanda de agregados naturales y a la minimización de residuos. Sin embargo, antes de su implementación a gran escala, es fundamental llevar a cabo una evaluación exhaustiva de sus propiedades y desempeño en comparación con los morteros convencionales.

Este estudio tiene como objetivo principal analizar las características físicas, mecánicas y ambientales de los morteros que incorporan residuo de bolsas de cemento como agregado, con el fin de proporcionar información sólida que respalde su viabilidad y eficacia en aplicaciones constructivas y/o comerciales. A través de esta investigación, se busca no solo comprender el potencial del residuo de las bolsas de cemento como material de construcción alternativo, sino también promover prácticas más sostenibles y responsables en la industria de la construcción. Asimismo, se pretende identificar posibles desafíos y oportunidades para la adopción de esta innovadora técnica en proyectos futuros, contribuyendo así a la transición hacia un sector de la construcción más eco-amigable y en armonía con el medio ambiente.

## Capítulo 1

### Marco teórico

#### 1.1 Sostenibilidad en la industria de la construcción

En los últimos años, hemos comenzado a observar los resultados de décadas de contaminación ambiental. Sin embargo, la contaminación no es el único factor que ha deteriorado nuestro planeta. La extracción descontrolada de materias primas para la producción de bienes que satisfacen nuestras necesidades también ha causado un daño significativo. Hoy en día, experimentamos cambios climáticos notables, como olas de calor más frecuentes e intensas, periodos de frío extremos en zonas habitualmente templadas y ciclones que alteran el clima local de áreas agrícolas. Un ejemplo de esto es el ciclón Yaku, que dañó 25 mil hectáreas de cultivo en el norte del país, provocando un aumento en los precios de vegetales y frutas debido a la escasez (Ramos, 2023).

La necesidad de abordar estos problemas ha llevado a diversas organizaciones y gobiernos internacionales a reconocer la urgencia de promover procesos sostenibles en la industria de la construcción. Esta industria es actualmente una de las mayores generadoras de residuos (Shen & Tam, 2002). No obstante, históricamente ha sido un pilar fundamental para el desarrollo de las comunidades (Pacheco et al., 2017). En respuesta a esta necesidad, la industria de la construcción ha comenzado a implementar tecnologías y medidas que disminuyen la emisión de gases contaminantes, cumpliendo con los requisitos establecidos por las regulaciones ambientales en diversos países (Shen & Tam, 2002); Hospodarova, et al., 2018). Sin embargo, durante la fase de construcción, sigue siendo evidente la acumulación de desechos sólidos, tales como fragmentos de vidrio, madera, escombros y bolsas de cemento, así como se puede observar en la Figura 2.

**Figura 2**

*Acumulación de desechos en un proyecto de construcción.*



### **1.1.1 Sostenibilidad en la construcción**

La sostenibilidad en la industria de la construcción ha emergido como un tema de creciente importancia en el contexto actual, donde la preocupación por el medio ambiente y la necesidad de conservar los recursos naturales se ha vuelto prioritaria. Este concepto de sostenibilidad se refiere a la capacidad de satisfacer las necesidades presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades. Esto implica no solo la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, sino también la minimización de residuos sólidos y la utilización eficiente de los recursos.

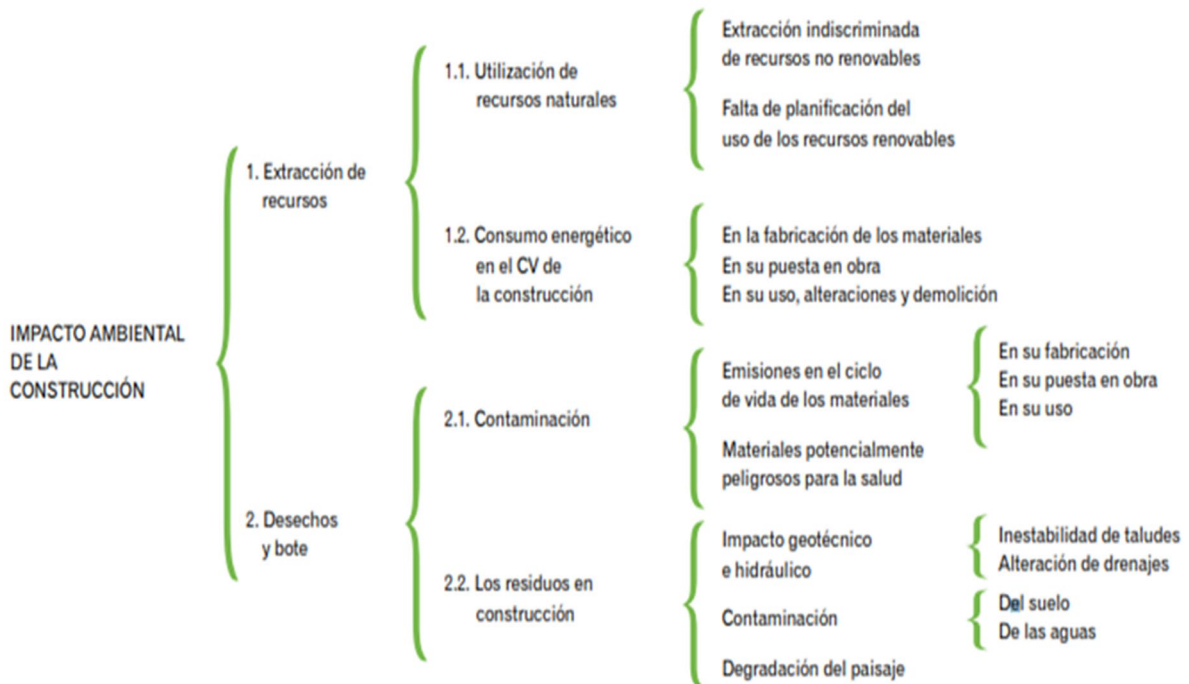
En el ámbito de la construcción, la sostenibilidad se aborda desde múltiples perspectivas. Los impactos de la industria de la construcción pueden agruparse en dos grandes categorías, como se muestra en la Figura 3. La primera categoría abarca los impactos producidos por la extracción de recursos del medio ambiente. Esto incluye el uso de recursos naturales y el consumo energético. La industria de la construcción demanda una cantidad significativa de materiales como minerales, agua y energía, lo cual contribuye a la degradación de los ecosistemas y a la disminución de los recursos disponibles.

En segundo lugar, se refiere a los desechos y el vertido de desperdicios generados en el sector de la construcción y su impacto en el medio ambiente. En esta categoría se incluyen la contaminación y la generación de residuos. La construcción genera una gran cantidad de escombros, materiales sobrantes y desechos peligrosos, que a menudo terminan en vertederos o, peor aún, contaminando suelos y cuerpos de agua.

Cada una de las categorías tiene un impacto en el medio ambiente natural, como en el medio ambiente modificado. Por ello, para garantizar construcciones sostenibles, es importante el respeto por la normativa legal y técnica existente, más aún el respeto por el medio ambiente. Esto implica el uso de materiales eco amigables y soluciones innovadoras que mitiguen el impacto ambiental.

**Figura 3**

*Esquema del impacto de la industria de la construcción en el ambiente.*



*Nota.* Adaptado de Acosta (2009).

La mitigación del impacto ambiental se convierte en una prioridad. Esto incluye la protección de los ecosistemas durante el proceso de construcción y la reducción de la contaminación del aire y el agua. Para lograr estos objetivos, es necesario adoptar prácticas de diseño, construcción y gestión que sean socialmente responsables, económicamente viables y ambientalmente sostenibles a lo largo de todo el ciclo de vida de los proyectos.

### **1.1.2 Alternativas para concreto sostenible**

La sostenibilidad involucra tres aspectos fundamentales, los cuales son: economía, sociedad y medio ambiente (Ver Figura 4). En este contexto, el cambio climático es un factor importante por considerar en la actualidad en cualquier actividad que realicen los seres humanos (Silva, 2023). Las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y monóxido de carbono (CO) están transformando el clima en un factor ambiental activo, por lo cual la sostenibilidad desempeña un papel crucial en las industrias.

**Figura 4***Pilares fundamentales de la sostenibilidad**Nota.* Adaptado de Girosalut (2024).

Ante la creciente necesidad de hacer sostenible la industria de la construcción, se han desarrollado métodos para producir concreto sostenible, también conocido como concreto ecológico o concreto verde. Este enfoque innovador busca reducir el impacto ambiental asociado con la producción de concreto tradicional, que es una fuente considerable de CO<sub>2</sub>. La fabricación del cemento, el componente principal del concreto es responsable de aproximadamente el 8% de las emisiones globales de CO<sub>2</sub> (Rodgers, 2018).

La producción de concreto consume una gran cantidad de agregados, tanto gruesos como finos. El agregado constituye alrededor del 60-80% del volumen total de la mezcla de concreto, por lo que afecta el rendimiento, las propiedades y el costo del concreto (Hamada, et al., 2024). Por ello, es importante el uso de concreto reciclado como agregados extraídos de demoliciones. La mejora de la calidad final del concreto reciclado depende de la zona de transición entre los agregados y el mortero residual de la pasta de concreto anterior (Mardani et al., 2024). Estos agregados reciclados ayudan a satisfacer la creciente demanda de la industria de la construcción y preservar la materia prima para generaciones futuras.

#### **1.1.2.1 Tipos de concreto sostenible.**

**1.1.2.1.1 Concreto de alta resistencia.** Se produce al reemplazar parcialmente el cemento Portland con materiales cementantes suplementarios (MCS's), los cuales son subproductos industriales (Gómez, 2011). Entre los MCS's más comunes se incluyen la escoria de alto horno, el humo de sílice y el metacaolín, todos derivados de industrias termoeléctricas

y siderúrgicas. Esta variante de concreto se considera una opción ecológica y eficiente en la construcción por diversas razones que están alineadas con los principios de la sostenibilidad.

- a) **Uso optimizado de materiales:** El concreto de alta resistencia permite la construcción de elementos estructurales más delgados y ligeros, como vigas y columnas, lo que reduce la cantidad de material necesario sin comprometer la integridad estructural. Esto disminuye la demanda de materias primas, lo que disminuye así su extracción y procesamiento (Mehta & Monteiro, 2014).
- b) **Mayor vida útil:** Gracias a su mayor densidad y estructura compacta, este tipo de concreto resiste mejor los efectos de factores externos como la penetración de agentes agresivos (cloruros y sulfatos). Esta robustez reduce la frecuencia de reparaciones y mantenimiento a lo largo del tiempo, lo que disminuye el consumo de recursos y la generación de residuos (Neville, 2011).
- c) **Optimización de recursos:** El concreto de alta resistencia permite una dosificación más precisa de agua y cemento, lo que mejora la eficiencia en el uso de estos componentes. Asimismo, el empleo de materiales suplementarios como las cenizas volantes o escorias reduce la necesidad de clínker, cuyo proceso de fabricación es altamente intensivo en energía y produce grandes cantidades de CO<sub>2</sub> (Malhotra, 2002).
- d) **Reducción de la huella de carbono:** Aunque este concreto puede requerir una mayor proporción de cemento en su mezcla, su capacidad para reducir el volumen necesario en la construcción de la estructura, sumada a su longevidad, contribuye a una reducción significativa de la huella de carbono global del proyecto. Esto es crucial en obras de larga duración (Kosmatka et al., 2002).
- e) **Compatibilidad con prácticas sostenibles:** El concreto de alta resistencia se adapta bien a métodos de construcción eficientes y ecológicos, como la prefabricación (ver Figura 5), la construcción modular y los diseños optimizados para edificios altos. Estas prácticas ayudan a minimizar el desperdicio de materiales en el sitio y a mejorar la sostenibilidad general del proyecto (ACI, 2010).

**Figura 5**

*Aplicación de concreto de alta resistencia en elementos prefabricados*



*Nota.* Adaptado de PSI Concreto (2021).

**1.1.2.1.2 Concreto permeable.** También conocido como concreto poroso, se define como un tipo de concreto con un alto grado de porosidad y una elevada relación de vacíos (Pérez, 2009). Este concreto está compuesto por cemento Portland, agregado grueso, poca o ninguna cantidad de agregado fino, agua y aditivos. La combinación de estos materiales genera un concreto con poros conectados, cuyo tamaño varía entre 2 y 8 mm (Pérez, 2009), lo que permite el paso del agua a través de ellos (ver Figura 6).

El contenido de vacíos en el concreto permeable oscila entre el 15% y el 35%, y puede alcanzar una resistencia a la compresión de entre 28 y 280 kg/cm<sup>2</sup>. Para producir concretos de baja permeabilidad, es crucial mantener una baja relación agua/cemento y un periodo de curado adecuado. El control de la permeabilidad en la mezcla permite mejorar la resistencia del concreto al ataque de sulfatos y otros productos químicos. Su uso está alineado con los principios de sostenibilidad por las siguientes razones:

- a) **Gestión sostenible del agua:** El concreto permeable permite que el agua de lluvia se infiltre directamente en el suelo, recargando los acuíferos y reduciendo la escorrentía superficial. Esto disminuye la carga sobre los sistemas de drenaje urbano y previene inundaciones, especialmente en áreas urbanas con superficies impermeables (Sirishantha & Rathnayake, 2017).
- b) **Reducción del efecto isla de calor:** Al permitir la evaporación del agua almacenada en sus poros, el concreto permeable ayuda a regular la temperatura superficial en áreas urbanas, mitigando el efecto isla de calor. Esto

reduce la necesidad de sistemas de enfriamiento artificial, lo que disminuye el consumo de energía (EPA, 2021).

- c) **Filtración de contaminantes:** El concreto permeable actúa como un filtro natural, reteniendo sedimentos y contaminantes presentes en el agua de lluvia antes de que lleguen a los cuerpos de agua. Esto contribuye a la mejora de la calidad del agua y reduce la necesidad de costosos sistemas de tratamiento (Tennis et al., 2004).

**Figura 6**

*Estructura del concreto permeable*



*Nota.* Adaptado de Pérez (2009).

**1.1.2.1.3 Concreto ligero.** El concreto ligero es un material sostenible compuesto por agregados ligeros, mortero y agua. En comparación con los concretos convencionales, este material tiene un peso reducido y, por lo general, presenta baja resistencia. Es por ello por lo que es ampliamente utilizado en estructuras donde no se requiere un concreto de alta resistencia. A continuación, se detallan sus beneficios sostenibles:

- a) **Reducción de la carga estructural:** La baja densidad del concreto ligero reduce las cargas muertas en la estructura, lo que permite un diseño más económico al disminuir la cantidad de materiales necesarios y la necesidad de reforzamiento (Mehta & Monteiro, 2014).
- b) **Eficiencia energética:** Gracias a sus propiedades térmicas, el concreto ligero actúa como un aislante natural, reduciendo la necesidad de sistemas de calefacción y refrigeración en edificios. Esto se traduce en un menor consumo

de energía y una reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero (Kosmatka et al., 2002).

- c) **Uso de materiales reciclados:** Muchos agregados ligeros utilizados en este tipo de concreto, como las cenizas volantes, la escoria, el vidrio, el plástico (PET) y el papel, son materiales que pueden ser reciclados para su uso en el concreto ligero. Su uso no solo reduce la dependencia de recursos naturales, sino que también contribuye a la gestión de residuos (Malhotra, 2002). En la Figura 7, se observa un bloque de mortero ligero el cual ha sido elaborado utilizando papel de bolsa de cemento.
- d) **Propiedades de durabilidad:** A pesar de su baja densidad, el concreto ligero ofrece una excelente resistencia al fuego y a la corrosión, lo que prolonga la vida útil de las estructuras y reduce la necesidad de reparaciones o reemplazos frecuentes (Neville, 2011).

**Figura 7**

*Bloque de mortero ligero*



### **1.1.3 Uso de residuos y materiales alternativos**

Una de las formas más efectivas de promover la sostenibilidad en la industria de la construcción es mediante el uso de residuos y materiales alternativos. A continuación, se presentan algunos ejemplos de materiales reciclados y sus aplicaciones, sin pretender ser exhaustivos, pero destacando su potencial para reducir el impacto ambiental y mejorar la eficiencia en los procesos constructivos.

El uso de estos materiales alternativos no solo contribuye a la conservación de los recursos naturales y la reducción de residuos, sino que también ofrece beneficios económicos al disminuir los costos de producción y transporte. Además, suelen tener un menor impacto ambiental en términos de emisiones de carbono y consumo de energía.

**1.1.3.1 Vidrio reciclado en concreto.** La incorporación de vidrio reciclado en el concreto permite reemplazar parcialmente los agregados tradicionales. Según Segura et al. (2022), esta mezcla puede utilizarse en la fabricación de adoquines con proporciones de 15, 25 y 35% de vidrio. Rojas (2017) afirma que la adherencia del vidrio molido a la mezcla no afecta la consistencia del concreto en estado fresco, mientras que Vargas (2016) demuestra que su uso como agregado fino en morteros es factible.

**1.1.3.2 Plástico reciclado (PET).** El uso de plástico reciclado es común debido a su resistencia, higiene y ligereza. Aunque Afroughsabet et al. (2018) indica que, si bien un contenido creciente de PET en forma de fibra superior al 10% en volumen como material de reemplazo puede reducir la resistencia del concreto, su uso aporta ventajas significativas. Por ejemplo, su uso reduce la densidad del concreto, lo que puede ser beneficioso en aplicaciones donde se busca aligerar estructuras. Además, la conductividad térmica de los bloques disminuye conforme aumenta el porcentaje de plásticos añadidos, lo que mejora el aislamiento térmico de las construcciones (Pérez & Zamora, 2020).

**1.1.3.3 Ladrillo triturado.** El ladrillo triturado puede ser un sustituto de bajo costo para el agregado grueso natural. Mimbela et al. (2021) indican que es adecuado para concretos de baja y media resistencia, mejorando la durabilidad y el rendimiento a través de la zona de transición interfacial.

**1.1.3.4 Agregados reciclados de concreto (RCA).** El uso de agregados reciclados de concreto (RCA) en la elaboración de concreto proporciona varios beneficios ambientales. Muñoz et al. (2022), encontraron que, al reemplazar los agregados naturales con RCA, la resistencia disminuye proporcionalmente, pero la cantidad óptima de reemplazo es del 50%, lo que permite mantener un equilibrio entre sostenibilidad y desempeño estructural. Además, existen normas europeas que guían el uso de agregados reciclados en la fabricación de concreto, lo que facilita su implementación (Singh & Singh, 2020).

**1.1.3.5 Neumáticos triturados.** El empleo de neumáticos triturados como reemplazo del agregado fino altera el desempeño del concreto de manera variada. Según Muñoz et al. (2021), uno de los efectos positivos es la alta resistencia obtenida con proporciones de 0 a 12.5%, aunque un exceso puede ser perjudicial. Najmi et al. (2020) reportan que el uso de caucho mejora la resistencia a la flexión y la durabilidad del concreto frente al ataque de ácidos y la difusión de iones cloruro. Además, el caucho contribuye a la reducción de residuos industriales y ofrece propiedades de absorción acústica y térmica.

**1.1.3.6 Papel reciclado en concretos.** El papel puede utilizarse como adición respecto al peso del cemento, mejorando la trabajabilidad del concreto cuando se incorpora con un aditivo superplastificante (Hospodarova et al., 2018). Sin embargo, Barriga & Bernardo (2016), trabajaron con el reemplazo de cemento por papel en peso, encontrando una reducción del 61% en la resistencia a compresión debido a la presencia de celulosa. Aunque la resistencia a flexión no se afecta significativamente, el uso excesivo de papel sí tiene un impacto negativo, siendo aplicado como adición de papel por peso en proporción a la mezcla total (Solahuddin & Yahaya, 2021). Por otro lado, la densidad húmeda y seca del concreto disminuye, presentando una reducción máxima del 20% (Abed et al., 2021), lo que puede ser beneficioso en aplicaciones donde se busca reducir la carga en estructuras.

En resumen, el uso de materiales alternativos en la construcción, como vidrio reciclado, plástico PET, ladrillo triturado, agregados reciclados de concreto, neumáticos triturados y papel, ofrece beneficios ambientales y económicos significativos. Aunque algunos materiales presentan limitaciones técnicas, como la reducción de resistencia en el caso del PET y el papel, también aportan ventajas como la reducción de peso, la mejora del aislamiento térmico y la absorción acústica.

## **1.2 Uso de residuos de papel en morteros**

El uso de residuos de papel en morteros convencionales representa una innovadora alternativa en la industria de la construcción, que busca no solo mejorar las propiedades del mortero, sino también promover prácticas más sostenibles y amigables con el medio ambiente. Este enfoque se basa en la incorporación de papel reciclado o fibras de papel en la mezcla de mortero, con el objetivo de mejorar su resistencia, durabilidad y otras características relevantes.

El papel reciclado utilizado en los morteros convencionales puede provenir de una variedad de fuentes, como desechos de oficina, periódicos viejos, cartón reciclado, entre otros. Estos materiales se trituran y procesan para obtener fibras de papel que se incorporan en la mezcla de mortero durante su preparación, tal como se observa en la Figura 8.

**Figura 8**

*Papel picado de bolsas de cemento*



La inclusión de residuos de papel en los morteros convencionales puede ofrecer una serie de beneficios significativos. En primer lugar, el papel actúa como un refuerzo estructural, mejorando la resistencia a la tracción y flexión del mortero. Además, el papel puede ayudar a controlar la contracción y la fisuración del mortero durante el fraguado y el curado, lo que contribuye a una mayor durabilidad y estabilidad del sistema (Fernando et al., 2023).

Además de sus propiedades mecánicas mejoradas, el uso de residuos de papel en morteros convencionales también tiene ventajas desde el punto de vista ambiental. Al incorporar papel reciclado en lugar de otros materiales más convencionales, se reduce la cantidad de residuos enviados a vertederos y se promueve la economía circular (Shen & Tam, 2002).

En resumen, el uso de residuos de papel en morteros convencionales representa una innovación prometedora en la industria de la construcción, que combina beneficios técnicos y ambientales.

### **1.3 Residuos de papel como agregado**

Ahmad et al. (2021), usaron residuos de papel como reemplazo parcial en peso de la arena fina en varias proporciones de mezcla de concreto e investigaron el resultado de varias pruebas, como resistencia a compresión, prueba de agua y densidad. Al aumentar la cantidad de residuos de papel, disminuye la resistencia a compresión, y se registró una alta absorción de agua. Con un máximo del 5% de residuos de papel podría utilizarse con éxito como material de construcción.

Ritzawaty et al. (2008), evaluó la adición de papel respecto al peso del cemento, realizando 4 pruebas en concreto con una proporción de mezcla 1:2:3 (cemento, arena y agregado) los resultados de estas pruebas indicaron una disminución considerable en la resistencia mecánica del bloque de concreto al aumentar la cantidad de residuos de papel, y

al mismo tiempo, se encontró un aumento de la relación agua-cemento. En otra investigación Delcasse et al. (2017), emplearon una mezcla de prueba 1:1.25:2 concluyendo que en esta muestra tiene una excelente resistencia al fuego.

### **1.3.1 Propiedades de los residuos de papel de bolsas de cemento**

Las bolsas de cemento recicladas muestran propiedades físicas y mecánicas adecuadas para ser utilizadas como agregado en la construcción. Sin embargo, es fundamental realizar pruebas y análisis exhaustivos para evaluar su composición, resistencia, durabilidad, y asegurar su compatibilidad con otros materiales de construcción, así como su seguridad en aplicaciones estructurales.

Entre las propiedades más destacadas de las bolsas de cemento, se encuentra su capacidad para mejorar la resistencia a la flexión en comparación con el concreto convencional. Esto se debe a que las fibras presentes en las bolsas de cemento, cuando se mezclan de manera homogénea con la pasta de cemento, crean una matriz unida que refuerza el concreto.

### **1.3.2 Influencia en las propiedades del mortero**

La incorporación de residuos de bolsas de cemento en las mezclas de mortero puede afectar diversas propiedades del mortero, como su resistencia, trabajabilidad, adherencia y durabilidad. Por lo tanto, es fundamental estudiar y comprender el comportamiento de estas mezclas para optimizar su desempeño y garantizar su adecuación para diferentes aplicaciones en la construcción.

Como se puede observar en la Figura 9, la cantidad de fibras de celulosa de reemplazo con respecto al peso influyen en la reducción de la trabajabilidad del mortero. La demanda de agua aumenta en el contenido de fibra del papel usado (Fernando et al., 2023). El papel absorbe gran cantidad de agua y en consecuencia la consistencia de la mezcla se reduce considerablemente, disminuyendo la trabajabilidad. Las propiedades finales de los compuestos de celulosa dependen del componente de la matriz y el proceso de fabricación (Fernando et al., 2023). El rendimiento mecánico de los compuestos depende de las fibras, los componentes de la matriz y el proceso de fabricación. Al aumentar la cantidad de fibra de celulosa es dificultoso para mantener una mezcla homogénea, reduciendo las propiedades de la resistencia.

**Figura 9**

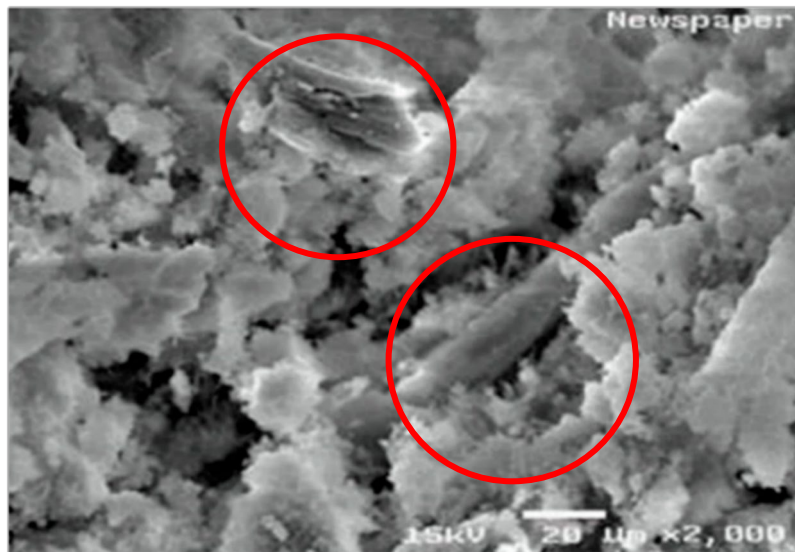
*Mezcla no homogénea producto del aumento de cantidad de fibra de celulosa.*



Durante las etapas iniciales de la hidratación del mortero, la saturación del agua en los poros del gel aumenta con el crecimiento del silicato de calcio hidratado (CSH). Este proceso afecta los poros capilares cercanos a las fibras de celulosa, los cuales se reducen debido a la naturaleza hidrofílica de estas fibras, provocando un mayor consumo de agua en la matriz. Como resultado, se observa una disminución de la porosidad en comparación con compuestos que contienen fibras hidrófobas. Sin embargo, la inclusión de fibras de celulosa podría aumentar la porosidad en comparación con muestras sin fibras de celulosa, ya que un mayor contenido de fibra genera numerosos huecos en la muestra. Esto conduce a una menor resistencia a la compresión y densidad aparente en comparación con el concreto convencional (Fernando et al., 2023). En la Figura 10 se puede ver la zona de transición interfacial entre la pasta de cemento y las fibras, donde se evidencia una mala unión entre ambos materiales, lo que incrementa la porosidad de la matriz.

**Figura 10**

*Unión entre la pasta de cemento y las partículas de celulosa*



*Nota.* Adaptado de Sangrutsamee et al. (2012).

Según la investigación de Vaicekauskienė & Nagrockienė (2024), la porosidad podría mejorarse mediante el uso de las fibras de celulosa con materiales puzolánicos, que aumentarían el silicato de calcio hidratado (CSH) y tendrían un efecto positivo en la microestructura de la pasta, así como se ilustra en la Figura 11. Se puede ver la microestructura de la matriz de concreto con fibra de celulosa tienen una excelente unión. Se adhieren diferentes productos CSH a fibras de la celulosa, en la pasta de cemento.

**Figura 11**

*Microestructura de la pasta de cemento con fibra de celulosa y material puzolánico*



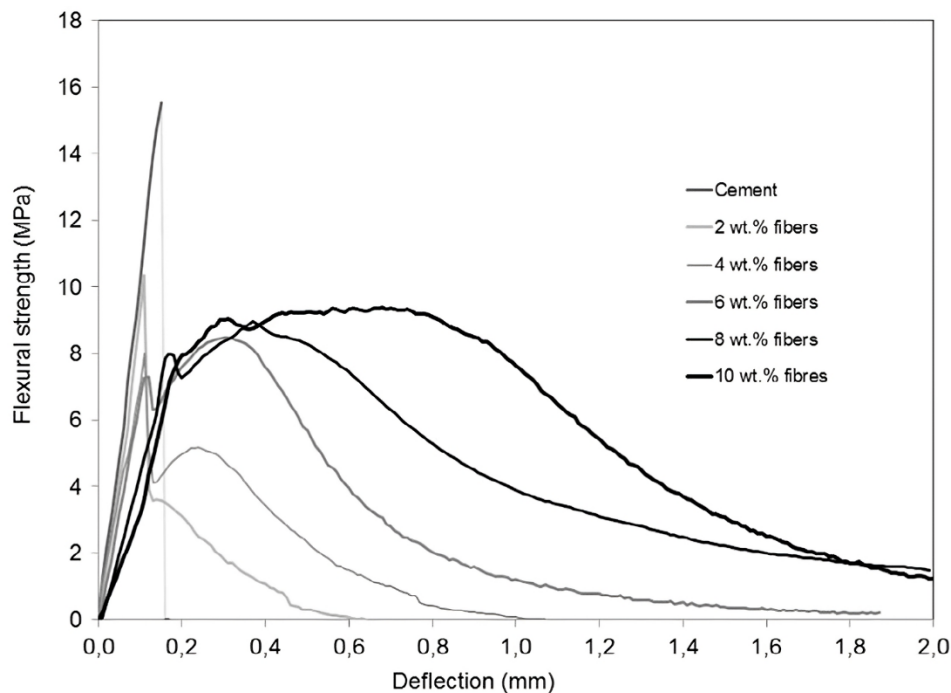
*Nota.* Adaptado de Vaicekauskienė & Nagrockienė (2024).

En el caso de la resistencia a flexión aumenta cuando se incrementa el contenido de fibra de celulosa entre el 0 y el 4%. Sin embargo, al superar este porcentaje, la resistencia a flexión comienza a disminuir (Fernando et al., 2023). Este comportamiento se ilustra en las curvas típicas de tensión-deflexión mostradas en la Figura 12, donde se observa que la resistencia máxima de la matriz disminuye gradualmente a medida que el contenido de fibras aumenta hasta el 4% en peso (Ardanuy et al., 2015).

Además, la relación longitud-grosor de las fibras de papel desempeña un papel crucial en la tenacidad del material. Para contenidos altos de fibra (entre el 8% y el 10%), el efecto de refuerzo de las fibras desaparece, lo que reduce su capacidad para mejorar las propiedades mecánicas (Ardanuy et al., 2015).

**Figura 12**

*Curvas típicas de tensión-deflexión en comparación con diferentes porcentajes de fibras*



*Nota.* Adaptado de Ardanuy et al. (2015).

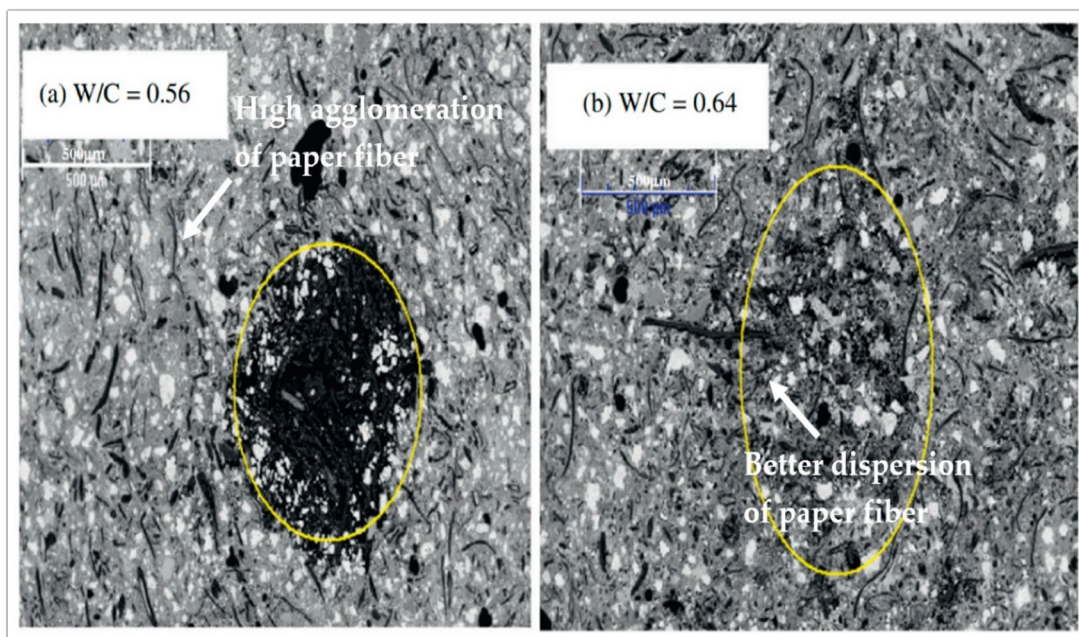
Por otro lado, Bentchikou et al. (2012) destacan que, durante el proceso de fractura del mortero con fibras, estas pueden actuar como puentes entre las grietas, lo que mejora la resistencia a la propagación y apertura de las fisuras. Este efecto de “puenteo” contribuye a aumentar la tenacidad del material, aunque su eficacia depende del contenido óptimo de fibras y de su distribución en la matriz.

La incorporación de fibras de celulosa en el cemento incrementa la cantidad de agua necesaria, ya que estas fibras absorben parte del agua durante el proceso de mezclado. En la Figura 13 se observa un ejemplo en el que se reemplaza con respecto al peso un 10% de

cemento con fibras de celulosa empleando una relación agua/cemento ( $a/c$ ) de 0.56, donde se evidencia una aglomeración de fibras debido a una dispersión inadecuada en la matriz. Al aumentar la relación agua/cemento a 0.64, la dispersión de las fibras mejora notablemente, lo que sugiere que una mayor proporción de agua favorece la dispersión, también incrementa la porosidad y la formación de vacío en la matriz, lo que comienza a afectar negativamente la resistencia del concreto cuando se supera la relación óptima de agua/cemento (Fernando et al., 2023).

**Figura 13**

*Dispersión de fibras en la mezcla de cemento. a) Relación  $a/c=0.56$  y b) Relación  $a/c=0.64$*



*Nota.* Adaptado de Fernando et al. (2023).

Se puede concluir que, para controlar la porosidad es posible utilizar materiales puzolánicos, los cuales tendrían un efecto positivo en la microestructura de la pasta de cemento endurecida. Así mismo, la fibra de celulosa obtenida del papel tiene un efecto positivo en la microestructura de la pasta de cemento, ya que se adhiere mejor (Vaicėauskienė & Nagrockienė, 2024).

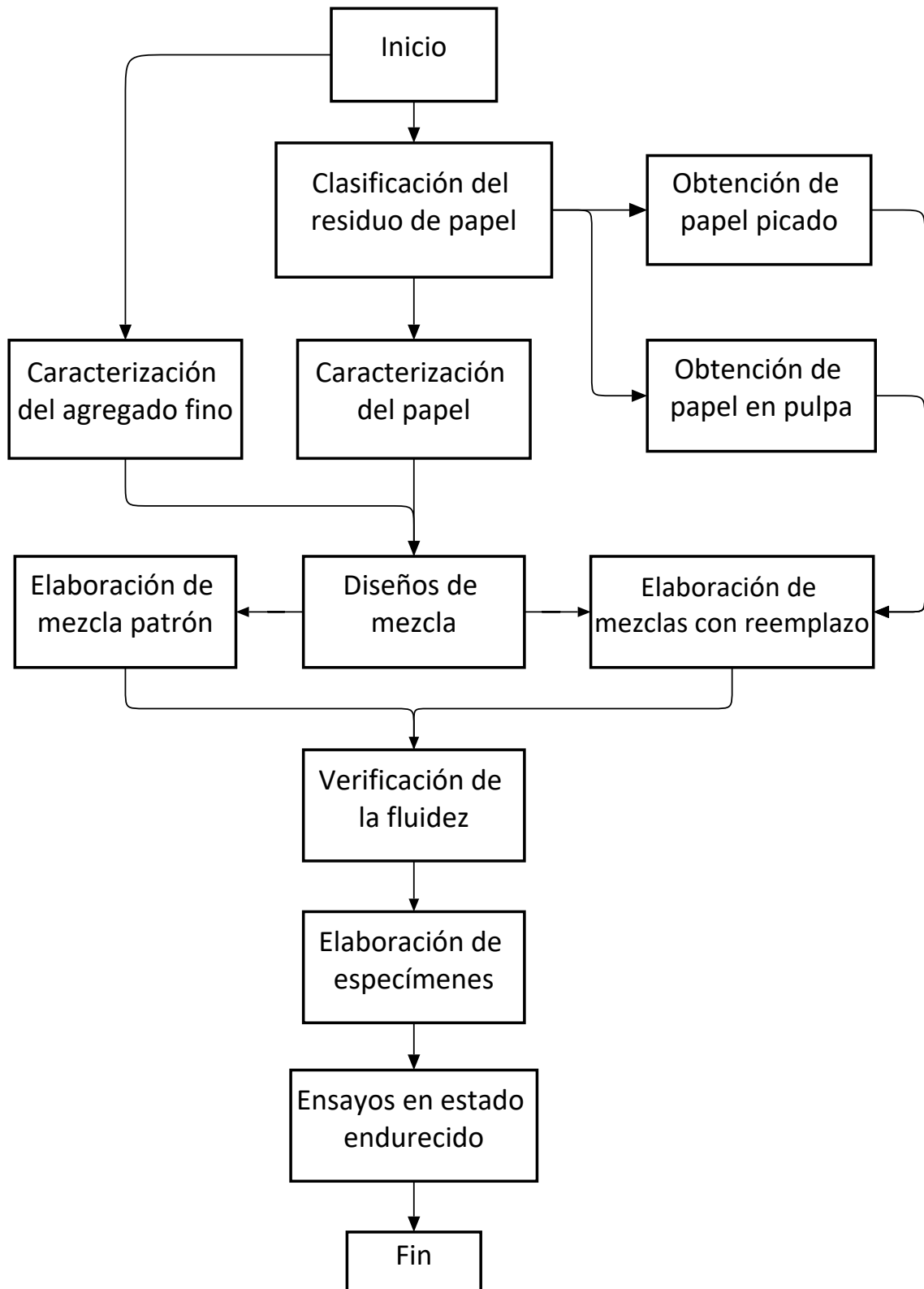
## Capítulo 2

### Programa experimental

Este capítulo detalla la metodología empleada para la caracterización y los ensayos de la materia prima analizada, además de las actividades realizadas dentro del programa experimental diseñado para evaluar el efecto del uso de residuos de bolsas de papel en morteros, tanto en estado fresco como endurecido. Los ensayos físicos se llevaron a cabo en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de Construcción (LEMC), bajo condiciones controladas, mientras que todas las actividades experimentales del estudio se desarrollaron en las instalaciones de la Universidad de Piura (UDEP).

En este estudio se emplearon residuos de papel de bolsas de cemento como reemplazo parcial del agregado fino en morteros. Para ello, se prepararon mezclas con diferentes porcentajes de sustitución en volumen (0%, 10%, 15%, 20%, 30% y 50%), la sustitución se realizó de dos formas: de papel picado y fibra celulosa. El programa experimental inició con la clasificación y caracterización de los residuos de papel, así como del agregado fino. Con los resultados, se procedió a calcular los diseños de mezcla, utilizando una relación agua/cemento de 0.75, incorporando una mezcla de control (0% de reemplazo) y mezclas experimentales con las proporciones indicadas de residuo de papel. Durante el proceso de elaboración de mezclas se empleó un aditivo plastificante con el fin de alcanzar la trabajabilidad requerida. Con las mezclas en estado fresco, se evaluó su fluidez previa a la elaboración de los especímenes, adoptando como rango de referencia entre 100% a 120%. Posteriormente, dichos especímenes fueron sometidos a ensayos en estado endurecido con el propósito de analizar su comportamiento y propiedades mecánicas, la cantidad de especímenes a elaborar fue determinada según lo indicado en cada procedimiento normado utilizado y las edades de ensayo fueron a 7 y 28 días.

En la Figura 14, se muestra el diagrama de flujo del proceso experimental. Se puede observar la secuencia del procedimiento que se llevó a cabo para ejecutar las actividades en el laboratorio.

**Figura 14***Diagrama de flujo del procedimiento experimental*

En primer lugar, se dividieron las bolsas de papel reciclado en dos grupos distintos. Este proceso inicial abarcó la selección y eliminación preliminar para garantizar que el papel

reciclado utilizado en la investigación cumpla con características favorables y adecuadas para su procesamiento, como apariencia, forma y tamaño; además que sea representativo para el estudio. Esta fase es esencial para asegurar la fiabilidad y la relevancia de los resultados obtenidos. La clasificación del papel reciclado fue realizada siguiendo criterios específicos. Aquellas bolsas de cemento que se encontraron en mejores condiciones, es decir, completas o dobladas, fueron destinadas al proceso de picado, el cual se llevó a cabo manualmente. Esto se debió a que este tipo de papel facilitaba su acomodo en pliegos para posteriormente ser cortado en pequeños rectángulos. Por otro lado, las bolsas de cemento que presentaban deformidades o daños como arrugas pronunciadas se reservaron para luego ser procesadas y empleadas en forma de fibras de celulosa.

Una vez completada la selección y el proceso de preparación del papel, se prosiguió con la caracterización, tanto para el residuo de papel como para el agregado fino, con el objetivo de determinar las propiedades necesarias para realizar un diseño de mezcla adecuado para la investigación. Para el papel, este proceso de caracterización implicó que sea tratado como un agregado, considerando el tipo de reemplazo que se llevaría a cabo durante el desarrollo experimental.

Los resultados obtenidos de estas pruebas proporcionaron información potencial sobre las propiedades del papel y su comportamiento en el contexto de su implementación en mezclas de mortero, con los datos obtenidos se procedió al cálculo y determinación de los diseños de mezcla para una relación  $a/c = 0.75$ .

A partir del diseño de mezcla establecido, se elaboró un mortero patrón convencional (0% de reemplazo), cuya dosificación fue definida para obtener propiedades que sirvieran como referencia en la comparación con las demás mezclas. Posteriormente, se evaluaron dos modalidades de preparación del papel reciclado: papel picado y fibra de celulosa. En ambos casos, se consideraron porcentajes de reemplazo del 10%, 15%, 20%, 30% y 50% del volumen de agregado fino, con el objetivo de obtener mezclas homogéneas, trabajables y libres de problemas como segregación o sangrado durante la elaboración y colocación. Finalmente, las muestras fueron sometidas a ensayos en estado fresco y endurecido, a fin de analizar y comparar sus propiedades mecánicas y físicas.

## **2.1 Métodos de ensayos**

Se siguieron las metodologías establecidas en las Normas Técnicas Peruanas para llevar a cabo la caracterización de la arena y el papel, la preparación de las mezclas, la fabricación de los especímenes y los ensayos en estado fresco y endurecido de los morteros evaluados.

### **2.1.1 Caracterización de materiales**

**2.1.1.1 Peso específico y absorción.** Para la determinación del peso específico y la capacidad de absorción del agregado y del papel reciclado, se aplicaron las Normas Técnicas Peruanas NTP 400.021:2020 y NTP 400.022:2024, respectivamente (ver Figura 15). En el caso

del residuo de papel, este fue acondicionado con forma de agregado grueso, lo que facilitó su manipulación y tratamiento durante el ensayo.

El procedimiento inició con la selección aleatoria de piezas de bolsas de papel previamente acondicionadas para su posterior picado o triturado, garantizando así la representatividad de la muestra. A continuación, el material fue sometido a un remojo de 24 horas para favorecer su ablandamiento. Posteriormente, se realizó el triturado mediante una licuadora eléctrica, obteniéndose el residuo de papel en forma de fibra de celulosa, listo para su caracterización según los parámetros establecidos en las normas mencionadas. A partir de esta, se fabricaron partículas esféricas de entre 5 y 10 mm de diámetro en una cantidad suficiente para cumplir con el tamaño mínimo de muestra exigido por la normativa aplicable.

**Figura 15**

*Agregado fino en condición SSS*



**2.1.1.2 Contenido de humedad.** Para determinar el contenido de humedad del agregado fino y del residuo de papel, se aplicó el procedimiento descrito en la Norma Técnica Peruana NTP 339.185:2021 (ver Figura 16). Este parámetro es fundamental para determinar si los agregados tienen poros conectados a su superficie y si contienen agua en estos, lo cual podría dar forma a una película de humedad.

Conocer el contenido de humedad es importante porque cuando los agregados absorben agua de la mezcla, la relación agua-cemento efectiva disminuye, lo que puede afectar negativamente la fluidez de la mezcla. Por el contrario, si el agua de la superficie es cedida a la mezcla, la relación agua-cemento aumentará, lo que puede resultar en una pérdida de resistencia y durabilidad. Es crucial controlar este parámetro para asegurar la calidad y el rendimiento de las mezclas.

**Figura 16**

*Muestras en horno para ensayo de contenido de humedad*



**2.1.1.3 Granulometría.** Este ensayo de caracterización proporciona información sobre la distribución del tamaño de las partículas en un material, lo que influye significativamente en las propiedades y el comportamiento de las mezclas mortero. Para ello, se empleó la Norma Técnica Peruana NTP 400.012:2021 (ver Figura 17), de esta forma, se usaron tamices desde 3/8" hasta el #200, con una muestra inicial de 497.1g de material. Además de esta medición, se calculó el módulo de finura, lo que proporciona una visión más completa de la composición y las características del agregado fino. La distribución adecuada del tamaño de partícula garantiza la compacidad, la resistencia y la durabilidad.

**Figura 17**

*Tamices utilizados para ensayos de Granulometría*



**2.1.1.4 Peso unitario.** El peso unitario, esencial para comprender el espacio ocupado por el agregado en el concreto, abarca tanto las partículas sólidas como los espacios vacíos entre ellas. Este parámetro incide directamente en la cuantificación de los espacios vacíos presentes en el material, aspecto fundamental para diferenciar entre el peso unitario en condición suelta y el peso unitario compactado por varillado. La acción de compactación mediante varillado disminuye dichos vacíos, incrementando así la densidad aparente del material.

Se empleó la Norma Técnica Peruana NTP 400.017:2020 (ver Figura 18). Para iniciar el ensayo, los agregados deben estar en estado seco al horno, ya que la cantidad de humedad puede afectar este peso. La forma y la granulometría del agregado también son factores determinantes que afectan el peso unitario del agregado. De esta forma, partículas angulares tienen un peso unitario menor que las redondeadas, mientras que una granulometría uniforme resulta en un peso unitario mayor que aquella pobremente graduadas.

**Figura 18**

*Ensayo de peso unitario*



### **2.1.2 Mortero en estado fresco**

**2.1.2.1 Elaboración de mezclas.** Para la elaboración de las mezclas de mortero, se siguió la Norma Técnica Peruana NTP 334.003:2023 (ver Figura 19) donde se establecen los requisitos para la preparación de morteros de cemento, el modo de operación y se identifican las condiciones del entorno. Para esto fue necesario tener establecidos los parámetros de consistencia y composición del mortero, como la proporción de cemento, agregado y agua.

Además, se adaptó al procedimiento la inclusión del aditivo plastificante en las mezclas con reemplazo de agregado para mejorar la trabajabilidad de los morteros y mantener el valor de todas las mezclas dentro de los parámetros requeridos.

Se empleó la mezcladora mecánica estandarizada del Laboratorio de Ensayos de Materiales de Construcción de la Universidad de Piura, la cual funciona mediante un accionamiento eléctrico y garantiza un mezclado uniforme a través de movimientos elípticos. Este mecanismo permite que la paleta mezcladora recorra eficientemente el interior del recipiente, asegurando una distribución homogénea de los materiales y la obtención de una mezcla uniforme.

Se empleó el 60% del peso del agua de diseño para remojar el papel durante 24 horas. Adicionalmente, el 5% del agua de mezcla se utilizó para disolver el aditivo, a fin de activar sus propiedades y asegurar una distribución homogénea dentro de la mezcla.

Dado que era necesario incluir el aditivo plastificante en las mezclas en evaluación, y tras determinar los pesos conforme a las cantidades establecidas en el diseño de mezclas, el procedimiento de elaboración de los morteros se desarrolló de la siguiente manera:

- Verter en la mezcladora el 35% restante del agua total de la mezcla, es decir, el agua que no se utilizó previamente para remojar el papel ni para disolver el aditivo.
- Incorporar la totalidad del cemento al agua e iniciar el mezclado a velocidad lenta durante 30 segundos.
- Agregar gradualmente la arena en un período de 25 segundos, manteniendo el mezclado a velocidad lenta.
- En el caso de las mezclas con reemplazo, el papel previamente remojado durante 24 horas en su forma adaptada se incorpora junto con la arena al momento del vertido.
- Incorporar el aditivo (previamente diluido con el 5% del agua de mezcla) en un período de 5 segundos, sin interrumpir el mezclado a velocidad lenta.
- Detener la mezcladora, ajustar a velocidad media y continuar el mezclado por 30 segundos.
- Detener la mezcladora y dejar reposar el mortero durante 90 segundos. Durante los primeros 15 segundos de este intervalo, desprender el mortero adherido a las paredes del recipiente con ayuda de una espátula. Cubrir el recipiente durante el tiempo restante.
- Finalmente, mezclar a velocidad media durante 60 segundos.

**Figura 19**

*Elaboración de mezcla de mortero*



**2.1.2.2 Determinación de la fluidez.** El ensayo de fluidez se realizó según la Norma Técnica Peruana NTP 334.057:2019 (ver Figura 20) para determinar la capacidad de fluir y mezclarse, durante el estado fresco, de las mezclas. La importancia de este ensayo radica en que el mortero debe tener una consistencia adecuada para poder ser mezclado y aplicado según sea su aplicación. Si el mortero es demasiado fluido, puede no tener la suficiente resistencia y cohesión necesaria para unir los materiales, y si es demasiado rígido, puede ser difícil de mezclar y aplicar. Por lo tanto, el ensayo de fluidez es crucial para garantizar la calidad y la aplicabilidad del mortero en la construcción.

Durante este procedimiento se verificó que la fluidez de todas las mezclas se sitúe en el rango establecido entre el 100% y el 120%, lo que se considera como un nivel adecuado de trabajabilidad. Para lograrlo, se empleó el aditivo plastificante SikaCem® Plastificante solamente en las mezclas que contengan residuo de papel.

**Figura 20***Determinación de fluidez de mezcla*

**2.1.2.3 Elaboración de especímenes.** La elaboración de especímenes cúbicos y prismáticos fue llevada a cabo según las Normas Técnica Peruana NTP 334.051:2022 y NTP 334.120:2023 (Ver Figura 21), las cuales definen un procedimiento estandarizado para asegurar la representatividad y calidad de las muestras. En primer lugar, se seleccionaron los materiales previamente determinados y se preparó la mezcla de mortero siguiendo las proporciones calculadas de agregado, cemento, agua y aditivo. Posteriormente, la mezcla se colocó en moldes cúbicos y prismáticos previamente acondicionados, efectuando la consolidación correspondiente para garantizar una distribución homogénea del material y evitar la formación de vacíos.

Posteriormente, los especímenes fueron sometidos al proceso de curado, el cual consistió en conservarlos en condiciones controladas de humedad y temperatura durante los periodos establecidos, con el fin de asegurar el desarrollo óptimo de las reacciones de hidratación del cemento y, en consecuencia, alcanzar la resistencia mecánica prevista en el diseño.

**Figura 21***Elaboración de especímenes*

### 2.1.3 Mezclas en estado endurecido

**2.1.3.1 Absorción del mortero.** Esta propiedad representa una medida indirecta de los poros permeables que pueden ser llenados por un líquido, en este caso, el agua. También se define como el aumento de la masa de un cuerpo sólido poroso resultante de la penetración de un líquido en sus poros permeables según la Norma Técnica Peruana NTP 339.047:2022.

Para determinar la absorción de las muestras preparadas, se aplicó un procedimiento basado en lo establecido por la Norma Técnica Peruana NTP 400.021:2020, con la particularidad de omitir las etapas correspondientes a la obtención de datos para el cálculo del peso específico. Parte del procedimiento desarrollado se muestra en la Figura 22.

**Figura 22***Ensayo de absorción*

**2.1.3.2 Resistencia a la compresión.** Para realizar en ensayo de resistencia a compresión, se emplea la Norma Técnica Peruana NTP 339.051.

Se elaboraron un total de 48 especímenes cúbicos de 50mm de arista, los cuales fueron sumergidos en un recipiente, con condiciones similares a las de una poza de curado, por periodos de 7 y 28 días para luego ser ensayadas en la prensa hidráulica hasta la rotura, tal como se aprecia en la Figura 23.

**Figura 23**  
*Ensayo de compresión*



**2.1.3.3 Resistencia a la flexión.** Para realizar en ensayo de resistencia a flexión, se emplea la Norma Técnica Peruana NTP 339.079.

A la par de los especímenes cúbicos, se elaboraron 48 vigas de dimensiones 40x40x160mm, los cuales también fueron sumergidas en el recipiente por periodos de 7 y 28 días para luego ser ensayadas en la prensa hidráulica para determinar su resistencia a la flexión estando simplemente apoyadas y siendo la carga aplicada en el centro del tramo, como se muestra en la Figura 24.

**Figura 24**  
*Ensayo de flexión*



## **2.2 Materiales**

### **2.2.1 Cemento**

Se utilizó cemento Portland tipo MS de la marca Pacasmayo para la elaboración de las mezclas, el cual posee características específicas que lo hacen idóneo para ciertas condiciones. Entre estas características se destaca su resistencia a la agresión química, lo cual lo hace más adecuado para su uso en suelos húmedos. Asimismo, su moderado calor de hidratación lo convierte en una opción óptima para climas cálidos. La composición principal de este cemento incluye el silicato trióxido de calcio y el silicato dióxido de calcio. La norma peruana NTP 334.082 y la norma internacional ASTM C 1157 regulan su uso, tanto en la elaboración del concreto base como en la elaboración de morteros.

Es importante destacar que utilizar un cemento que cumpla con esta norma técnica es esencial para asegurar la calidad y el desempeño adecuado del mortero elaborado. El seguimiento de estas regulaciones garantiza la consistencia y confiabilidad en el proceso, así como la durabilidad y resistencia del producto final.

### **2.2.2 Aditivo plastificante**

Para las mezclas con reemplazo de papel se requirió la aplicación de SikaCem® Plastificante, el cual es un aditivo líquido diseñado para mejorar la fluidez y las propiedades mecánicas de morteros y concretos fluidos. En la Figura 25 se muestra la presentación del producto. En las mezclas en estado fresco, SikaCem® Plastificante mejora significativamente la trabajabilidad, facilitando su colocación y compactación. Esta mejora en la manipulación de las mezclas se traduce en un aumento de las resistencias mecánicas una vez que el material ha endurecido. Asimismo, promueve una mayor cohesión interna, lo que ayuda a prevenir la segregación de los áridos y reduce la exudación. Por estas ventajas se consideró su incorporación en las mezclas evaluadas en el presente estudio. En el Anexo 02 se encuentra la Ficha Técnico del producto utilizado.

La dosificación aplicada se calculó según la ficha técnica del producto, variando según el uso previsto: como plastificante, se indica una cantidad de 250mL por bolsa de cemento de 42.5 Kg (0.8% del peso de cemento), mientras que como superplastificante, se puede incorporar hasta 500mL por bolsa de cemento de igual peso (1.6% del peso de cemento). Esta versatilidad en la dosificación permitió adaptar el producto a las necesidades específicas de esta investigación, asegurando resultados óptimos en términos de resistencia, durabilidad y manejabilidad de los morteros elaborados.

**Figura 25***Aditivo plastificante SikaCem*

*Nota.* Adaptado de Sika Perú (2025).

### **2.2.3 Agregado fino**

En este estudio se utilizó arena extraída de la cantera ubicada en Chulucanas, una localidad situada en la provincia homónima del departamento de Piura. Esta arena, de origen aluvial, se forma a partir de una capa de cuarcitas recristalizadas de entre 3 y 4 metros de espesor, caracterizadas por su tonalidad gris oscuro a negro y la presencia abundante de cuarzo lechoso que rellena las fracturas de dicha formación (Masías, 2018). Según la clasificación del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), el agregado fino utilizado se cataloga como arena mal graduada (SP), careciendo de finos, lo que lo convierte en un material óptimo para la producción de concreto y mortero.

La extracción de esta arena de la cantera de Chulucanas ofrece un recurso geológico valioso para la industria de la construcción en la región de Piura. Su composición geológica, especialmente la ausencia de finos, la convierte en una opción ideal para la fabricación de mezclas pétreas de alta calidad y resistencia. Además, su origen aluvial sugiere una deposición natural que puede conferir propiedades físicas deseables al material final, como una buena trabajabilidad y resistencia a la compresión. Estas características hacen que la arena de Chulucanas sea un recurso valioso y confiable para diversas aplicaciones en proyectos de construcción residencial, comercial e industrial en la región. La ubicación de la cantera en mención se puede ver en la Figura 26.

**Figura 26***Ubicación de cantera Chulucanas*

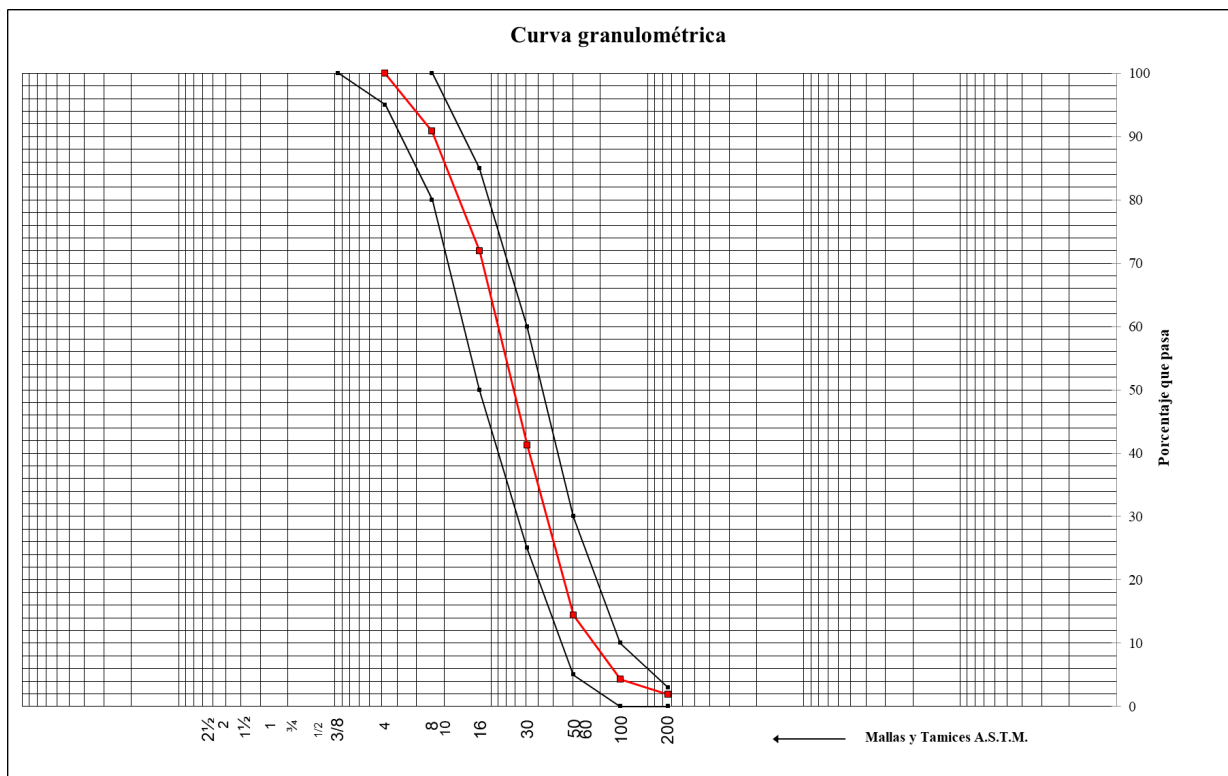
La calidad y la disponibilidad de la arena proveniente de la cantera de Chulucanas son aspectos fundamentales para tener en cuenta para asegurar la eficacia y la durabilidad. El conocimiento detallado de sus propiedades geológicas y su conformidad con las especificaciones de los estándares de calidad, como el SUCS, garantizan que este material cumpla con los requisitos necesarios para su uso en la industria de la construcción. Asimismo, la Figura 27 proporciona una representación visual de la arena empleada.

**Figura 27***Agregado fino utilizado*

A continuación, en la Figura 28 se presenta la curva granulométrica del mismo agregado. Este análisis proporciona información detallada sobre la distribución de tamaños de partículas en el agregado. Como se observa, se cumple con el uso granulométrico para agregado fino estipulado en la Norma Técnica Peruana NTP 400.037. Este material tiene granulometría adecuada, además tiene un valor de 2% de finos menores que el tamiz de 74  $\mu\text{m}$  (No. 200) siendo inferior al 3% máximo permitido. Su módulo de fineza es de 2.8, por lo que se puede decir que se trata de una arena gruesa.

**Figura 28**

*Curva granulométrica del agregado fino*



Los resultados obtenidos en los ensayos de caracterización del agregado fino procedente de la cantera Chulucanas se presentan en la Tabla 1.

**Tabla 1***Caracterización del agregado fino de la cantera de Chulucanas*

<b>Cantera</b>	<b>Chulucanas</b>
Tamaño máximo (mm)	4.76
Módulo de fineza	2.8
PU suelto stock (kg/m <sup>3</sup> )	1560
PU varillado stock (kg/m <sup>3</sup> )	1660
PU suelto (seco) (kg/m <sup>3</sup> )	1552
Gravedad específica (SSS)	2.58
Capacidad de absorción (%)	1.9
Contenido de humedad (%)	0.54

#### **2.2.4 Residuos de bolsas de cemento**

Es relevante considerar que el residuo de bolsas de cemento empleado presentaba como único contaminante restos de cemento. Esta característica se debe a que dicho material no fue extraído de residuos generados en obras de construcción, sino que fue recolectado directamente desde la planta de producción de cemento, en estado no utilizado y sin exposición a agentes externos. El proceso de selección y recolección fue realizado bajo condiciones particulares que impidieron su comercialización, debido a factores identificados durante la producción. Esta operación fue ejecutada por la empresa 3R Contrata Perú, especializada en el reciclaje de residuos de construcción, quien proporcionó el residuo de bolsas de cemento para la investigación. En este sentido, podemos afirmar que el papel reciclado utilizado se encontró libre de agentes contaminantes a excepción del cemento, así mismo se destaca que la presencia de cemento en el residuo fue mínima y en proporciones similares en cada bolsa utilizada, lo que permitió mantener una condición homogénea para su análisis e incorporación en el diseño experimental.

Como primer paso, se realizó una clasificación del residuo para garantizar un adecuado muestreo y preparación del residuo en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de Construcción (LEMC) de la Universidad de Piura (UDEP). Como se puede observar en la Figura 29, este proceso consistió en seleccionar las bolsas en estado óptimo para ser cortadas en pliegos, separándolas de aquellas que presentaban deformidades o daños que dificultaran su manipulación y corte controlado. Las bolsas en buen estado se emplearán en forma de papel

picado, mientras que las que presenten deformidades se destinarán directamente a la producción de residuo de papel en forma de fibra celulosa, obteniendo así fibra de celulosa.

### **Figura 29**

*Selección de residuos*



Con las bolsas seleccionada se realizó el corte empleando una guillotina manual, para obtener medidas de 4x10mm se marcó los pliegos y se estandarizó el proceso aprovechando las marcas de graduación de la herramienta utilizada como se puede apreciar en la Figura 30.

### **Figura 30**

*Obtención de papel picado*



En lo que respecta la obtención de la fibra de celulosa, se utilizó el residuo de papel restante del corte además de los que se había seleccionado en el procedimiento inicial. Este residuo se desgarró en partes más pequeñas, seguidamente fue puesto en remojo durante 24 horas y luego fue licuado hasta obtener la fibra celulosa. En la Figura 31 se puede ver el procedimiento descrito anteriormente.

**Figura 31**

*Obtención de fibra celulosa*



La determinación de la gravedad específica y capacidad de absorción se realizó mediante una adaptación de los procedimientos especificados en las normas técnicas peruanas. Se inició el ensayo elaborando granos esféricos de fibra de celulosa de diámetro promedio igual a 1cm como se observa en la Figura 32.

**Figura 32**

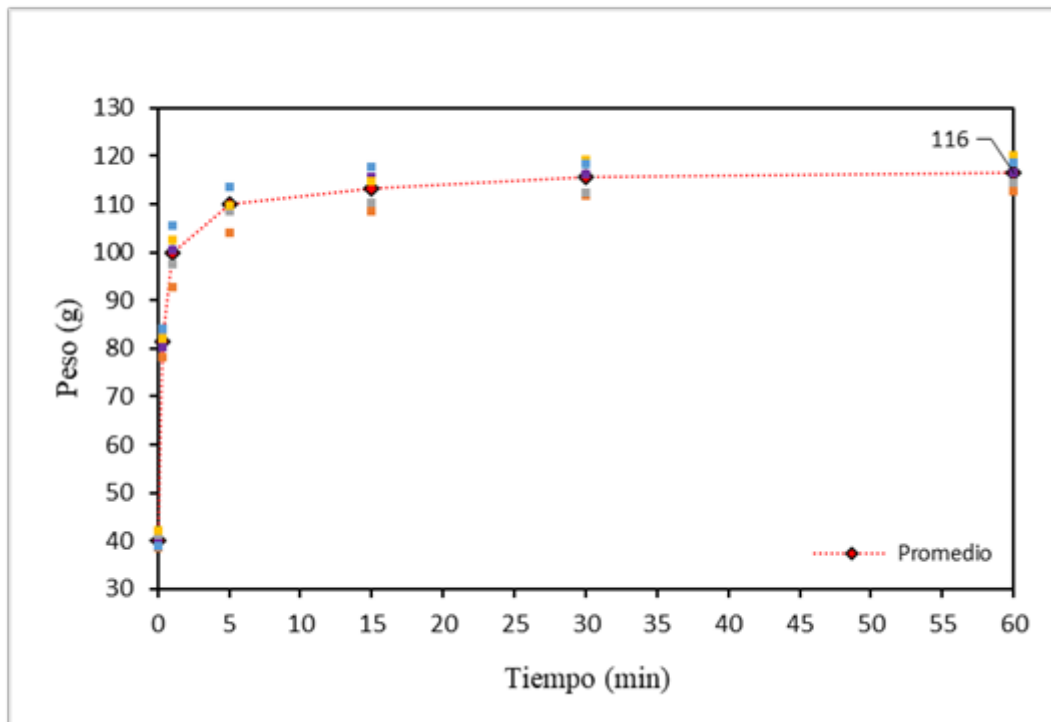
*Muestra para ensayo de gravedad específica y capacidad de absorción del residuo de papel*



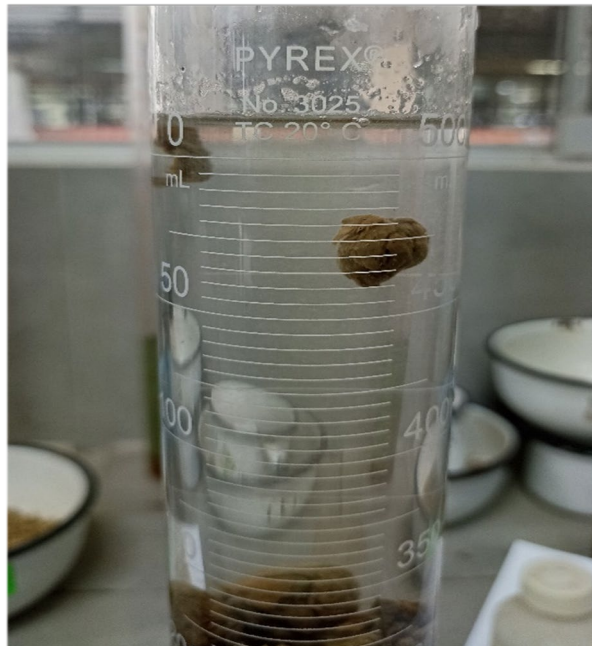
Este material luego fue sometido a un proceso de secado en horno a una temperatura de 110°C durante 24 horas. El ensayo se repitió en cinco oportunidades, lo que resultó en un peso seco promedio final de 40.17 gramos. Posteriormente, se llevó a cabo un proceso de saturación para alcanzar el estado de saturación superficial seca. Para lograr esto, los granos de fibra de celulosa de papel fueron sumergidos en intervalos de tiempo controlados, tomando lecturas de peso en cada intervalo y asegurando que no hubiera exceso de agua en la superficie. Esto se logró permitiendo que el agua escurriera y secando con un paño hasta que no quedara la película superficial de agua que indique humedad en exceso. Después de una hora, se alcanzó un valor final de peso saturado superficial seca de 116.47 gramos. Bajo este procedimiento se pudo calcular la capacidad de absorción del residuo de papel era del 190%. En la Figura 33 se muestra el resultado gráfico del desarrollo del ensayo.

**Figura 33**

*Resultados del ensayo de capacidad de absorción del residuo de papel*



Una vez alcanzada la condición de saturación superficial seca, se procedió a determinar el peso específico sumergiendo los granos de fibra de celulosa de papel en una probeta de vidrio graduada. La probeta contenía una cantidad previamente medida de agua de 400 mililitros, lo que permitió registrar el desplazamiento del volumen de agua, el cual resultó ser de 110.5 mililitros, con estos datos se pudo calcular el peso específico del material. En la Figura 34 se puede visualizar una representación de los granos de papel sumergidos en la probeta durante el ensayo.

**Figura 34***Ensayo de peso específico del residuo de papel*

Así mismo, se llevó a cabo el ensayo correspondiente para la determinación del contenido de humedad del residuo de papel, a fin de establecer su condición en estado ambiente previo a su incorporación en la mezcla. Los resultados obtenidos indicaron que el material presentaba un contenido de humedad ambiental equivalente al 0%, lo que confirma que el residuo se encontraba en estado seco al momento de su caracterización.

En resumen, los demás resultados de la caracterización del papel para realizar los diseños de mezcla se detallan en la Tabla 2.

**Tabla 2***Caracterización del residuo de bolsas de papel*

<b>Residuo</b>	<b>Bolsas de cemento</b>
PU suelto stock (kg/m <sup>3</sup> )	90
Gravedad específica (SSS)	1.05
Capacidad de absorción (%)	190
Contenido de humedad (%)	0.00

### 2.3 Mezclas evaluadas

En el proceso de diseño de mezcla, se mantuvo constante la relación agua-cemento (a/c) en 0.75, con el propósito de establecer una base uniforme que permita comparar de

manera confiable las propiedades entre las diferentes mezclas evaluadas. Este criterio asegura que las variaciones observadas en los resultados se atribuyan únicamente al reemplazo del agregado fino por residuos de bolsas de papel. Dicho reemplazo se efectuó en función de su volumen y no de su peso, considerando la diferencia significativa en el peso específico entre la arena y el papel.

Además, se aseguró que la trabajabilidad de las mezclas se mantuviera dentro de un rango de entre 100% y 120%, lo que garantiza condiciones adecuadas para su manipulación y colocación. Sin embargo, el volumen de pasta no fue constante en todas las mezclas, ya que este varió en función de la cantidad de residuo de papel incorporado. Con estos criterios establecidos, se elaboraron tres tipos de mezclas para evaluar sus propiedades específicas. A continuación, se detallan la composición y el proceso de preparación de cada una.

La mezcla patrón fue determinada tomando como referencia parte de la metodología propuesta por el ACI 211.1, adaptándola a los requerimientos específicos de un mortero convencional. En este caso, no se aplicó el procedimiento completo del ACI, sino que se utilizó como una guía base para estructurar un diseño estandarizado. Se partió de una relación agua/cemento (a/c) de 0.75, con este valor se calcularon las cantidades correspondientes de agua y cemento. El contenido de agregado fino se estimó mediante un análisis volumétrico, considerando la relación entre los volúmenes de los materiales y el volumen total de la mezcla. Finalmente, se realizaron las correcciones necesarias por humedad del agregado fino, ajustando las cantidades al estado stock, con lo cual se obtuvo la dosificación definitiva de la mezcla patrón. Esta mezcla fue utilizada como referencia para comparar el comportamiento de las mezclas con reemplazo parcial del agregado fino por residuos de papel picado y fibra de celulosa.

Para las mezclas con reemplazo, se siguió un procedimiento de cálculo similar al de la mezcla patrón, manteniendo constante la relación agua/cemento. No obstante, debido a la incorporación progresiva de residuo de papel como sustituto parcial del agregado fino, fue necesario ajustar el volumen de pasta en cada dosificación. Estos ajustes se realizaron con el objetivo de alcanzar una trabajabilidad adecuada y comparable entre todas las mezclas, ya que la adición de residuo de papel tiende a modificar la demanda de agua efectiva y la consistencia del mortero. Por tal motivo, se evaluó experimentalmente la trabajabilidad y se realizaron ajustes en el volumen de la pasta para asegurar la homogeneidad y condiciones equivalentes durante los ensayos.

### **2.3.1 Mortero patrón**

La mezcla patrón se elaboró sin la incorporación de papel y la relación agua-cemento (a/c) de 0.75. En esta mezcla, se empleó el agregado fino convencional, cemento Portland tipo MS de la marca Pacasmayo y agua potable.

Para el cálculo del diseño de mezcla patrón se tomaron en cuenta los parámetros físicos del agregado fino que fueron presentados en la Tabla 1.

En la Tabla 3 se muestran las proporciones en kilogramos y en condición de stock para elaborar 1 m<sup>3</sup> de mortero para la mezcla patrón. Para mayor detalle del cálculo para el diseño de la mezcla, revisar el Anexo 4.

**Tabla 3**

*Diseño de mezcla patrón*

<b>Material</b>	<b>Cantidad (kg/m3)</b>
Agua	324
Cemento	407
Papel	0.0
Agregado Fino	1415

Los materiales fueron mezclados siguiendo los procedimientos normativos, tras lo cual se realizó la prueba de trabajabilidad en la mesa de flujo. En esta evaluación, se determinó que la mezcla alcanzó una fluidez dentro del rango aceptable, cuyo valor específico se presenta en los resultados.

Una vez verificada la trabajabilidad de la mezcla patrón se elaboraron los especímenes para los ensayos de concreto endurecido (cubos y vigas), los cuales serían desencofrados el día siguiente para ser sometidos al proceso de curado y posteriormente ensayados a edades de 7 y 28 días.

### **2.3.2 Mortero con reemplazo de fibra celulosa**

En las mezclas en las que se reemplazó parte del volumen de arena por papel en forma de fibra de celulosa, se siguió un procedimiento específico. Inicialmente, se realizó el diseño de mezcla correspondiente para cada porcentaje de volumen, en el Anexo 5 se puede encontrar el detalle de los cálculos. Sin embargo, a pesar de utilizar la cantidad máxima de aditivo plastificante permitida, no fue posible alcanzar la trabajabilidad deseada en todas las mezclas. Debido a esto, fue necesario ajustar la cantidad de agua y cemento (pasta) en cada mezcla para garantizar una adecuada manipulación y colocación del mortero.

En la Tabla 4 se muestran los diseños de mezcla para un metro cúbico de mezcla de cada porcentaje de reemplazo del agregado fino.

**Tabla 4***Diseños de mezcla con fibra celulosa*

<b>Reemplazo</b>	<b>10%</b>	<b>15%</b>	<b>20%</b>	<b>30%</b>	<b>50%</b>
<b>Material</b>	<b>Cantidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>				
Agua	556	608	642	678	711
Cemento	653	713	760	793	847
Papel (stock)	30.1	34.8	35.6	42.0	39.4
Agregado Fino (stock)	656	478	346	238	96
Plastificante	10.45	11.41	12.16	12.69	13.55
<b>P. U. (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1895</b>	<b>1833</b>	<b>1784</b>	<b>1751</b>	<b>1693</b>

*Nota.* La dosificación de agua incluye la corrección por absorción del residuo de papel y los ajustes por fluidez.

Determinados los diseños se procedió al pesaje de los componentes para cada mezcla, que incluían el cemento Portland tipo MS, la arena, el residuo de papel, aditivo y agua.

Una vez que todos estos materiales fueron cuidadosamente pesados, se llevó a cabo el proceso de transformación del residuo de papel en fibra de celulosa. Primero, el papel en su condición de stock fue puesto a remojar durante 24 horas tomando el 60% del peso de agua de diseño, esto con el propósito de facilitar el licuado, la mezcla y homogeneización de los componentes. El peso del conjunto se anotaba para que transcurrido el tiempo de remojo se pudiera garantizar que la cantidad de agua se mantenga constante, eventualmente se tenían pérdidas por evaporación del agua, para ello se compensaba la diferencia de peso inicial y final añadiendo la cantidad de agua faltante antes de proceder con el licuado.

Como paso siguiente, se colocaba el papel remojado en la licuadora y se procedía a licuar hasta obtener la consistencia de fibra de celulosa de papel. Es importante destacar que la cantidad de agua empleada durante el proceso de licuado formaba parte integral del cálculo del agua afectiva de diseño para la mezcla, de manera que se debía garantizar un control sobre la cantidad total de agua empleada, asegurando que no se generen excesos o déficits de la cantidad especificada en el diseño de la mezcla.

Además, para compensar cualquier pérdida de agua durante el proceso de licuado, se procedió a pesar la fibra de celulosa resultante, verificando su peso inicial. En caso de ser

necesario, se ajustó la cantidad de agua para mantener la proporción establecida en el diseño de mezcla.

Asimismo, para estas mezclas fue necesario incorporar un aditivo plastificante SikaCem® en una proporción del 1.6% del peso de cemento, con el fin de aumentar la trabajabilidad de las mezclas. Estos ajustes en el volumen de pasta permitieron mantener las condiciones requeridas sin comprometer la cohesión ni la resistencia de las mezclas evaluadas.

Después de obtener la fibra de celulosa, el proceso de mezclado siguió una metodología similar a la mezcla patrón, con la particularidad de que la fibra de celulosa se incorpora gradualmente a medida que se agrega la arena durante la mezcla. Asimismo, después de un minuto de mezclado, se introduce el aditivo en la mezcla para garantizar un adecuado comportamiento del mortero con papel reciclado como agregado. Este enfoque asegura que la fibra de celulosa sea considerada como parte del agregado y que el aditivo sea incorporado en el momento adecuado del proceso de mezclado para mantener la cohesión y trabajabilidad del mortero.

Posteriormente se verificó la trabajabilidad de cada mezcla y se elaboraron los especímenes cúbicos y prismáticos para los ensayos de concreto endurecido, los cuales serían desencofrados el día siguiente para ser sometidos al proceso de curado y posteriormente ensayados a edades de 7 y 28 días. Con lo que se pudo garantizar una correcta elaboración de especímenes, como se puede observar en la Figura 35.

**Figura 35**

*Elaboración de especímenes de mezclas con fibra celulosa*



### **2.3.3 Mortero con reemplazo de papel picado**

Para las mezclas con reemplazo de papel picado como componente, se siguió una secuencia de procedimientos análoga a la empleada en las mezclas previamente descritas. En

primera instancia, se desarrolló el diseño de mezcla correspondiente para cada porcentaje de reemplazo en volumen. El detalle de los cálculos y proporciones utilizadas se encuentra disponible en el Anexo 5. Diseños de mezcla con reemplazo de residuo de papel.

En la Tabla 5 se muestran los diseños de mezcla para un metro cúbico de mezcla de cada porcentaje de reemplazo del agregado fino.

**Tabla 5**  
*Diseños de mezcla con papel picado*

<b>Reemplazo</b>	<b>10%</b>	<b>15%</b>
<b>Material</b>	<b>Cantidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
Agua	556	608
Cemento	653	713
Papel (stock)	30.1	34.8
Agregado Fino (stock)	656	478
Plastificante	10.45	11.41
<b>P. U. (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1895</b>	<b>1833</b>

*Nota.* La dosificación de agua incluye la corrección por absorción del residuo de papel y los ajustes por fluidez.

Determinados los diseños se procedió a pesar los componentes para cada mezcla, que incluían el cemento Portland tipo MS, la arena, el residuo de papel, aditivo y agua.

Se realizó el procedimiento de mezclado, el cual siguió una metodología similar a las mezclas con reemplazo en forma de fibra de celulosa; siendo que, en este caso, el papel picado también se incorporó gradualmente a medida que se agrega la arena durante la mezcla. Asimismo, después de un minuto de mezclado, se introduce el aditivo en la mezcla para garantizar un adecuado comportamiento del mortero con papel reciclado como agregado. Este enfoque asegura que este residuo de papel picado sea considerado como parte del agregado y que el aditivo sea incorporado en el momento adecuado del proceso de mezclado para mantener la cohesión y trabajabilidad deseada del mortero.

Para este tipo de reemplazo, solo fue posible elaborar dos mezclas. La de 10% y 15% de reemplazo. Debido a que, los demás diseños no permitieron obtener mezclas homogéneas y trabajables, las cuales presentaron problemas como segregación o sangrado durante la elaboración y colocación.

Se elaboraron los especímenes cúbicos y prismáticos para los ensayos de concreto endurecido, los cuales serían desencofrados el día siguiente para ser sometidos al proceso de curado y posteriormente ensayados a edades de 7 y 28 días. En la Tabla 6. se muestra el resumen de los diseños de mezcla para un metro cúbico de mezcla de cada porcentaje de reemplazo del agregado fino realizado.

**Tabla 6***Diseños de mezcla*

<b>Mezcla</b>	<b>Sin papel</b>	<b>Con reemplazo en forma de fibra celulosa</b>					<b>Con reemplazo en papel picado</b>	
Relación agua/cemento	0.75							
<b>Reemplazo</b>	0%	10%	15%	20%	30%	50%	10%	15%
<b>Material</b>	<b>Cantidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>							
Agua	324	556	608	642	678	711	556	608
Cemento	407	653	713	760	793	847	653	713
Papel (stock)	0.0	30.1	34.8	35.6	42.0	39.4	30.1	34.8
Agregado Fino (stock)	1415	656	478	346	238	96	656	478
Plastificante	0.0	10.45	11.41	12.16	12.69	13.55	10.45	11.41
<b>P. U. (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>2145</b>	<b>1895</b>	<b>1833</b>	<b>1784</b>	<b>1751</b>	<b>1693</b>	<b>1895</b>	<b>1833</b>
Volumen de pasta por m <sup>3</sup>	0.44	0.71	0.78	0.83	0.87	0.93	0.71	0.78

*Nota.* La dosificación de agua incluye la corrección por absorción del residuo de papel y los ajustes por fluidez.

## Capítulo 3

### Resultados y análisis

#### 3.1 Propiedades de la mezcla en estado fresco

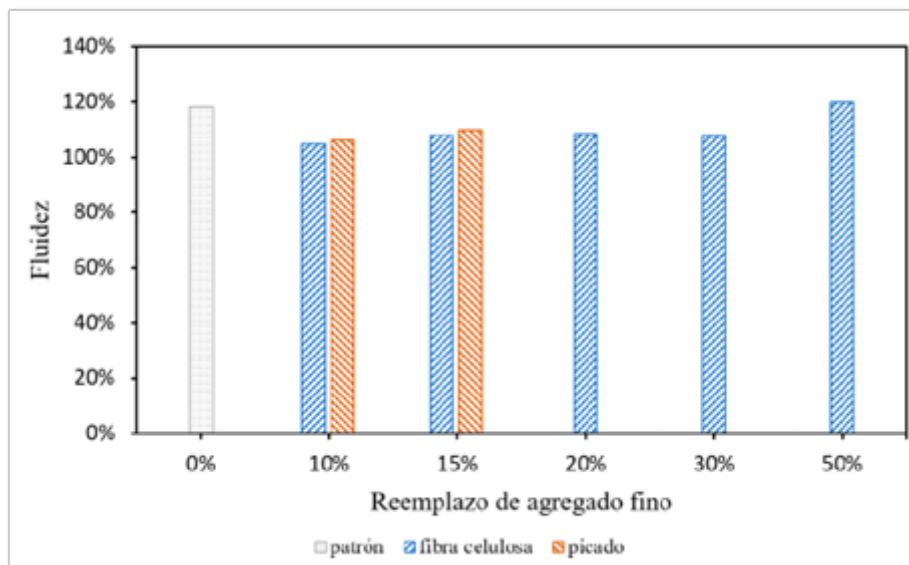
Se realizaron las mediciones de las propiedades de las diferentes mezclas en estado fresco, las propiedades medidas en este estado son la trabajabilidad o fluidez y la cantidad de pasta requerida.

##### 3.1.1 Trabajabilidad o fluidez

Para la evaluación de la trabajabilidad o fluidez de las mezclas, se consideró lo establecido en la Norma Técnica Peruana NTP 334.057:2019, que define como rango óptimo de fluidez el comprendido entre el 100 % y el 120 %. La medición se efectuó mediante el ensayo de mesa de flujo, siguiendo estrictamente el procedimiento estandarizado descrito en dicha normativa. Se debe tener en cuenta que se empleó el aditivo plastificante SikaCem®, esta adición de plastificante fue considerada debido a que inicialmente se requería obtener una trabajabilidad constante sin considerar el incremento de la cantidad de pasta, sin embargo, a pesar de utilizar la cantidad máxima de aditivo plastificante, no fue posible alcanzar la trabajabilidad deseada en todas las mezclas; debido a esto, fue necesario ajustar la cantidad de agua y cemento. Entonces, el uso del aditivo plastificante se encuentra justificado, la cantidad fue estandarizada para todas las mezclas, el cual fue la adición de plastificante en un 1.6% del peso de cemento en la mezcla. Con ello se obtuvieron los resultados presentados a continuación en la Figura 36.

**Figura 36**

*Fluidez de las mezclas elaboradas*



Se observa el comportamiento de las mezclas con respecto al porcentaje de reemplazo de agregado fino, la fibra de celulosa presenta una mejor adaptabilidad y manejo en cuanto a

su fluidez. Con respecto al papel picado, al 20% de reemplazo de agregado fino presentó dificultades para alcanzar la fluidez requerida, pues las mezclas segregaban, lo mismo pasó para las mezclas de 30% y 50%.

También se aprecia que la fluidez no aumenta considerablemente a pesar de la mayor cantidad de pasta porque la proporción de materiales en las mezclas de mortero varía debido al reemplazo parcial del agregado fino por residuos de bolsas de papel. Este reemplazo modifica la interacción entre los componentes de la mezcla. Por ello, aunque la cantidad de pasta aumenta con el reemplazo de agregado fino por residuo de papel, las propiedades absorbentes del papel, el incremento en la viscosidad y los cambios en la estructura interna de la mezcla restringen significativamente el aumento de fluidez esperado.

En el caso del reemplazo con papel en forma de fibra celulosa, los 5 diseños de mezclas con reemplazo parcial de agregado fino permitieron obtener mezclas homogéneas y trabajables, las cuales no presentaron problemas como segregación o sangrado durante la elaboración y colocación como se aprecia en la Figura 37.

**Figura 37**

*Mezcla con reemplazo en volumen de papel con fibra celulosa*



En el caso del reemplazo con residuo de papel picado, la Figura 38 a). se puede observar el ensayo de mesa de flujo de la mezcla de 15%, la cual se puede apreciar que es homogénea y no presenta problemas de sangrado, por otra parte, en la Figura 38 b). se observa una mezcla con 20% de reemplazo, se evidencia el problema de sangrado durante el ensayo, esto generó que no se pudiera elaborar especímenes de forma correcta.

**Figura 38**

*Ensayo de fluidez de mezclas con papel picado*

**a)****b)**

Se observa en la Figura 39, las mezclas presentaron segregación a partir del 20% de reemplazo en volumen de agregado fino. Por este motivo, se descartó realizar mezclas con 20%, 30% y 50% con papel picado, debido a que, a medida que aumentaba el porcentaje de papel presente en la mezcla, aumentaba el problema de segregación y sangrado.

**Figura 39**

*Mezcla con reemplazo de 30% en volumen de papel picado con evidente segregación*

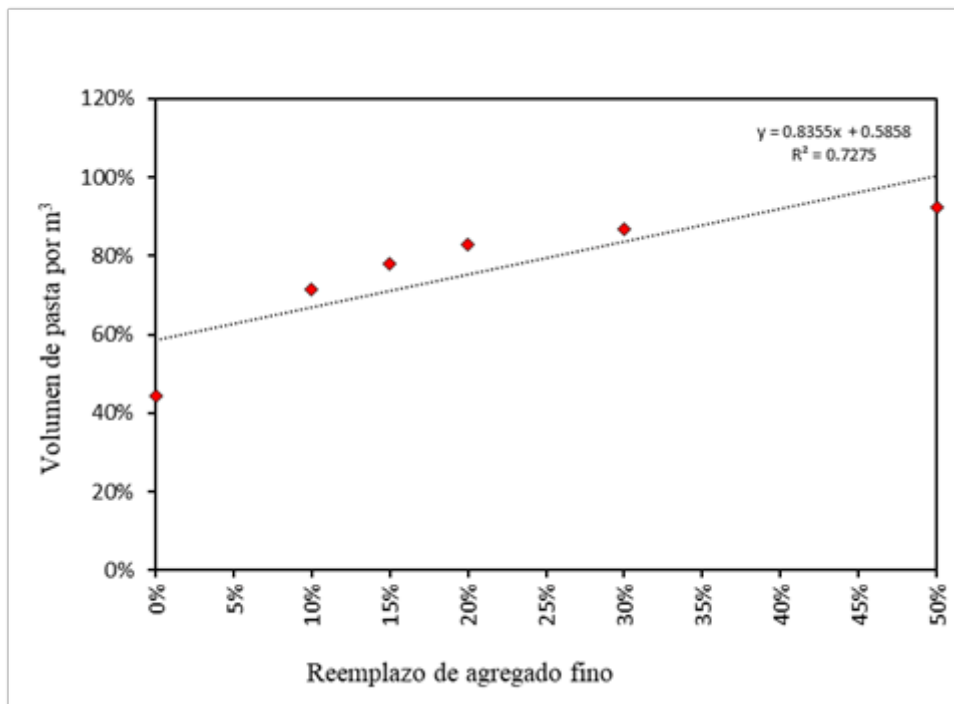


### 3.1.2 Cantidad de pasta requerida

Previamente, se calcularon los diseños de las mezclas considerando las propiedades de los agregados que las componen, con el objetivo de evaluar el efecto del reemplazo parcial del agregado fino por residuos de papel en la cantidad de pasta requerida. Este análisis permitió determinar cómo varía la demanda de pasta según el contenido de residuo de papel, aspecto esencial para garantizar tanto la trabajabilidad en estado fresco como la resistencia del mortero en estado endurecido. Resultado de estas evaluaciones, se obtuvo la Figura 40.

**Figura 40**

*Cantidad de pasta requerida por cada m<sup>3</sup> de mortero*



Se observa que la cantidad de pasta requerida por la mezcla aumenta a medida que se incrementa el porcentaje de residuo de papel utilizado como reemplazo en volumen del agregado fino. Este comportamiento puede explicarse por la estructura porosa e higroscópica del papel reciclado, que reduce la cantidad de pasta libre disponible para la cohesión de componentes sólidos.

En este sentido, Stevulova et al. (2021), señalan que las fibras de papel demandan un aumento en la relación agua/cemento para garantizar una adecuada dispersión y trabajabilidad. Asimismo, durante el proceso de mezclado, se ha documentado el consumo de plastificantes debido a la absorción por parte de las fibras de papel, lo cual prolonga el fraguado y modifica la microestructura de la pasta.

Debido a que el papel, al absorber agua y ocupar volumen en el sistema, exige una mayor cantidad de pasta para lograr el recubrimiento y cohesión adecuados de los demás

componentes sólidos. Como consecuencia, la incorporación de papel incrementa progresivamente la demanda de pasta, alcanzando hasta un 45% más respecto a la mezcla patrón sin residuo. En mezclas con deficiencia de pasta, se han evidenciado discontinuidades y zonas con escasa matriz cementante como se observa en la Figura 41, lo que compromete la homogeneidad y, en consecuencia, la resistencia mecánica.

**Figura 41**  
*Mezcla con menor cantidad de pasta que la requerida*



Como se observa en la Figura 41, se presenta una mezcla con pobre cantidad de pasta, esto produce que la pasta debido a la porosidad del papel priorice el recubrimiento de dicho papel, dejando sin la cantidad necesaria para cubrir el agregado fino de la mezcla. Se pueden observar los granos de arena que, a pesar de haber sido mezclados homogéneamente, no se lograban cubrir con pasta de cemento, lo cual provoca que el material granulado quede disperso y sin adhesión a la mezcla, siendo esto un punto negativo pues afecta a la resistencia mecánica de las muestras.

El reemplazo en volumen de papel proveniente de bolsas de cemento por arena gruesa en las mezclas de mortero presenta tanto ventajas como desventajas. La principal ventaja radica en la reducción del peso unitario de las mezclas, lo que puede resultar beneficioso en estructuras o elementos prefabricados, ya que disminuiría los costos de transporte y facilitaría su almacenamiento.

No obstante, desde una perspectiva de sostenibilidad, este reemplazo tiene una desventaja significativa. La inclusión de papel en las mezclas incrementa considerablemente la cantidad de pasta requerida, llegando hasta un 45% más, lo que implica un mayor consumo de cemento. Este aumento en la demanda de cemento conlleva un impacto ambiental negativo, dado que intensifica la producción de este material.

### **3.2 Propiedades de la mezcla en estado endurecido**

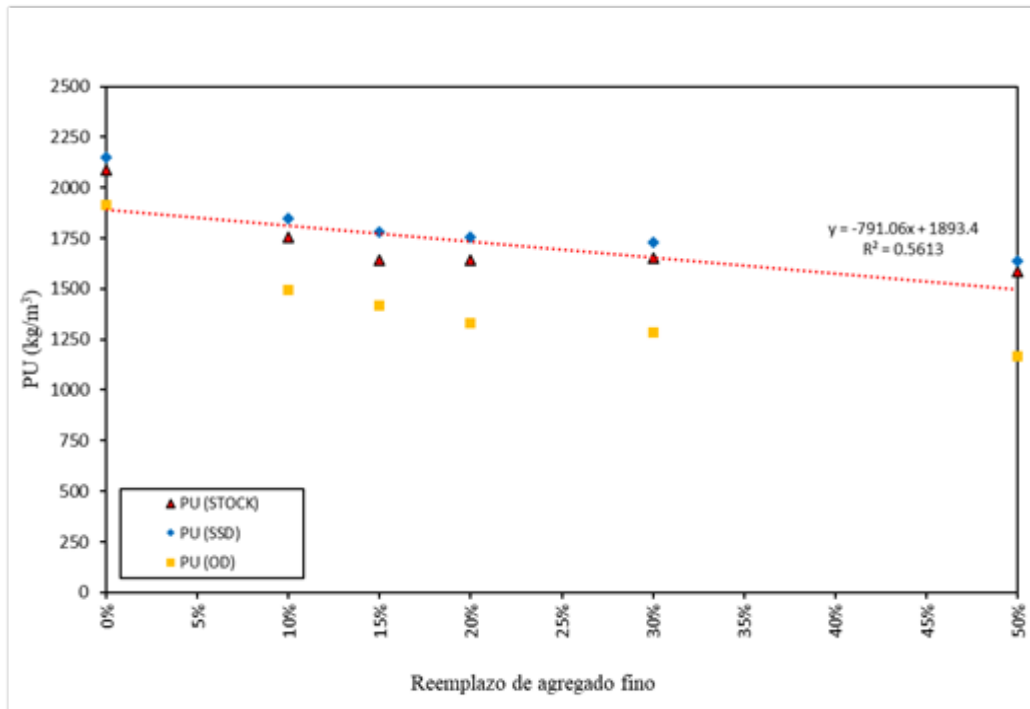
Se realizaron las mediciones de las propiedades de los morteros en estado endurecido, las propiedades medidas en este estado son el peso unitario, absorción, resistencia a la compresión y módulo de rotura.

#### **3.2.1 Peso unitario**

El peso unitario constituye una propiedad esencial en la caracterización de los morteros endurecidos, dado que guarda una relación directa con su densidad y, en consecuencia, influye de manera significativa en su durabilidad, resistencia mecánica y desempeño térmico. Este análisis se enfoca en tres condiciones específicas del mortero en estado endurecido: peso unitario seco (OD), que representa el estado del material completamente deshidratado; peso unitario en stock (STOCK), que refleja el peso del mortero en condiciones ambientales estándar; y peso unitario saturado (SSS), que considera el material completamente impregnado de agua.

La evaluación del mortero en estos tres estados es crucial para entender cómo el mortero responde a variaciones en la humedad, lo cual puede resultar vital para aplicaciones en entornos con incertidumbres climáticas o donde se espera exposición continua al agua. A través de este análisis, se busca identificar las relaciones entre la porosidad del mortero, su capacidad de absorción y su desempeño en diferentes condiciones de humedad, proporcionando una base para optimizar las mezclas en función de las exigencias del proyecto.

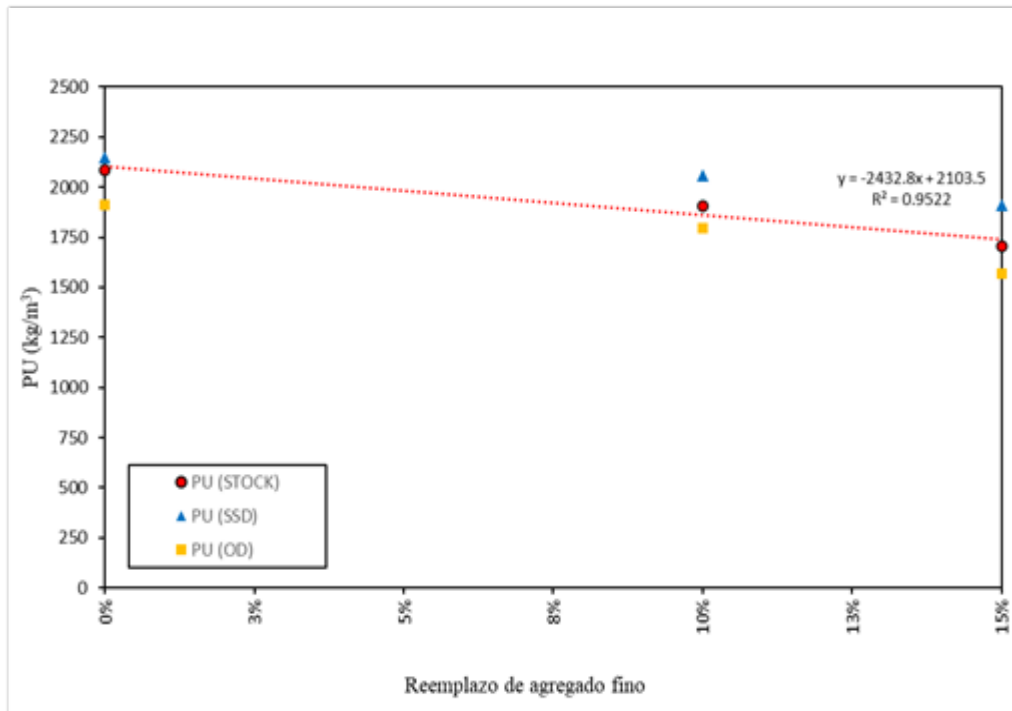
El gráfico de la Figura 42 muestra los resultados de los ensayos de peso unitario de los morteros en función del porcentaje de reemplazo de agregado fino con fibra celulosa, para tres condiciones específicas: peso unitario seco, peso unitario en stock y peso unitario saturado.

**Figura 42***Peso unitario de mortero con fibra de celulosa*

Se observa que, a medida que aumenta el porcentaje de reemplazo del agregado fino (de 0% a 50%), el peso unitario del mortero disminuye en todas las condiciones (STOCK, SSS, OD). Además, el peso unitario es más alto en la condición SSS, seguido por la condición STOCK. La condición OD muestra el menor peso unitario. La diferencia entre PU(SSS) y PU(STOCK) es menor que la diferencia entre PU(STOCK) y PU(OD).

La reducción del peso unitario es más pronunciada en la condición OD en comparación con las otras dos condiciones, lo que sugiere que la cantidad de agua presente en el mortero tiene un impacto significativo en el peso unitario a medida que se reemplaza el agregado fino. Por lo tanto, el reemplazo del agregado fino con fibra de celulosa reduce significativamente el peso unitario del mortero cuando se realizan reemplazos de hasta 15%, para reemplazos mayores los pesos unitarios STOCK y SSS se reducen en menor proporción. Sin embargo, esta reducción es más evidente en la condición seca (OD).

Por otra parte, se generó el gráfico de la Figura 43, donde se muestra los resultados de los ensayos de peso unitario de los morteros en función del porcentaje de reemplazo de agregado fino con papel picado, al igual que en el reemplazo por fibra celulosa para tres condiciones específicas: peso unitario seco, peso unitario en stock y peso unitario saturado.

**Figura 43***Peso Unitario de mortero con papel picado*

De manera similar, se aprecia que a medida que se aumenta el porcentaje de reemplazo del agregado fino, en este caso de 0% a 15%, el peso unitario del mortero disminuye en todas las condiciones (STOCK, SSS, OD). Además, el peso unitario continúa siendo más alto en la condición SSS, seguido por la condición STOCK. Así mismo, la condición OD muestra el menor peso unitario. Y en esta oportunidad, la diferencia entre PU(SSS) y PU(STOCK) al inicio es menor que la diferencia entre PU(STOCK) y PU(OD), pero en el reemplazo de 15%, dichas diferencias, concluyen siendo similares.

La reducción del peso unitario presenta una tendencia similar en las tres condiciones evaluadas, lo que sugiere que la cantidad de agua presente en el mortero tiene un impacto significativo en el peso unitario a medida que se reemplaza el agregado fino. Por lo tanto, el reemplazo del agregado fino con papel picado reduce relativamente el peso unitario del mortero cuando se realizan reemplazos de hasta 15%, además se puede intuir que para reemplazos mayores los pesos unitarios STOCK y SSS se reduciría en similar proporción.

### **3.2.2 Absorción**

La capacidad de absorción de agua, en morteros con reemplazo de papel no debe interpretarse de manera convencional como un reflejo directo de la porosidad del material, como ocurre en morteros tradicionales. En este caso, el incremento en la absorción se encuentra asociada principalmente a la naturaleza higroscópica del residuo de papel incorporado, el cual presenta una elevada capacidad de retención de agua. Este

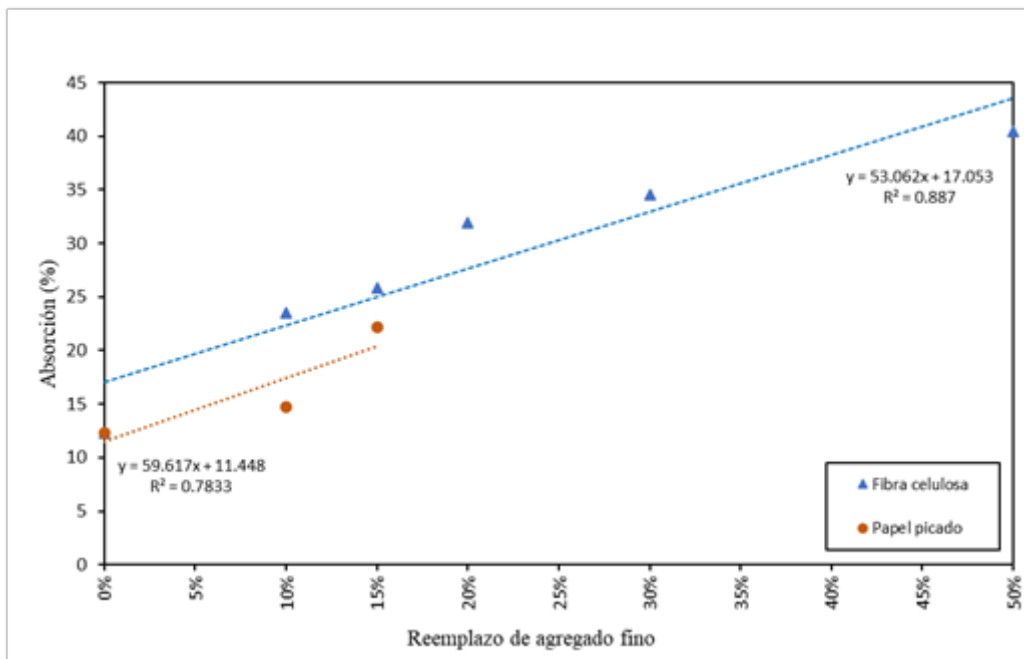
comportamiento explica los valores significativamente superiores observados en las mezclas que contienen residuos de papel, en comparación con la mezcla patrón.

El ensayo de absorción se desarrolló con el propósito de analizar la capacidad de los morteros fabricados para resistir la penetración de agua, propiedad que se encuentra directamente vinculada a su desempeño frente a agentes agresivos, como sales y sulfatos, que pueden comprometer la durabilidad estructural a largo plazo. Para ello, se emplearon especímenes cúbicos de 40 mm de lado, los cuales contaban con 28 días de edad. Las muestras fueron secadas en horno y, posteriormente, sumergidas en un recipiente con agua hasta alcanzar la saturación, registrándose los pesos con una balanza electrónica.

Finalmente, los resultados obtenidos permitieron evaluar el efecto de la variación del contenido de residuo de papel en la capacidad de absorción de agua de las mezclas de mortero. Estos datos se representaron en el gráfico de la Figura 44, proporcionando una comprensión más amplia acerca de la influencia del papel en las propiedades de durabilidad del material.

**Figura 44**

*Absorción de los morteros elaborados*



El gráfico presentado en la Figura 44 muestra como varía la capacidad de absorción del mortero en función del porcentaje de reemplazo de agregado fino, considerando los dos tipos de materiales evaluados: fibra de celulosa y papel picado.

Los resultados indican que la absorción de agua en el mortero aumenta significativamente conforme se incrementa el porcentaje de reemplazo de agregado fino por fibra celulosa. A partir de un 15% de reemplazo, la absorción comienza a aumentar de manera

pronunciada, alcanzando valores cercanos al 35% en un reemplazo del 30%. En el caso del papel picado, también se observa un aumento de absorción aunque en menor magnitud, con un valor máximo aproximado de 23% en un reemplazo del 15%.

A lo largo de todo el rango de reemplazo, los morteros con fibra celulosa registraron una mayor capacidad de absorción en comparación con aquellos elaborados con papel picado. Este comportamiento se atribuye a la elevada higroscopicidad del residuo de papel incorporado, especialmente en forma de fibra, que presenta una superficie expuesta mayor y, por ende, una mayor capacidad de retención de agua.

Por otro lado, al observar las muestras físicamente, se constató que los especímenes sin papel presentaron una apariencia más densa y compacta, lo cual evidencia una mejor cohesión entre los componentes del mortero. Esta condición se asocia con mayores resistencias mecánicas y una menor capacidad de absorción de agua. En contraste, los especímenes con reemplazo parcial de agregado fino por residuo de papel mostraron una textura más rugosa y heterogénea, tal como se aprecia en la Figura 45, lo que explica su mayor capacidad de retención de agua.

#### **Figura 45**

*Textura rugosa y heterogénea en espécimen con papel reciclado*



Es importante destacar que la mayor absorción observada en estos morteros no implica necesariamente un aumento en la porosidad estructural del material, como ocurre en morteros convencionales, sino que se debe principalmente a la presencia de residuos de papel en la composición. Sin embargo, esta condición puede influir en la durabilidad frente a agentes agresivos, dado que la humedad retenida en el material puede favorecer procesos de degradación. De manera complementaria, este incremento en absorción podría aportar ventajas en términos de aislamiento térmico y acústico, así como contribuir a la reducción de

peso del mortero, lo que abre oportunidad de aplicaciones específicas donde estas propiedades sean deseables.

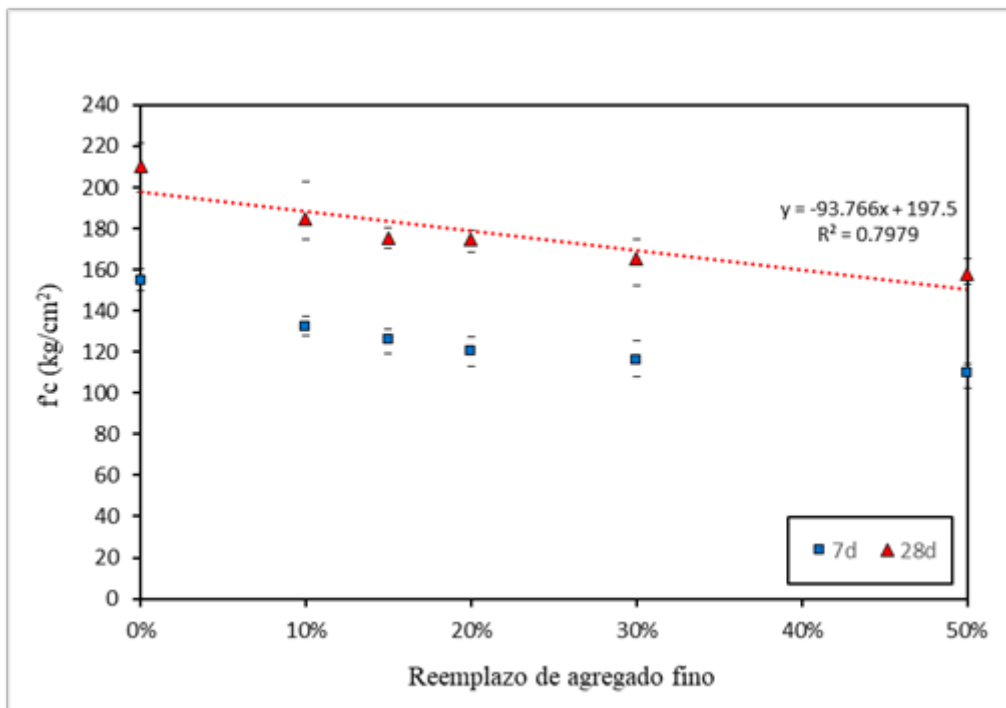
### 3.2.3 Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión, que es uno de los parámetros fundamentales en la evaluación del rendimiento de morteros endurecidos, determina la capacidad de estos para soportar cargas sin fallar. Los resultados de este ensayo pueden ser cruciales para garantizar que el mortero cumpla con los requisitos estructurales y de durabilidad en aplicaciones de construcción, en determinadas circunstancias. En este análisis, se revisan los resultados de resistencia a la compresión obtenidos a diferentes edades de curado y con diversas proporciones de reemplazo, con el objetivo de comprender cómo estos factores afectan la integridad estructural del mortero, dichos resultados se muestran en las Figura 46 y Figura 47. El análisis proporciona una base para optimizar las mezclas, buscando un equilibrio entre la resistencia mecánica, la trabajabilidad y la durabilidad del material.

El gráfico de la Figura 46 muestra la resistencia a la compresión ( $f_c$ ) del mortero en función del porcentaje de reemplazo de agregado fino con fibra de celulosa, para dos edades de prueba: 7 días y 28 días.

**Figura 46**

*Resistencia a la compresión de mortero con fibra de celulosa*



Se observa que, la resistencia a la compresión disminuye de manera casi lineal a medida que aumenta el porcentaje de reemplazo de agregado fino con fibra de celulosa. Al

igual que a 7 días, la resistencia a 28 días también disminuye con el aumento del porcentaje de reemplazo.

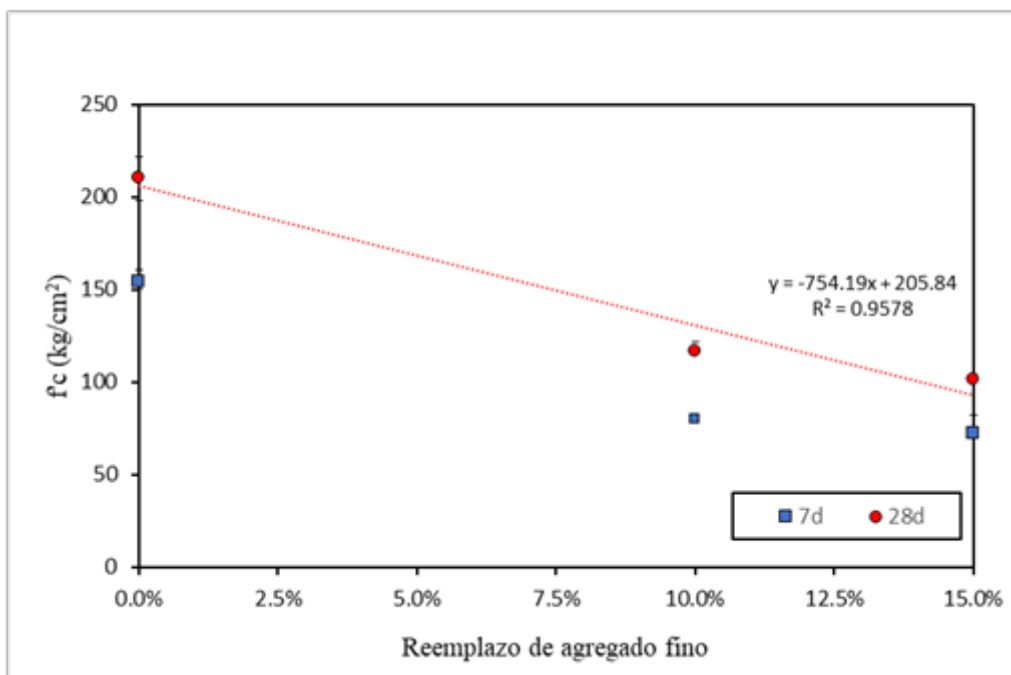
Como es común, en el comportamiento del concreto, la resistencia a 28 días es evidentemente más alta que la resistencia a 7 días para todos los niveles de reemplazo. Esto se debe al proceso continuo de hidratación del cemento, que fortalece la matriz del mortero con el tiempo. Así mismo, la pendiente de ambas líneas de tendencia indica una disminución de resistencia con el aumento del reemplazo. Sin embargo, la pendiente para los 28 días es ligeramente más pronunciada que para los 7 días, lo que sugiere que el impacto del reemplazo de agregado fino en la resistencia se hace más notable con el tiempo.

De esta manera, la disminución de la resistencia a la compresión con el incremento del reemplazo de agregado fino por fibra de celulosa puede limitar su uso en aplicaciones donde la resistencia es un factor crítico. Es posible que un reemplazo elevado comprometa la integridad estructural, especialmente en elementos sometidos a cargas importantes. Por ello, el gráfico de la Figura 46 sugiere que existe un compromiso entre la cantidad de reemplazo y la resistencia obtenida. Un reemplazo menor, alrededor del 10-20%, podría ofrecer un balance razonable entre la incorporación de fibras y la preservación de la resistencia estructural.

Por otra parte, el gráfico de la Figura 47 muestra la resistencia a la compresión ( $f'_c$ ) del mortero en función del porcentaje de reemplazo de agregado fino con papel picado, para dos edades de prueba: 7 días y 28 días.

**Figura 47**

*Resistencia a la compresión de mortero con papel picado*



De acuerdo con el gráfico, se observa que la resistencia a la compresión presenta una disminución significativa a medida que aumenta el porcentaje de reemplazo de agregado fino por papel picado. A los 7 días, la relación entre el porcentaje de reemplazo y la resistencia a la compresión es claramente inversa, evidenciando que un mayor contenido de papel picado se traduce en menores valores de resistencia. Similar a la tendencia observada a los 7 días, la resistencia a los 28 días también disminuye conforme se incrementa el porcentaje de reemplazo, pasando de una resistencia a compresión mayor a los 200 kg/cm<sup>2</sup> en morteros sin presencia de papel, hasta una resistencia a la compresión de 100 kg/cm<sup>2</sup> en reemplazos de hasta 15%.

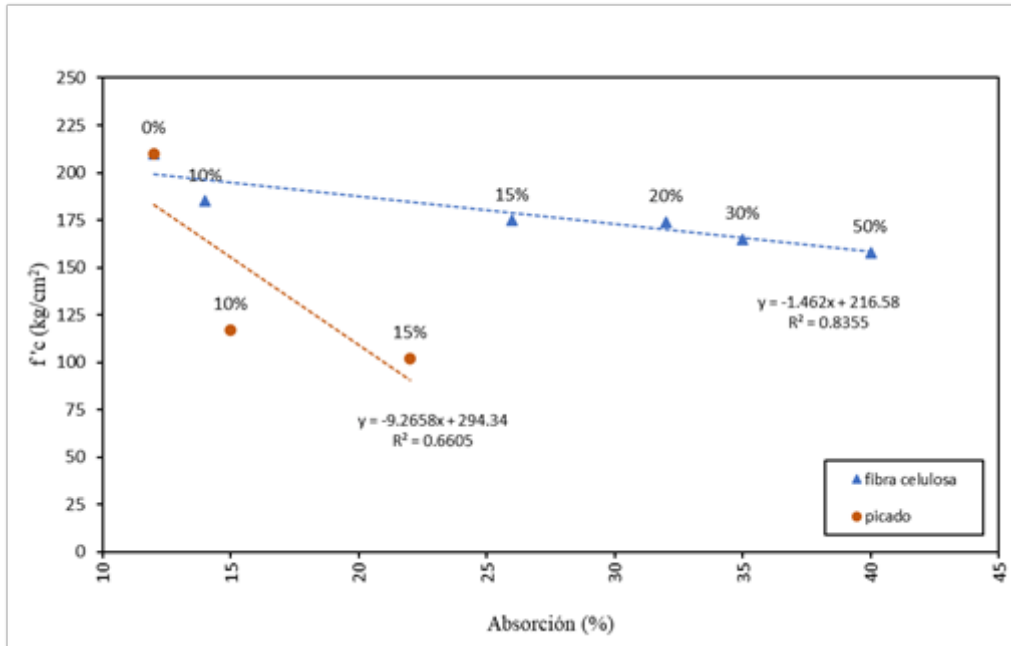
Como es de esperarse, la resistencia a 28 días es mayor que la resistencia a 7 días en todos los niveles de reemplazo. Esto es consistente con el proceso de hidratación del cemento, que mejora la resistencia del mortero con el tiempo. Las pendientes de ambas líneas muestran una disminución continua en la resistencia a medida que se incrementa el reemplazo de agregado fino con papel picado. Sin embargo, la pendiente de la línea a 28 días es un poco más pronunciada, lo que indica que el efecto del reemplazo es más marcado con el tiempo.

Por ello, la reducción en la resistencia a la compresión con el aumento del reemplazo de agregado fino por papel picado sugiere que este material puede comprometer la integridad estructural del mortero si se utiliza en grandes proporciones. Esto es especialmente relevante en aplicaciones donde la resistencia es un factor crítico. El gráfico de la Figura 47 sugiere que el reemplazo de agregado fino por papel picado debe ser limitado para evitar una reducción significativa en la resistencia a la compresión. Así mismo, debido a la cantidad deficiente de datos, en esta oportunidad no es posible determinar un rango adecuado de reemplazo con papel picado, por lo que la recomendación de su uso se ve significativamente limitada.

Adicionalmente, se analizó la relación entre la resistencia a la compresión y la absorción de las mezclas evaluadas, considerando tanto el reemplazo con fibra de celulosa como con papel picado. A partir de los resultados obtenidos, se elaboró el gráfico presentado en la Figura 48.

**Figura 48**

*Relación entre Resistencia a la compresión y Absorción*



Como se observa, en ambos casos se evidencia una relación inversamente proporcional, donde un incremento en la absorción del mortero conlleva una reducción en su resistencia a la compresión. No obstante, la disminución de la resistencia es menos pronunciada en las mezclas con reemplazo en forma de fibra de celulosa en comparación con aquellas con papel picado. Asimismo, se evidencia que tanto la absorción como la resistencia de los morteros con papel picado son menores en relación con los morteros que contienen fibra de celulosa.

Para analizar la forma de falla se presentan las Figura 49 y Figura 50, donde se aprecia el estado de los cubos luego de ser ensayados.

**Figura 49**

*Cubo de mezcla patrón luego de ser ensayado a compresión*

**Figura 50**

*Cubo de mezcla con reemplazo luego de ser ensayado a compresión*



Se observa que, el mortero sin papel tiende a exhibir una falla frágil y repentina, caracterizada por una ruptura brusca y la formación de grietas marcadas a lo largo de la superficie del material. Esto ocurre debido a su estructura más densa y compacta, lo que permite que el material soporte cargas hasta un punto crítico antes de fracturarse de manera abrupta. En contraste, el mortero que incorpora papel en su composición muestra una forma

de falla más gradual y dúctil. Debido a la mayor porosidad y la presencia de fibras de celulosa, la matriz del mortero es menos rígida, lo que lleva a una distribución de las tensiones más dispersa. Esto provoca que el material se deforme y desplace antes de fracturarse, generando grietas más irregulares y menos definidas, y mostrando signos de falla progresiva en lugar de una ruptura súbita.

### 3.2.4 Resistencia a la flexión (Módulo de rotura)

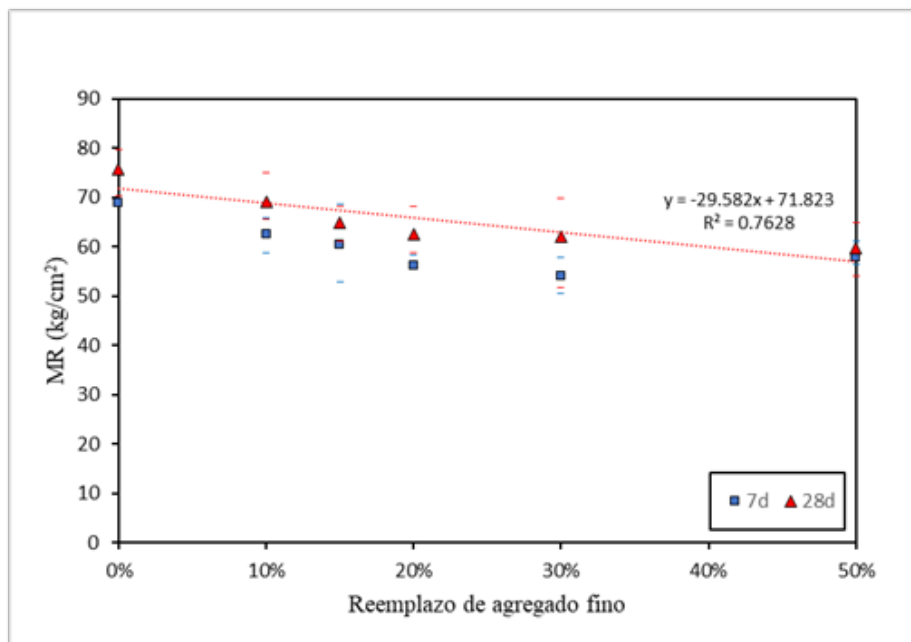
La resistencia a la flexión constituye un parámetro fundamental en la caracterización de los morteros, ya que mide su capacidad para soportar esfuerzos de tracción y resistir la propagación de fisuras. Este ensayo resulta especialmente relevante en aplicaciones donde el mortero se encuentra expuesto a tensiones que pueden inducir fracturas, como en revestimientos, elementos delgados o componentes estructurales no masivos.

En el presente análisis se evaluaron los resultados obtenidos a distintas edades y con diferentes porcentajes de reemplazo, lo que permitió determinar la influencia de estos factores sobre la resistencia a la flexión. Los datos obtenidos, presentados en la Figura 51 y Figura 52, facilitan la identificación de tendencias que orienten la optimización de las mezclas, buscando un equilibrio entre resistencia a la flexión, durabilidad y otras propiedades físicas relevantes.

El gráfico de la Figura 51 muestra la resistencia a la flexión (MR) del mortero en función del porcentaje de reemplazo de agregado fino con fibra de celulosa, para dos edades de prueba: 7 días y 28 días.

**Figura 51**

*Módulo de rotura de mortero con fibra de celulosa*



Se observa que, el módulo de rotura disminuye gradualmente a medida que aumenta el porcentaje de reemplazo de agregado fino con fibra de celulosa. Al igual que a los 7 días, módulo de rotura a 28 días también disminuye con el aumento del porcentaje de reemplazo.

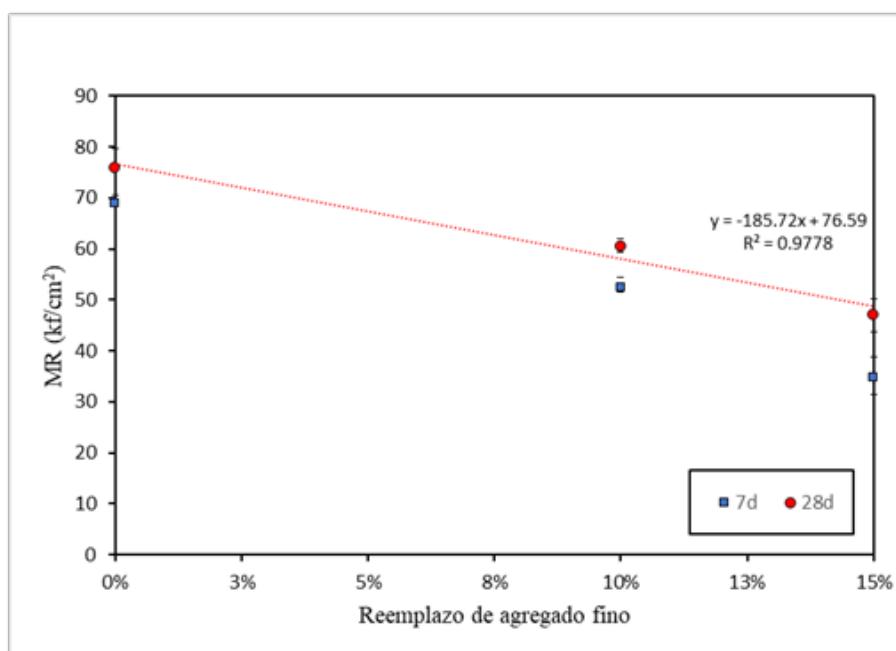
Como es de esperarse, en el comportamiento del concreto, módulo de rotura a 28 días es ligeramente más alto que la resistencia a 7 días para todos los niveles de reemplazo. Esto se debe al proceso continuo de hidratación del cemento, que fortalece la matriz del mortero con el tiempo. Así mismo, la pendiente de ambas líneas de tendencia indica una disminución de resistencia con el aumento del reemplazo. Sin embargo, la pendiente para los 28 días es ligeramente más pronunciada que para los 7 días, lo que sugiere que el impacto del reemplazo de agregado fino en la resistencia a la flexión se hace más notable con el tiempo.

De esta manera, la disminución de la resistencia a la flexión con el incremento del reemplazo de agregado fino por fibra de celulosa puede limitar su uso en aplicaciones donde el módulo de rotura es un factor crítico. Es posible que un reemplazo elevado comprometa la integridad estructural, especialmente en elementos sometidos a cargas flexionantes importantes. Por ello, el gráfico de la Figura 51 sugiere que existe una responsabilidad entre la cantidad de reemplazo y la resistencia obtenida. Un reemplazo menor, alrededor del 10-15%, podría ofrecer un balance razonable entre la incorporación de fibras y la preservación de la resistencia estructural.

Por otra parte, el gráfico de la Figura 52 muestra la resistencia a la flexión (MR) del mortero en función del porcentaje de reemplazo de agregado fino con papel picado, para dos edades de prueba: 7 días y 28 días.

**Figura 52**

*Módulo de rotura de mortero con papel picado*



Según el gráfico de la Figura 52, la resistencia a la flexión decrece de manera significativa con el incremento del porcentaje de reemplazo de agregado fino con papel picado. La relación a los 7 días sigue una tendencia lineal con un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.9555, lo que indica una buena correlación entre el aumento del reemplazo y la disminución de la resistencia a la compresión. Similar a la tendencia observada a los 7 días, la resistencia a 28 días también disminuye conforme se incrementa el porcentaje de reemplazo. Esta disminución es igualmente bien representada por una línea recta, con un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.9778, lo que sugiere que la relación entre el reemplazo y la disminución de la resistencia es aún mejor en este caso.

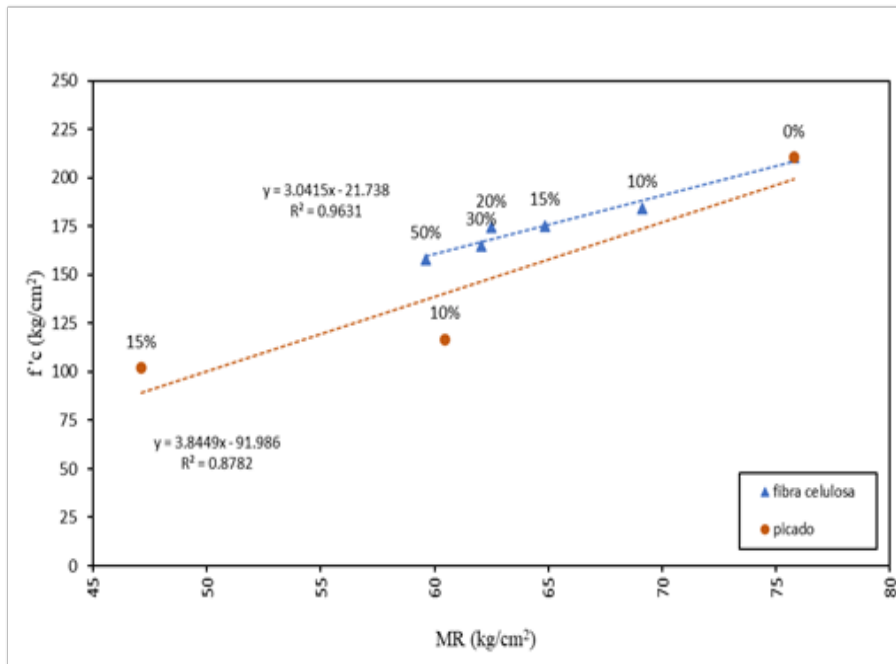
Como es de esperarse, la resistencia a la flexión a 28 días es mayor que la resistencia a 7 días en todos los niveles de reemplazo. Esto es consistente con el proceso de hidratación del cemento, que mejora la resistencia del mortero con el tiempo. Las pendientes de ambas líneas muestran una disminución continua en la resistencia a medida que se incrementa el reemplazo de agregado fino con papel picado. Sin embargo, la pendiente de la línea a 28 días es un poco más pronunciada, lo que indica que el efecto del reemplazo es más marcado con el tiempo.

Por ello, la reducción en la resistencia a la flexión con el aumento del reemplazo de agregado fino por papel picado sugiere que este material puede comprometer significativamente la integridad estructural del mortero si se utiliza en grandes proporciones. Esto es especialmente relevante en aplicaciones donde la resistencia a la flexión sea un factor crítico. El gráfico de la Figura 52 sugiere que el reemplazo de agregado fino por papel picado debe ser limitado para evitar una reducción significativa en la resistencia a la flexión. Así mismo, debido a la cantidad deficiente de datos, en esta oportunidad no es posible determinar un rango adecuado de reemplazo con papel picado, por lo que la recomendación de su uso se ve significativamente limitada.

Con estos resultados, se puede generar una relación entre la resistencia a la compresión y el módulo de rotura de las mezclas evaluadas, considerando tanto el reemplazo con fibra de celulosa como con papel picado. Con ello, se elaboró el gráfico de la Figura 53.

**Figura 53**

*Relación entre resistencia a la compresión y módulo de rotura*

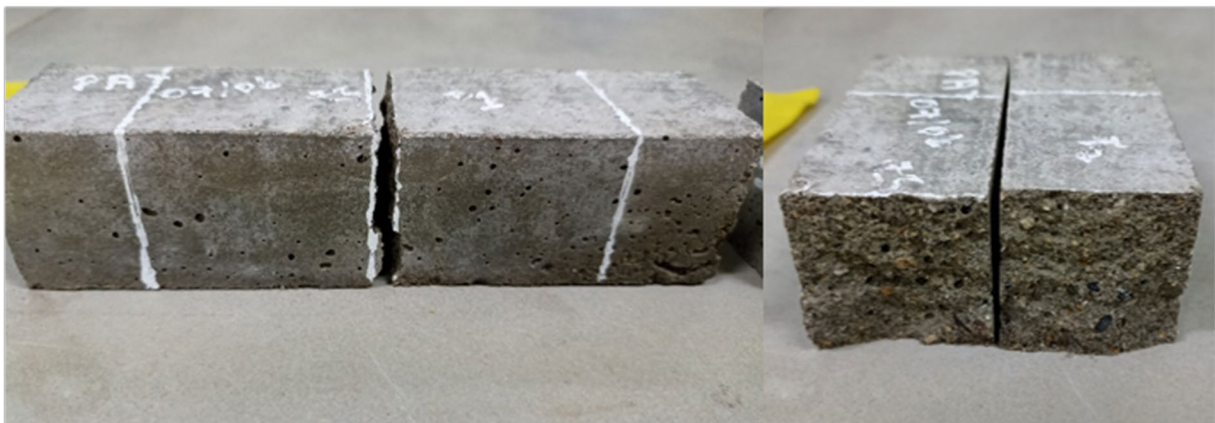


En esta ocasión, en ambos casos se observa una relación directamente proporcional, donde el aumento de la resistencia a la compresión del mortero también implica un incremento en su módulo de rotura, lo que indica una mayor resistencia a la flexión. No obstante, el aumento en el módulo de rotura es menos pronunciado en las mezclas con reemplazo de papel picado en comparación con aquellas en las que se empleó fibra de celulosa. Asimismo, se evidencia que la resistencia de los morteros con papel picado es inferior a la de los morteros que contienen fibra de celulosa.

Para analizar la forma de falla se presentan las Figura 54, Figura 55 y Figura 56, donde se aprecia el estado de las vigas luego de ser ensayadas.

**Figura 54**

*Viga de mezcla patrón luego de ser ensayada a flexión*



**Figura 55**

*Viga de mezcla con reemplazo en fibra celulosa luego de ser ensayado a flexión*

**Figura 56**

*Viga de mezcla con reemplazo en papel picado luego de ser ensayado a flexión*



En los morteros sin contenido de papel, la falla a flexión se presenta de forma frágil y repentina. Bajo la aplicación de carga, el material alcanza rápidamente su límite de resistencia y se fractura bruscamente a lo largo de una grieta limpia y recta, perpendicular a la dirección del esfuerzo aplicado. Este comportamiento responde a la microestructura densa y homogénea del mortero, la cual restringe la capacidad de deformación previa a la rotura.

En contraste, los morteros que incorporan residuos de papel en su composición, tanto en forma de fibra celulosa como de papel picado, evidencian un comportamiento ligeramente distinto. Aunque la superficie de fractura sugiere una falla predominantemente frágil, se observó una propagación más progresiva de la grieta. Específicamente, tras la aparición de la fisura principal, la fractura avanzó de manera gradual, permitiendo una leve redistribución de tensiones antes del colapso final. Este fenómeno indica que la presencia de fibras de papel aporta cierta capacidad de absorción de energía post-fisura, aunque insuficiente para conferir al material un comportamiento plenamente dúctil.

## Conclusiones

El reemplazo del agregado fino en mortero con fibra de celulosa es superior al uso de papel picado, ya que la fibra de celulosa mejora la cohesión y distribución en la mezcla, ofreciendo mejor resistencia mecánica y un comportamiento más uniforme. Esto lo convierte en una opción más efectiva para aplicaciones que requieren un balance entre ligereza y desempeño estructural, en comparación con el papel picado, que puede introducir mayor porosidad y reducir significativamente la resistencia del material.

La incorporación de residuos de papel como reemplazo parcial del agregado fino en el mortero altera significativamente la microestructura del material, aumentando su porosidad. Aunque esto resulta en una disminución de sus propiedades mecánicas, como la resistencia a la compresión y flexión, las cuales disminuyen al a medida que se aumenta el porcentaje de reemplazo, también puede abrir posibilidades para su uso en aplicaciones específicas donde se valoren las propiedades ligadas a la porosidad, como el aislamiento térmico o acústico.

Los morteros con incorporación de residuos de papel presentan una mayor capacidad de absorción de agua en comparación con la mezcla patrón, lo cual se explica principalmente por la alta higroscopicidad del papel y no por un aumento de la porosidad de la matriz cementicia. Este comportamiento, más marcado en la fibra celulosa, puede afectar la durabilidad en ambientes agresivos; sin embargo, también puede aportar ventajas en aplicaciones donde se requieran propiedades aislantes o reducción de peso.

El uso de mortero con residuo de papel como reemplazo parcial del agregado fino proporcionaría beneficios en la construcción. Su ligereza lo hace ideal para aplicaciones como elementos prefabricados, facilitando el manejo y reduciendo costos. Además, la porosidad del material mejora el aislamiento térmico y acústico, siendo útil en interiores para mejorar la eficiencia energética y el confort acústico. Sin embargo, es esencial evaluar su menor resistencia mecánica según las exigencias del proyecto, lo que permite un uso eficiente y sostenible del mortero en la construcción.

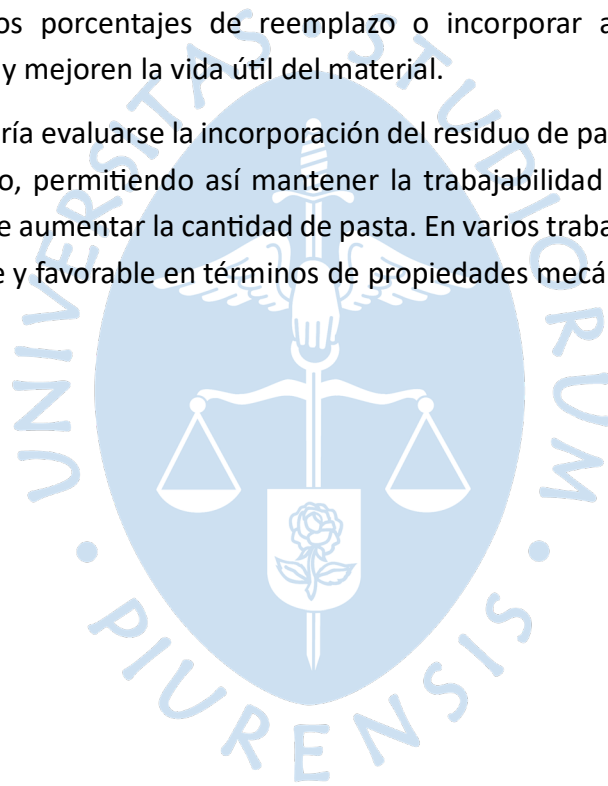
La incorporación de papel como sustituto volumétrico del agregado fino tiene ventajas, como la reducción del peso unitario, útil en aplicaciones prefabricadas. Sin embargo, desde una perspectiva de sostenibilidad, el aumento en la cantidad de pasta y por ende de cemento incrementa la huella ambiental.

## Recomendaciones

A partir de las tendencias observadas en la presente investigación, se recomienda limitar el porcentaje de reemplazo de agregado fino por residuos de papel a niveles que no comprometan significativamente la resistencia requerida por el diseño estructural, estableciendo como valor máximo un 10%.

Dado que la elevada absorción observada en los morteros con incorporación de papel se atribuye principalmente a la naturaleza higroscópica del material y no necesariamente a un aumento de porosidad en la matriz cementicia, se sugiere realizar ensayos complementarios de durabilidad (permeabilidad y ataque de sulfatos) que permitan caracterizar con mayor precisión el comportamiento del mortero frente a agentes externos. Asimismo, para aplicaciones constructivas expuestas a humedad constante o ambientes agresivos, se recomienda limitar los porcentajes de reemplazo o incorporar aditivos hidrófugos que reduzcan la absorción y mejoren la vida útil del material.

Como alternativa, podría evaluarse la incorporación del residuo de papel como una adición en lugar de un reemplazo, permitiendo así mantener la trabajabilidad de la mezcla en estado fresco sin necesidad de aumentar la cantidad de pasta. En varios trabajos se ha reportado esta estrategia como viable y favorable en términos de propiedades mecánicas.



## Referencias

- Abed, M., Khaleel, O., & Fayyadh, M. (2021). Effect of aluminium sulphate  $Al_2(SO_4)_3$  treatment on paper waste as a fine aggregate partial replacement in lightweight cement mortar. *Materials Today: Proceedings*, 1152-1159. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.529>
- Acosta, D. (2009). *Arquitectura y construcción sostenibles: conceptos, problemas y estrategias*. Dearq. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/277269104\\_Arquitectura\\_y\\_construccion\\_sostenibles](https://www.researchgate.net/publication/277269104_Arquitectura_y_construccion_sostenibles)
- Afroughsabet, V., Biolzi, L., & Monteiro, P. (2018). The effect of steel and polypropylene fibers on the chloride diffusivity and drying shrinkage of high-strength concrete. En *Composites Part B: Engineering* (págs. 84-96). Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359836817302858>
- Ahmad, A., Adil, M., Khalil, A., & Rahman, M. (2021). Mechanical properties and durability of boardcrete blocks prepared from recycled cardboard. *Journal of Building Engineering*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101644>
- American Concrete Institute. (2010). *Guide for Structural Lightweight-Aggregate Concrete*.
- Ardanuy, M., Claramunt, J., & Toledo, R. (2015). Cellulosic fiber reinforced cement-based composites: A review of recent research. *Construction and Building Materials*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061815000550?via%3Dihub>
- Barriga, E., & Bernardo, J. (2016). *Aplicación y estudio de las propiedades de las celulosas recicladas obtenidas del papel periódico como una adición para el concreto*. Tesis para optar por el Título de Ingeniero Civil, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Facultad de Ingeniería, Lima.
- Bentchikou, M., Guidoum, A., Scrivener, K., Silhadi, K., & Hanini, S. (2012). Effect of recycled cellulose fibres on the properties of lightweight cement composite matrix. *Construction and Building Materials*, 451-456. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061812001766>
- Delcasse, M., Rahul, V., Abhilash, C., Pavan, M., & Gangadhar. (2017). Papercrete Bricks - An Alternative Sustainable Building Material. *Int. Journal of Engineering Research and Application*, 09-14. Obtenido de [https://www.ijera.com/papers/Vol7\\_issue3/Part-6/B0703060914.pdf](https://www.ijera.com/papers/Vol7_issue3/Part-6/B0703060914.pdf)

- Environmental Protection Agency. (2021). *Stormwater Best Management Practice - Permeable Pavements*. Obtenido de <https://www.epa.gov/system/files/documents/2021-11/bmp-permeable-pavements.pdf>
- Fernando, S., Gunasekara, C., Shahpasandi, A., Nguyen, K., Sofi, M., Setunge, S., . . . Rahman, T. (2023). *Sustainable Cement Composite Integrating Waste Cellulose Fibre: A Comprehensive Review*. University of Melbourne, School of Engineering. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/polym15030520>
- Girosalut. (2024). *Girosalut*. Obtenido de <https://girosalut.org/los-3-pilares-del-desarrollo-sostenible/>
- Gómez, M. (2011). *Diseño Estructural de Edificios Altos Tipo Torre Empleando Concreto de Alta Resistencia*. UNAM, Facultad de Ingeniería. Obtenido de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/474/5/A5.pdf>
- Hamada, H., Al-Attar, A., Abed, F., Beddu, S., Humada, A., Majdi, A., . . . Thomas, B. (2024). Enhancing sustainability in concrete construction: A comprehensive review of plastic waste as an aggregate material. *Sustainable Materials and Technologies*. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214993724000575>
- Hospodarova, V., Stevulova, N., Briancin, J., & Kostelanska, K. (2018). Investigation of Waste Paper Cellulosic Fibers Utilization into Cement Based Building Materials. *MDPI*.
- Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., & Panarese, W. C. (2002). *Design and Control of Concrete Mixtures*. Portland Cement Association.
- Malhotra, V. (2002). Sustainable Development and Concrete Technology. *ACI Concrete International*. Obtenido de <https://www.concrete.org/publications/internationalconcreteabstractsportal.aspx?m=details&ID=12127>
- Mardani, A., Ngoc, K., & Takafumi, N. (2024). *Hybrid Environmentally Friendly Method for RCA Concrete Quality Improvement*. Seoul. Obtenido de <https://ijcsm.springeropen.com/>
- Marín, L., & Ríos, M. (2021). Análisis ambiental asociado a la explotación de canteras de agregados pétreos en la carretera Iquitos-Nauta, cantera Sanjurjo, distrito de San Juan Bautista, provincia de Maynas, departamento de Loreto. San Juan Bautista Loreto, Maynas, Perú.
- Masías, K. (2018). *Resistencia a la flexión y tracción en el concreto usando ladrillo triturado como agregado grueso*. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Obtenido de <https://pirhua.udep.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/73ecf5f4-741c-4908-900d-6d74976b0327/content>

- Mehta, K., & Monteiro, P. (2014). *Hormigón: microestructura, propiedades y materiales*. McGraw-Hill Education.
- Mimbela Orderique, F., Muñoz Perez, S., & Rodríguez Lafitte, E. (2021). *Uso de ladrillos triturados en concreto: una revisión literaria*. Revista Politécnica. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/6078/607869210006/html/>
- Muñoz, S., Álvaro, C., Caruajulca, A., & Oscar, H. (2022). Propiedades físicas y mecánicas del concreto fabricado con agregado reciclado: Una revisión literaria. *Respuestas*, 38-56. Obtenido de <https://revistas.ufps.edu.co/index.php/respuestas/article/view/3081/5196>
- Muñoz, S., Vidaurre, J., Asenjo, J., & Gavidia, R. (2021). El uso del caucho de neumáticos triturados y aplicados al concreto. *Talentos*, 36-51. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8551297>
- Naciones Unidas. (2022). *Impacto ambiental de la industria de la construcción*. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/climate-change/>
- Najmi, A., Mariyana, A., Shek, P., & Nurizat, Z. (2020). *Hardened properties of concrete with different proportion of crumb rubber and fly ash*. Malasia: IOP Conference Series: Material Science and Engineering.
- Neville, A. (2011). *Propiedades del hormigón*. Pearson Education Limited.
- Pacheco, C., Fuentes, L., Sánchez, É., & Rondón, H. (2017). Residuos de construcción y demolición (RCD), una perspectiva de aprovechamiento para la ciudad de Barranquilla desde su modelo de gestión. *Ingeniería y Desarrollo*, 533-555. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/852/85252030015/html/>
- Pérez. (2009). *Estudio experimental de concretos permeables con agregados andesíticos*. Tesis para Maestro de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, México D.F. Obtenido de [http://132.248.9.195/ptd2009/agosto/0647494/0647494\\_A1.pdf](http://132.248.9.195/ptd2009/agosto/0647494/0647494_A1.pdf)
- Pérez, L., & Zamora, H. (2020). *Diseño de bloques de concreto modificados con fibras de plástico reciclado para la reducción de cargas en edificaciones*. Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Tarapoto. Obtenido de [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/51339/P%c3%a9rez\\_PLL-Zamora\\_FHJ-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/51339/P%c3%a9rez_PLL-Zamora_FHJ-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- PSI Concreto. (22 de enero de 2021). Obtenido de [https://psiconcreto.com/concreto-de-alta-resistencia/#:~:text=El%20concreto%20de%20alta%20resistencia%20es%20un%20tipo%20de%20concreto,o%2040%20megapascuales%20\(MPa\).](https://psiconcreto.com/concreto-de-alta-resistencia/#:~:text=El%20concreto%20de%20alta%20resistencia%20es%20un%20tipo%20de%20concreto,o%2040%20megapascuales%20(MPa).)

- Ramos, V. (2023). *Ciclón Yaku: la caída del 40% en las agroexportaciones amenaza con elevar la inflación*. Punto Seguido - UPC. Obtenido de <https://puntoseguido.upc.edu.pe/ciclon-yaku-la-caida-del-40-en-las-agroexportaciones-amenaza-con-elevar-la-inflacion/>
- Ritzawaty, M., & A. Naser, A. (2008). Concrete mix with wastepaper. *2nd International conference on built environment in developing countries (ICBEDC 2008)*. Obtenido de [https://eprints.usm.my/25137/1/BUILDING\\_ENGINEERING\\_AND\\_CONSTRUCTION\\_6.pdf](https://eprints.usm.my/25137/1/BUILDING_ENGINEERING_AND_CONSTRUCTION_6.pdf)
- Rodgers, L. (2018). La enorme fuente de emisiones de CO2 que está por todas partes y que quizás no conocías. *BBC News*. Obtenido de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-46594783>
- Rojas, J. (2017). *Estudio experimental para incrementar la resistencia de un concreto  $f'c= 210$  kg/cm<sup>2</sup> adicionando un porcentaje de vidrio sólido cálcico*. Tesis de pregrado, Universidad Privada Antenor Orrego.
- Sangrutsamee, V., Srichandr, P., & Poolthong, N. (2012). *e-Pulped Waste Paper-Based Composite Building Materials with Low Thermal Conductivity*. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*. Obtenido de <https://www.tandfonline.com/doi/epdf/10.3130/jaabe.11.147?needAccess=true>
- Segura Terrones, L., Siguenza Abanto, R., Solar Jara, M., & Zamora Mondragón, J. (2022). *Efecto del uso de vidrio reciclado en el diseño de concreto*. Universidad y Sociedad.
- Shen, L., & Tam, V. (2002). Implementation of environmental management in the Hong Kong construction industry. *International Journal of Project Management*, 535-543. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263786301000540>
- Silva, Y. (29 de Noviembre de 2023). Pasos para la sustentabilidad y sostenibilidad en la construcción con hormigón. (V. Moraga, Entrevistador) Obtenido de <https://centrohormigon.uc.cl/actualidad/reportajes/779-pasos-para-la-sustentabilidad-y-sostenibilidad-en-la-construccion-con-hormigon>
- Singh, B., & Singh, S. (2020). *Flexural fatigue strength prediction of self compacting concrete made with recycled concrete aggregates and blended cements*. *Construction and Buildings Materials*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061820322388?via%3Dihub>
- Sirishantha, U., & Rathnayake, U. (2017). *Sustainable urban drainage systems (SUDS) – What it is and where do we stand today?* Khon Kaen University, Faculty of Engineering.

- Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/326624217\\_Sustainable\\_urban\\_drainage\\_systems\\_SUDS\\_-\\_What\\_it\\_is\\_and\\_where\\_do\\_we\\_stand\\_today](https://www.researchgate.net/publication/326624217_Sustainable_urban_drainage_systems_SUDS_-_What_it_is_and_where_do_we_stand_today)
- Solahuddin, B., & Yahaya, F. (2021). Effect of Shredded Waste Paper on Properties of Concrete. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Putrajaya: IOP Science. Obtenido de <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/682/1/012006>
- Stevulova, N., Vaclavick, V., Hospodarova, V., & Dvorský, T. (2021). Recycled Cellulose Fiber Reinforced Plaster. *Materials*.
- Tennis, P., Leming, M., & Akers, D. (2004). *Pervious Concrete Pavements*. Portland Cement Association. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/242722509\\_Pervious\\_Concrete\\_Pavements](https://www.researchgate.net/publication/242722509_Pervious_Concrete_Pavements)
- UNACEM. (2023). *Reporte Integrado 2022*. Lima. Obtenido de <https://unacem.pe/wp-content/uploads/2023/07/Reporte-integrado-2022.pdf>
- Vaicekauskienė, V., & Nagrockienė, D. (2024). The effect of cellulose fiber on the properties and structure of hardened cement paste. Obtenido de <https://doi.org/10.13168/cs.2024.0022>
- Vargas, D. (2016). *Reutilización de vidrio plano como agregado fino en la elaboración de morteros de cemento y concretos*. Tesis de Pregrado, Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Anexos



## Anexo 1. Resultados del concreto endurecido (compresión y tracción)


### 1. Resistencia a la compresión


#### a) Mezcla patrón

Identificación del espécimen	Fecha de moldeo	Fecha de ensayo	Edad (días)	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga máxima (kg)	Resistencia de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia especificada (kg/cm <sup>2</sup> )
Cubo mezcla - Patrón	5/07/2023	12/07/2023	7	26.52	3967	150	-
Cubo mezcla - Patrón	5/07/2023	12/07/2023	7	26.52	4073	154	-
Cubo mezcla - Patrón	5/07/2023	12/07/2023	7	26.52	4250	160	-
Cubo mezcla - Patrón	5/07/2023	2/08/2023	28	26.52	5240	198	-
Cubo mezcla - Patrón	5/07/2023	2/08/2023	28	26.52	5630	212	-
Cubo mezcla - Patrón	5/07/2023	2/08/2023	28	26.52	5870	221	-

**Observaciones:** Empleó NTP 334.051 como referencia.



Realizó el ensayo : Téc. Estiwar Campos E.  
 Presenció el ensayo

  
 Gaby Ruiz Petro  
 Ingeniero Civil  
 CIP 4691  
 Responsable



EL LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.

## b) Mezcla con reemplazo en volumen de papel en forma de fibra de celulosa

	<b>UNIVERSIDAD DE PIURA</b> <b>ENSAYOS EN MORTERO EN CUBOS DE 50,0 mm x 50,0mm</b> LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN																																																														
	<b>Orden de servicio N°</b> <b>Informe N°</b>	: 26781 : 240412																																																													
<b>Fecha de recepción</b> <b>Fecha de ensayo</b> <b>Fecha de emisión</b>	: 07/11/2023 : Según lo detallado en el cuadro de resultados : 03/05/2024																																																														
<b>EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:</b>																																																															
<table border="1"> <tr> <td><b>Solicitante</b></td> <td colspan="2">: LUIS FELIPE AYALA TUME / CESAR LUIS SÁNCHEZ SANJINES</td> </tr> <tr> <td><b>Tesis</b></td> <td colspan="2">: Evaluación del uso de bolsa de cemento como agregado en mortero</td> </tr> <tr> <td><b>Ubicación</b></td> <td colspan="2">: Lemc - Udep - Piura</td> </tr> <tr> <td><b>Muestreo realizado por</b></td> <td colspan="2">: El solicitante</td> </tr> <tr> <td><b>Resistencia especificada</b></td> <td colspan="2">: -----</td> </tr> <tr> <td><b>Fecha de moldeo</b></td> <td colspan="2">: 06/07/2023</td> </tr> </table>			<b>Solicitante</b>	: LUIS FELIPE AYALA TUME / CESAR LUIS SÁNCHEZ SANJINES		<b>Tesis</b>	: Evaluación del uso de bolsa de cemento como agregado en mortero		<b>Ubicación</b>	: Lemc - Udep - Piura		<b>Muestreo realizado por</b>	: El solicitante		<b>Resistencia especificada</b>	: -----		<b>Fecha de moldeo</b>	: 06/07/2023																																												
<b>Solicitante</b>	: LUIS FELIPE AYALA TUME / CESAR LUIS SÁNCHEZ SANJINES																																																														
<b>Tesis</b>	: Evaluación del uso de bolsa de cemento como agregado en mortero																																																														
<b>Ubicación</b>	: Lemc - Udep - Piura																																																														
<b>Muestreo realizado por</b>	: El solicitante																																																														
<b>Resistencia especificada</b>	: -----																																																														
<b>Fecha de moldeo</b>	: 06/07/2023																																																														
<b>RESULTADOS:</b>																																																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Identificación del espécimen</th> <th>Fecha de moldeo</th> <th>Fecha de ensayo</th> <th>Edad (días)</th> <th>Area (cm<sup>2</sup>)</th> <th>Carga máxima (kg)</th> <th>Resistencia de rotura (kg/cm<sup>2</sup>)</th> <th>Resistencia especificada (kg/cm<sup>2</sup>)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10% R. en V. de pulpa de papel</td> <td>6/07/2023</td> <td>13/07/2023</td> <td>7</td> <td>27.04</td> <td>3588</td> <td>133</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>10% R. en V. de pulpa de papel</td> <td>6/07/2023</td> <td>13/07/2023</td> <td>7</td> <td>27.04</td> <td>3696</td> <td>137</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>10% R. en V. de pulpa de papel</td> <td>6/07/2023</td> <td>13/07/2023</td> <td>7</td> <td>27.04</td> <td>3444</td> <td>127</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>10% R. en V. de pulpa de papel</td> <td>6/07/2023</td> <td>3/08/2023</td> <td>28</td> <td>26.52</td> <td>5370</td> <td>202</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>10% R. en V. de pulpa de papel</td> <td>6/07/2023</td> <td>3/08/2023</td> <td>28</td> <td>26.52</td> <td>4690</td> <td>177</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>10% R. en V. de pulpa de papel</td> <td>6/07/2023</td> <td>3/08/2023</td> <td>28</td> <td>27.04</td> <td>4710</td> <td>174</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>								Identificación del espécimen	Fecha de moldeo	Fecha de ensayo	Edad (días)	Area (cm <sup>2</sup> )	Carga máxima (kg)	Resistencia de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia especificada (kg/cm <sup>2</sup> )	10% R. en V. de pulpa de papel	6/07/2023	13/07/2023	7	27.04	3588	133	-	10% R. en V. de pulpa de papel	6/07/2023	13/07/2023	7	27.04	3696	137	-	10% R. en V. de pulpa de papel	6/07/2023	13/07/2023	7	27.04	3444	127	-	10% R. en V. de pulpa de papel	6/07/2023	3/08/2023	28	26.52	5370	202	-	10% R. en V. de pulpa de papel	6/07/2023	3/08/2023	28	26.52	4690	177	-	10% R. en V. de pulpa de papel	6/07/2023	3/08/2023	28	27.04	4710	174	-
Identificación del espécimen	Fecha de moldeo	Fecha de ensayo	Edad (días)	Area (cm <sup>2</sup> )	Carga máxima (kg)	Resistencia de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia especificada (kg/cm <sup>2</sup> )																																																								
10% R. en V. de pulpa de papel	6/07/2023	13/07/2023	7	27.04	3588	133	-																																																								
10% R. en V. de pulpa de papel	6/07/2023	13/07/2023	7	27.04	3696	137	-																																																								
10% R. en V. de pulpa de papel	6/07/2023	13/07/2023	7	27.04	3444	127	-																																																								
10% R. en V. de pulpa de papel	6/07/2023	3/08/2023	28	26.52	5370	202	-																																																								
10% R. en V. de pulpa de papel	6/07/2023	3/08/2023	28	26.52	4690	177	-																																																								
10% R. en V. de pulpa de papel	6/07/2023	3/08/2023	28	27.04	4710	174	-																																																								
<b>Observaciones:</b> Empleó NTP 334.051 como referencia.																																																															
<b>Realizó el ensayo</b> <b>Presenció el ensayo</b>	: Téc. Estiwar Campos E.																																																														
						 Gaby Ruiz Retoza Ingeniero Civil CIP 46912 Responsable																																																									
El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.																																																															



**UNIVERSIDAD DE PIURA**  
**ENSAYOS EN MORTERO EN CUROS DE 50,0 mm x 50,0mm**  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Orden de servicio N° : 26781  
 Informe N° : 240413  
 Fecha de recepción : 07/11/2023  
 Fecha de ensayo : Según lo detallado en el cuadro de resultados  
 Fecha de emisión : 03/05/2024

**EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:**

Solicitante	: LUIS FELIPE AYALA TUME / CESAR LUIS SÁNCHEZ SANJINES
Tesis	: Evaluación del uso de bolsa de cemento como agregado en mortero
Ubicación	: Lemc - Udep - Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Resistencia especificada	: -----
Fecha de moldeo	: 10/07/2023

**RESULTADOS:**

Identificación del espécimen	Fecha de moldeo	Fecha de ensayo	Edad (días)	Area (cm <sup>2</sup> )	Carga máxima (kg)	Resistencia de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia especificada (kg/cm <sup>2</sup> )
15% R. en V. de pulpa de papel	10/07/2023	17/07/2023	7	27.04	3215	119	-
15% R. en V. de pulpa de papel	10/07/2023	17/07/2023	7	26.52	3329	126	-
15% R. en V. de pulpa de papel	10/07/2023	17/07/2023	7	26.52	3470	131	-
15% R. en V. de pulpa de papel	10/07/2023	7/08/2023	28	26.01	4576	176	-
15% R. en V. de pulpa de papel	10/07/2023	7/08/2023	28	26.01	4685	180	-
15% R. en V. de pulpa de papel	10/07/2023	7/08/2023	28	26.01	4417	170	-

Observaciones: Empleó NTP 334.051 como referencia.

Realizó el ensayo : Téc. Estiwar Campos E.  
 Presenció el ensayo

*Gaby Ruiz Patrozo*  
 Gaby Ruiz Patrozo  
 Ingeniero Civil  
 CIP 46912  
 Responsable

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.



**UNIVERSIDAD DE PIURA**  
**ENSAYOS EN MORTERO EN CUBOS DE 50.0 mm x 50.0 mm**  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

**Orden de servicio N°** : 26781  
**Informe N°** : 240414

**Fecha de recepción** : 07/11/2023  
**Fecha de ensayo** : Según lo detallado en el cuadro de resultados  
**Fecha de emisión** : 03/05/2024

**EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:**

<b>Solicitante</b>	: LUIS FELIPE AYALA TUME / CESAR LUIS SÁNCHEZ SANJINES
<b>Tesis</b>	: Evaluación del uso de bolsa de cemento como agregado en mortero
<b>Ubicación</b>	: Lemc - Udep - Piura
<b>Muestreo realizado por</b>	: El solicitante
<b>Resistencia especificada</b>	: -----
<b>Fecha de moldeo</b>	: 11/07/2023

**RESULTADOS:**

Identificación del espécimen	Fecha de moldeo	Fecha de ensayo	Edad (días)	Area (cm <sup>2</sup> )	Carga máxima (kg)	Resistencia de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia especificada (kg/cm <sup>2</sup> )
20% R. en V. de pulpa de papel	11/07/2023	18/07/2023	7	27.04	3044	113	-
20% R. en V. de pulpa de papel	11/07/2023	18/07/2023	7	26.01	3305	127	-
20% R. en V. de pulpa de papel	11/07/2023	18/07/2023	7	26.52	3238	122	-
20% R. en V. de pulpa de papel	11/07/2023	8/08/2023	28	26.01	4368	168	-
20% R. en V. de pulpa de papel	11/07/2023	8/08/2023	28	26.01	4656	179	-
20% R. en V. de pulpa de papel	11/07/2023	8/08/2023	28	26.01	4585	176	-

**Observaciones:** Empleó NTP 334.051 como referencia.

**Realizó el ensayo** : Téc. Estiwar Campos E.  
**Presenció el ensayo**

*Gaby Ruiz Petrozzi*  
 Gaby Ruiz Petrozzi  
 Ingeniero Civil  
 CIP 46912  
 Responsable

**UNIVERSIDAD DE PIURA**  
**LEMC**  
 LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.



UNIVERSIDAD DE PIURA  
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN  
**ENSAYOS EN MORTERO EN CUBOS DE 60,0 mm x 60,0mm**

Orden de servicio N° : 26781  
Informe N° : 240415

Fecha de recepción : 07/11/2023  
Fecha de ensayo : Según lo detallado en el cuadro de resultados  
Fecha de emisión : 03/05/2024

**EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:**

Solicitante	: LUIS FELIPE AYALA TUME / CESAR LUIS SÁNCHEZ SANJINES
Tesis	: Evaluación del uso de bolsa de cemento como agregado en mortero
Ubicación	: Lemc - Udep - Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Resistencia especificada	: -----
Fecha de moldeo	: 12/07/2023

**RESULTADOS:**

Identificación del espécimen	Fecha de moldeo	Fecha de ensayo	Edad (días)	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga máxima (kg)	Resistencia de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia especificada (kg/cm <sup>2</sup> )
30% R. en V. de pulpa de papel	12/07/2023	19/07/2023	7	25.50	2955	116	-
30% R. en V. de pulpa de papel	12/07/2023	19/07/2023	7	25.50	2750	108	-
30% R. en V. de pulpa de papel	12/07/2023	19/07/2023	7	26.01	3255	125	-
30% R. en V. de pulpa de papel	12/07/2023	9/08/2023	28	25.50	4451	175	-
30% R. en V. de pulpa de papel	12/07/2023	9/08/2023	28	26.52	4478	169	-
30% R. en V. de pulpa de papel	12/07/2023	9/08/2023	28	26.52	4029	152	-

Observaciones: Empleó NTP 334.051 como referencia.

Realizó el ensayo : Téc. Estiwar Campos E.  
Presenció el ensayo

*Gaby Ruiz Petrozzi*  
Gaby Ruiz Petrozzi  
Ingeniero Civil  
CIP 46912  
Responsable

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.



UNIVERSIDAD DE PIURA  
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN  
**ENSAYOS EN MORTERO EN CUBOS DE 50.0 mm x 50.0 mm**

Orden de servicio N° : 26781  
Informe N° : 240416

Fecha de recepción : 07/11/2023  
Fecha de ensayo : Según lo detallado en el cuadro de resultados  
Fecha de emisión : 03/05/2024

**EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:**

Solicitante	: LUIS FELIPE AYALA TUME / CESAR LUIS SÁNCHEZ SANJINES
Tesis	: Evaluación del uso de bolsa de cemento como agregado en mortero
Ubicación	: Lemc - Udep - Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Resistencia especificada	: -----
Fecha de moldeo	: 13/07/2023

**RESULTADOS:**

Identificación del espécimen	Fecha de moldeo	Fecha de ensayo	Edad (días)	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga máxima (kg)	Resistencia de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia especificada (kg/cm <sup>2</sup> )
50% R. en V. de pulpa de papel	13/07/2023	20/07/2023	7	26.52	2710	102	-
50% R. en V. de pulpa de papel	13/07/2023	20/07/2023	7	26.52	3015	114	-
50% R. en V. de pulpa de papel	13/07/2023	20/07/2023	7	26.00	2945	113	-
50% R. en V. de pulpa de papel	13/07/2023	10/08/2023	28	26.01	3972	153	-
50% R. en V. de pulpa de papel	13/07/2023	10/08/2023	28	26.01	4293	165	-
50% R. en V. de pulpa de papel	13/07/2023	10/08/2023	28	26.01	4070	156	-

Observaciones: Empleó NTP 334.051 como referencia.

Realizó el ensayo : Téc. Estiwar Campos E.  
Presenció el ensayo

*Gaby Ruiz Retros*  
UNIVERSIDAD DE PIURA  
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN  
Gaby Ruiz Retros, E.M.C.  
Ingeniero Civil  
CIP 46912  
Responsable

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.

## c) Mezcla con reemplazo en volumen de papel picado



UNIVERSIDAD DE PIURA  
**ENSAYOS EN MORTERO EN CUBOS DE 50,0 mm x 50,0 mm**

Orden de servicio N° : 26781  
 Informe N° : 240417  
 Fecha de recepción : 07/11/2023  
 Fecha de ensayo : Según lo detallado en el cuadro de resultados  
 Fecha de emisión : 03/05/2024

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: LUIS FELIPE AYALA TUME / CESAR LUIS SÁNCHEZ SANJINES
Tesis	: Evaluación del uso de bolsa de cemento como agregado en mortero
Ubicación	: Lemc - Udep - Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Resistencia especificada	: -----
Fecha de moldeo	: 17/07/2023

RESULTADOS:

Identificación del espécimen	Fecha de moldeo	Fecha de ensayo	Edad (días)	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga máxima (kg)	Resistencia de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia especificada (kg/cm <sup>2</sup> )
10% R. en V. de papel picado	17/07/2023	24/07/2023	7	27.04	2132	79	-
10% R. en V. de papel picado	17/07/2023	24/07/2023	7	27.04	2132	79	-
10% R. en V. de papel picado	17/07/2023	24/07/2023	7	26.52	2173	82	-
10% R. en V. de papel picado	17/07/2023	14/08/2023	28	26.01	3155	121	-
10% R. en V. de papel picado	17/07/2023	14/08/2023	28	26.01	2985	115	-
10% R. en V. de papel picado	17/07/2023	14/08/2023	28	26.01	2967	114	-

Observaciones: Empleó NTP 334.051 como referencia.

Realizó el ensayo : Téc. Estiwar Campos E.  
 Presenció el ensayo

*Gaby Ruiz*  
 Gaby Ruiz Petros  
 Ingeniero Civil  
 CIP 48012  
 Responsable

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.



UNIVERSIDAD DE PIURA  
**ENSAYOS EN MORTERO EN CUBOS DE 50,0 mm x 50,0mm.**  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Orden de servicio N° : 26781  
 Informe N° : 240418  
 Fecha de recepción : 07/11/2023  
 Fecha de ensayo : Según lo detallado en el cuadro de resultados  
 Fecha de emisión : 03/05/2024

**EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:**

Solicitante	: LUIS FELIPE AYALA TUME / CESAR LUIS SÁNCHEZ SANJINES
Tesis	: Evaluación del uso de bolsa de cemento como agregado en mortero
Ubicación	: Lemc - Udep - Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Resistencia especificada	: -----
Fecha de moldeo	: 18/07/2023

**RESULTADOS:**

Identificación del espécimen	Fecha de moldeo	Fecha de ensayo	Edad (días)	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga máxima (kg)	Resistencia de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia especificada (kg/cm <sup>2</sup> )
15% R. en V. de papel picado	18/07/2023	25/07/2023	7	27.04	1788	66	-
15% R. en V. de papel picado	18/07/2023	25/07/2023	7	26.01	2119	81	-
15% R. en V. de papel picado	18/07/2023	25/07/2023	7	26.52	1853	70	-
15% R. en V. de papel picado	18/07/2023	15/08/2023	28	27.04	2816	104	-
15% R. en V. de papel picado	18/07/2023	15/08/2023	28	26.52	2651	100	-
15% R. en V. de papel picado	18/07/2023	15/08/2023	28	25.00	2536	101	-

Observaciones: Emplé NTP 334.051 como referencia.

Realizó el ensayo : Téc. Estiwar Campos E.  
 Presenció el ensayo

  
 Gaby Ruiz Petrozzi  
 Ingeniero Civil  
 CIP 46912  
 Responsable



El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.

## 2. Resistencia a la tracción

### a) Mezcla patrón



**UNIVERSIDAD DE PIURA**  
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

**MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL MORTERO  
EN VIGAS SIMPLEMENTE APOYADAS CON CARGA EN EL CENTRO DEL TRAMO**  
Norma: NTP 339.079-2001

Orden de servicio N° : 26781  
Informe N° : 240419

Fecha de recepción : 07/11/2023  
Fecha de ensayo : Según lo detallado en el cuadro de resultados  
Fecha de emisión : 08/05/2024

**EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:**

Solicitante	: LUIS FELIPE AYALA TUME / CESAR LUIS SÁNCHEZ SANJINES
Tesis	: Evaluación del uso de bolsa de cemento como agregado en mortero
Muestras	: Vigas de 4.0 x 4.0 x 16.0 cm
Ubicación	: Lemc - Udep - Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Resistencia especificada	: -----
Fecha de moldeo	: 05/07/2023

**RESULTADOS:**

Identificación del espécimen	Fecha de moldeo	Fecha de ensayo	Edad (días)	L (cm)	b(cm)	h(cm)	P (kg)	Mr (kg/cm <sup>2</sup> )
Viga patrón	05/07/23	12/07/23	7	10	4	4	297	69.61
Viga patrón	05/07/23	12/07/23	7	10	4	4	294	68.91
Viga patrón	05/07/23	12/07/23	7	10	4	4	292	68.44
Viga patrón	05/07/23	02/08/23	28	10	4	4	340	79.69
Viga patrón	05/07/23	02/08/23	28	10	4	4	330	77.34
Viga patrón	05/07/23	02/08/23	28	10	4	4	300	70.31

**Mr=3PL/2bh<sup>2</sup>**

**En donde:**  
Mr: Es el módulo de rotura, en kg/cm<sup>2</sup>  
P: Es la carga máxima de rotura en kg  
L: Es la luz libre entre apoyos, cm.  
b: Es el ancho promedio de la viga en la sección de falla, en cm.  
h: Es la altura promedio de la viga en la sección de falla, en cm.

**Realizó el ensayo** : Téc. Estiwar Campos E.  
**Presenció el ensayo**


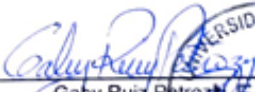



Gaby Ruiz Petricola, M.C.  
Ingeniero Civil  
CIP 46912  
Responsable



El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.

## b) Mezcla con reemplazo en volumen de papel en forma de fibra de celulosa

		<b>UNIVERSIDAD DE PIURA</b> LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN							
		<b>METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL MORTERO EN VIGAS SIMPLEMENTE APOYADAS CON CARGA EN EL CENTRO DEL TRAMO</b> Norma: NTP 339.079-2001							
Orden de servicio N°	:	26781							
Informe N°	:	240420							
Fecha de recepción	:	07/11/2023							
Fecha de ensayo	:	Según lo detallado en el cuadro de resultados							
Fecha de emisión	:	08/05/2024							
<b>EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:</b>									
Solicitante	:	LUIS FELIPE AYALA TUME / CESAR LUIS SÁNCHEZ SANJINES							
Tesis	:	Evaluación del uso de bolsa de cemento como agregado en mortero							
Muestras	:	Vigas de 4.0 x 4.0 x 16.0 cm							
Ubicación	:	Lemc - Udep - Piura							
Muestreo realizado por	:	El solicitante							
Resistencia especificada	:	-----							
Fecha de moldeo	:	06/07/2023							
<b>RESULTADOS:</b>									
Identificación del espécimen	Fecha de moldeo	Fecha de ensayo	Edad (días)	L (cm)	b(cm)	h(cm)	P (kg)	Mr (kg/cm <sup>2</sup> )	
10% R. en V. de pulpa de papel	06/07/23	13/07/23	7	10	4	4	250	58.59	
10% R. en V. de pulpa de papel	06/07/23	13/07/23	7	10	4	4	280	65.63	
10% R. en V. de pulpa de papel	06/07/23	13/07/23	7	10	4	4	270	63.28	
10% R. en V. de pulpa de papel	06/07/23	03/08/23	28	10	4	4	279	65.39	
10% R. en V. de pulpa de papel	06/07/23	03/08/23	28	10	4	4	320	75.00	
10% R. en V. de pulpa de papel	06/07/23	03/08/23	28	10	4	4	286	67.03	
<b>Mr=3PL/2bh<sup>2</sup></b>									
<b>En donde:</b>									
Mr: Es el módulo de rotura, en kg/cm <sup>2</sup>									
P: Es la carga máxima de rotura en kg									
L: Es la luz libre entre apoyos, cm.									
b: Es el ancho promedio de la viga en la sección de falla, en cm.									
h: Es la altura promedio de la viga en la sección de falla, en cm.									
Realizó el ensayo	:	Téc. Estiwar Campos E.							
Presenció el ensayo	:								
					 Gaby Ruiz Petrozzi Ingeniero Civil CIP 46912 Responsable				
									
El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.									



UNIVERSIDAD DE PIURA  
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

**MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL MORTERO  
EN VIGAS SIMPLEMENTE APOYADAS CON CARGA EN EL CENTRO DEL TRAMO**

Norma: NTP 339.079-2001

Orden de servicio N° : 26781  
Informe N° : 240421  
Fecha de recepción : 07/11/2023  
Fecha de ensayo : Según lo detallado en el cuadro de resultados  
Fecha de emisión : 08/05/2024

**EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:**

Solicitante	: LUIS FELIPE AYALA TUME / CESAR LUIS SÁNCHEZ SANJINES
Tesis	: Evaluación del uso de bolsa de cemento como agregado en mortero
Muestras	: Vigas de 4.0 x 4.0 x 16.0 cm
Ubicación	: Lemc - Udep - Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Resistencia especificada	: -----
Fecha de moldeo	: 10/07/2023

**RESULTADOS:**

Identificación del espécimen	Fecha de moldeo	Fecha de ensayo	Edad (días)	L (cm)	b(cm)	h(cm)	P (kg)	Mr (kg/cm <sup>2</sup> )
15% R. en V. de pulpa de papel	10/07/23	17/07/23	7	10	4	4	220	52.88
15% R. en V. de pulpa de papel	10/07/23	17/07/23	7	10	4	4	300	70.31
15% R. en V. de pulpa de papel	10/07/23	17/07/23	7	10	4	4	250	58.59
15% R. en V. de pulpa de papel	10/07/23	07/08/23	28	10	4	4	290	67.97
15% R. en V. de pulpa de papel	10/07/23	07/08/23	28	10	4	4	260	60.94
15% R. en V. de pulpa de papel	10/07/23	07/08/23	28	10	4	4	280	65.63

$$Mr=3PL/2bh^2$$

**En donde:**

Mr: Es el módulo de rotura, en kg/cm<sup>2</sup>

P: Es la carga máxima de rotura en kg

L: Es la luz libre entre apoyos, cm.

b: Es el ancho promedio de la viga en la sección de falla, en cm.

h: Es la altura promedio de la viga en la sección de falla, en cm.

Realizó el ensayo : Téc. Estiwar Campos E.  
Presenció el ensayo

  
Gaby Ruiz Patrocin  
Ingeniero Civil  
CIP 46912  
Responsable

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.



UNIVERSIDAD DE PIURA  
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

**METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL MORTERO  
EN VIGAS SIMPLEMENTE APOYADAS CON CARGA EN EL CENTRO DEL TRAMO**  
Norma: NTP 339.079-2001

Orden de servicio N° : 26781  
Informe N° : 240422

Fecha de recepción : 07/11/2023  
Fecha de ensayo : Según lo detallado en el cuadro de resultados  
Fecha de emisión : 08/05/2024

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: LUIS FELIPE AYALA TUME / CESAR LUIS SÁNCHEZ SANJINES
Tesis	: Evaluación del uso de bolsa de cemento como agregado en mortero
Muestras	: Vigas de 4.0 x 4.0 x 16.0 cm
Ubicación	: Lemc - Udep - Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Resistencia especificada	: -----
Fecha de moldeo	: 11/07/2023

RESULTADOS:

Identificación del espécimen	Fecha de moldeo	Fecha de ensayo	Edad (días)	L (cm)	b(cm)	h(cm)	P (kg)	Mr (kg/cm <sup>2</sup> )
20% R. en V. de pulpa de papel	11/07/23	18/07/23	7	10	4	4	236	56.73
20% R. en V. de pulpa de papel	11/07/23	18/07/23	7	10	4	4	231	54.14
20% R. en V. de pulpa de papel	11/07/23	18/07/23	7	10	4	4	227	53.20
20% R. en V. de pulpa de papel	11/07/23	08/08/23	28	10	4	4	260	60.94
20% R. en V. de pulpa de papel	11/07/23	08/08/23	28	10	4	4	250	58.59
20% R. en V. de pulpa de papel	11/07/23	08/08/23	28	10	4	4	290	67.97

$$Mr=3PL/2bh^2$$

En donde:

Mr: Es el módulo de rotura, en kg/cm<sup>2</sup>  
P: Es la carga máxima de rotura en kg  
L: Es la luz libre entre apoyos, cm.  
b: Es el ancho promedio de la viga en la sección de falla, en cm.  
h: Es la altura promedio de la viga en la sección de falla, en cm.

Realizó el ensayo : Téc. Estiwar Campos E.  
Presenció el ensayo

  
Gaby Ruiz Petros W.C.  
Ingeniero Civil  
CIP 46912  
Responsable

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.



UNIVERSIDAD DE PIURA  
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

**MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL MORTERO  
EN VIGAS SIMPLEMENTE APOYADAS CON CARGA EN EL CENTRO DEL TRAMO**  
Norma: NTP 339.079-2001

Orden de servicio N° : 26781  
Informe N° : 240423  
Fecha de recepción : 07/11/2023  
Fecha de ensayo : Según lo detallado en el cuadro de resultados  
Fecha de emisión : 08/05/2024

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: LUIS FELIPE AYALA TUME / CESAR LUIS SÁNCHEZ SANJINES
Tesis	: Evaluación del uso de bolsa de cemento como agregado en mortero
Muestras	: Vigas de 4.0 x 4.0 x 16.0 cm
Ubicación	: Lemc - Udep - Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Resistencia especificada	: -----
Fecha de moldeo	: 12/07/2023

RESULTADOS:

Identificación del espécimen	Fecha de moldeo	Fecha de ensayo	Edad (días)	L (cm)	b(cm)	h(cm)	P (kg)	Mr (kg/cm <sup>2</sup> )
30% R. en V. de pulpa de papel	12/07/23	19/07/23	7	10	4	4	210	50.48
30% R. en V. de pulpa de papel	12/07/23	19/07/23	7	10	4	4	240	56.25
30% R. en V. de pulpa de papel	12/07/23	19/07/23	7	10	4	4	230	53.91
30% R. en V. de pulpa de papel	12/07/23	09/08/23	28	10	4	4	220	51.56
30% R. en V. de pulpa de papel	12/07/23	09/08/23	28	10	4	4	290	67.97
30% R. en V. de pulpa de papel	12/07/23	09/08/23	28	10	4	4	270	63.28

$$Mr=3PL/2bh^2$$

En donde:

Mr: Es el módulo de rotura, en kg/cm<sup>2</sup>

P: Es la carga máxima de rotura en kg

L: Es la luz libre entre apoyos, cm.

b: Es el ancho promedio de la viga en la sección de falla, en cm.

h: Es la altura promedio de la viga en la sección de falla, en cm.

Realizó el ensayo : Téc. Estiwar Campos E.

Presenció el ensayo

  
Gaby Ruiz Petrosi, L.E.M.C.  
Ingeniero Civil  
CIP 46912  
Responsable



El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.



UNIVERSIDAD DE PIURA  
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

**MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL MORTERO  
EN VIGAS SIMPLEMENTE APOYADAS CON CARGA EN EL CENTRO DEL TRAMO**  
Norma: NTP 339.079-2001

Orden de servicio N° : 26781  
Informe N° : 240424  
Fecha de recepción : 07/11/2023  
Fecha de ensayo : Según lo detallado en el cuadro de resultados  
Fecha de emisión : 08/05/2024

**EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:**

Solicitante	: LUIS FELIPE AYALA TUME / CESAR LUIS SÁNCHEZ SANJINES
Tesis	: Evaluación del uso de bolsa de cemento como agregado en mortero
Muestras	: Vigas de 4.0 x 4.0 x 16.0 cm
Ubicación	: Lemc - Udep - Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Resistencia especificada	: -----
Fecha de moldeo	: 13/07/2023

**RESULTADOS:**

Identificación del espécimen	Fecha de moldeo	Fecha de ensayo	Edad (días)	L (cm)	b(cm)	h(cm)	P (kg)	Mr (kg/cm <sup>2</sup> )
50% R. en V. de pulpa de papel	13/07/23	20/07/23	7	10	4	4	260	62.50
50% R. en V. de pulpa de papel	13/07/23	20/07/23	7	10	4	4	240	56.25
50% R. en V. de pulpa de papel	13/07/23	20/07/23	7	10	4	4	240	56.25
50% R. en V. de pulpa de papel	13/07/23	10/08/23	28	10	4	4	270	63.28
50% R. en V. de pulpa de papel	13/07/23	10/08/23	28	10	4	4	250	58.59
50% R. en V. de pulpa de papel	13/07/23	10/08/23	28	10	4	4	230	53.91

$$Mr=3PL/2bh^2$$

**En donde:**

- Mr: Es el módulo de rotura, en kg/cm<sup>2</sup>  
P: Es la carga máxima de rotura en kg  
L: Es la luz libre entre apoyos, cm.  
b: Es el ancho promedio de la viga en la sección de falla, en cm.  
h: Es la altura promedio de la viga en la sección de falla, en cm.



Realizó el ensayo : Téc. Estiwar Campos E.  
Presenció el ensayo

  
Gaby Ruiz Patrozo  
Ingeniero Civil  
CIP 46912  
Responsable



El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.

## c) Mezcla con reemplazo en volumen de papel picado

	<b>UNIVERSIDAD DE PIURA</b> LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN							
	<b>MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL MORTERO          EN VIGAS SIMPLEMENTE APOYADAS CON CARGA EN EL CENTRO DEL TRAMO</b> Norma: NTP 339.079-2001							
Orden de servicio N°	: 26781							
Informe N°	: 240425							
Fecha de recepción	: 07/11/2023							
Fecha de ensayo	: Según lo detallado en el cuadro de resultados							
Fecha de emisión	: 08/05/2024							
<b>EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:</b>								
Solicitante	: LUIS FELIPE AYALA TUME / CESAR LUIS SÁNCHEZ SANJINES							
Tesis	: Evaluación del uso de bolsa de cemento como agregado en mortero							
Muestras	: Vigas de 4.0 x 4.0 x 16.0 cm							
Ubicación	: Lemc - Udep - Piura							
Muestreo realizado por	: El solicitante							
Resistencia especificada	: -----							
Fecha de moldeo	: 17/07/2023							
<b>RESULTADOS:</b>								
Identificación del espécimen	Fecha de moldeo	Fecha de ensayo	Edad (días)	L (cm)	b(cm)	h(cm)	P (kg)	Mr (kg/cm <sup>2</sup> )
10% R. en V. de papel picado	17/07/23	24/07/23	7	10	4	4	222	53.37
10% R. en V. de papel picado	17/07/23	24/07/23	7	10	4	4	220	51.56
10% R. en V. de papel picado	17/07/23	24/07/23	7	10	4	4	219	51.33
10% R. en V. de papel picado	17/07/23	14/08/23	28	10	4	4	244	57.19
10% R. en V. de papel picado	17/07/23	14/08/23	28	10	4	4	264	61.88
10% R. en V. de papel picado	17/07/23	14/08/23	28	10	4	4	253	59.30
<b>Mr=3PL/2bh<sup>2</sup></b>								
<b>En donde:</b>								
Mr: Es el módulo de rotura, en kg/cm <sup>2</sup>								
P: Es la carga máxima de rotura en kg								
L: Es la luz libre entre apoyos, cm.								
b: Es el ancho promedio de la viga en la sección de falla, en cm.								
h: Es la altura promedio de la viga en la sección de falla, en cm.								
Realizó el ensayo	: Téc. Estiwar Campos E.							
Presenció el ensayo								
							 Gaby Ruiz Pérez Ingeniero Civil CIP 46912 Responsable	
El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.								



UNIVERSIDAD DE PIURA  
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

**MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL MORTERO  
EN VIGAS SIMPLEMENTE APOYADAS CON CARGA EN EL CENTRO DEL TRAMO**  
Norma: NTP 339.079-2001

Orden de servicio N° : 26781  
Informe N° : 240426  
Fecha de recepción : 07/11/2023  
Fecha de ensayo : Según lo detallado en el cuadro de resultados  
Fecha de emisión : 08/05/2024

**EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:**

Solicitante	: LUIS FELIPE AYALA TUME / CESAR LUIS SÁNCHEZ SANJINES
Tesis	: Evaluación del uso de bolsa de cemento como agregado en mortero
Muestras	: Vigas de 4.0 x 4.0 x 16.0 cm
Ubicación	: Lemc - Udep - Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Resistencia especificada	: -----
Fecha de moldeo	: 18/07/2023

**RESULTADOS:**

Identificación del espécimen	Fecha de moldeo	Fecha de ensayo	Edad (días)	L (cm)	b(cm)	h(cm)	P (kg)	Mr (kg/cm <sup>2</sup> )
15% R. en V. de papel picado	18/07/23	25/07/23	7	10	4	4	127	30.53
15% R. en V. de papel picado	18/07/23	25/07/23	7	10	4	4	149	34.92
15% R. en V. de papel picado	18/07/23	25/07/23	7	10	4	4	139	32.58
15% R. en V. de papel picado	18/07/23	15/08/23	28	10	4	4	193	45.23
15% R. en V. de papel picado	18/07/23	15/08/23	28	10	4	4	193	45.23
15% R. en V. de papel picado	18/07/23	15/08/23	28	10	4	4	177	41.48

$$Mr=3PL/2bh^2$$

**En donde:**

Mr: Es el módulo de rotura, en kg/cm<sup>2</sup>  
P: Es la carga máxima de rotura en kg  
L: Es la luz libre entre apoyos, cm.  
b: Es el ancho promedio de la viga en la sección de falla, en cm.  
h: Es la altura promedio de la viga en la sección de falla, en cm.

Realizó el ensayo : Téc. Estiwar Campos E.  
Presenció el ensayo

Gaby Ruiz Petroza  
Ingeniero Civil  
CIP 46912  
Responsable

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.

## Anexo 2. Ficha técnica de plastificante empleado Sikacem

CONSTRUYENDO CONFIANZA



## HOJA DE DATOS DEL PRODUCTO

## SikaCem® Plastificante

Aditivo plastificante y reductor de agua para morteros y hormigones

## DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

SikaCem® Plastificante es un aditivo líquido para elaborar morteros y hormigones fluidos. Reduce agua del concreto incrementando la resistencia; NO CONTIENE CLORUROS, de modo que no corroe los metales.

## USOS

SikaCem® Plastificante es recomendable para:

- Estructuras en general canales, diques, estructuras de fundación, columnas, vigas, tanques elementos prefabricados, losas, etc.)
- Cualquier tipo de estructura, cuando se desee aumentar las resistencias mecánicas o dar mayor fluidez al hormigón.

## CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

En el hormigón fresco:

- Mejora la trabajabilidad del hormigón (plastifica), facilitando su colocación y compactación.
- Permite una reducción en la cantidad de agua de amasado en un 15% aproximadamente, lo que se manifiesta en un aumento de las resistencias mecánicas del hormigón endurecido.
- Aumento de la cohesión interna en el hormigón fresco, tendiendo a evitar la segregación de los áridos.
- Disminuye la exudación.

En el hormigón endurecido:

- Posibilita un incremento de las resistencias mecánicas a la compresión del orden de más del 15%.
- Reduce la contracción.
- Aumenta la adherencia al acero.

## CERTIFICADOS / NORMAS

SikaCem® Plastificante cumple con la Norma ASTM C 494, tipo A y Tipo D

## INFORMACIÓN DEL PRODUCTO

Base Química	Mezcla de lignosulfonatos y polímeros orgánicos.
Empaques	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Envase PET x 4 L</li> <li>• Balde x 20 L</li> </ul>
Apariencia / Color	Líquido marrón oscuro
Vida Útil	1 año
Condiciones de Almacenamiento	En sus envases de origen, bien cerrados y no deteriorados, en lugares frescos y secos, a temperaturas entre + 5°C y + 30°C. Protegido del congelamiento, del calor excesivo y de la radiación solar directa.
Densidad	1.20 +/- 0.02

## INFORMACIÓN TÉCNICA

Guía de Vaciado de Concreto	Mezclar los materiales componentes del hormigón o mortero con parte del
-----------------------------	---

agua de mezclado, incorpore el contenido del DoyPack de SikaCem® Plastificante al pastón y complete con la menor cantidad de agua hasta lograr la fluidez requerida.

Para asegurar la homogeneidad del hormigón o mortero, se recomienda mezclar durante 3 minutos adicionales luego de incorporar todos los materiales componentes a la mezcladora.

Para mejorar el desempeño de morteros y hormigones se recomienda mantener la dosificación y proporción de los materiales componentes, Utilizar la menor cantidad de agua de mezclado hasta alcanzar la fluidez necesaria para la obra.

Cuidar que se cumplan las correctas condiciones de elaboración, colocación, compactación y curado.

La sobre-dosificación de SikaCem® Plastificante puede causar retardo de fragüe.

El desempeño de los aditivos pueden variar si se modifican los materiales componentes o sus cantidades.

---

## INFORMACIÓN DE APLICACIÓN

---

### Dosificación Recomendada

- Como plastificante: 250 mL por bolsa de cemento de 42.5 Kg.
  - Como superplastificante: hasta 500 mL por bolsa de cemento de 42.5 Kg.
- 

## NOTAS

Todos los datos técnicos recogidos en esta hoja técnica se basan en ensayos de laboratorio. Las medidas de los datos actuales pueden variar por circunstancias fuera de nuestro control.

## LIMITACIONES

Temperatura Ambiente +5°C mín. / +30°C máx.

## ECOLOGÍA, SALUD Y SEGURIDAD

Para información y asesoría referente al transporte, manejo, almacenamiento y disposición de productos químicos, los usuarios deben consultar la Hoja de Seguridad del Material actual, la cual contiene información médica, ecológica, toxicológica y otras relacionadas con la seguridad

## RESTRICCIONES LOCALES

Nótese que el desempeño del producto puede variar dependiendo de cada país. Por favor, consulte la hoja técnica local correspondiente para la exacta descripción de los campos de aplicación del producto

La información y en particular las recomendaciones sobre la aplicación y el uso final de los productos Sika son proporcionadas de buena fe, en base al conocimiento y experiencia actuales en Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados; así como aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra en donde se aplicarán los productos Sika son tan particulares que de esta información, de alguna recomendación escrita o de algún asesoramiento técnico, no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad particular, así como ninguna responsabilidad contractual. Los derechos de propiedad de las terceras partes deben ser respetados. Todos los pedidos aceptados por Sika Perú S.A.C. están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la Venta de Productos de Sika Perú S.A.C. Los usuarios siempre deben remitirse a la última edición de la Hojas Técnicas de los productos; cuyas copias se entregarán a solicitud del interesado o a las que pueden acceder en Internet a través de nuestra página web [www.sika.com.pe](http://www.sika.com.pe). La presente edición anula y reemplaza la edición anterior, misma que deberá ser destruida.

## NOTAS LEGALES

Sika Perú  
Habilitación Industrial  
El Lúcumo Mz. "B" Lote 6  
Lurin, Lima  
Tel. (511) 618-6060

### Anexo 3. Granulometría del agregado fino

#### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO, GRUESO Y GLOBAL

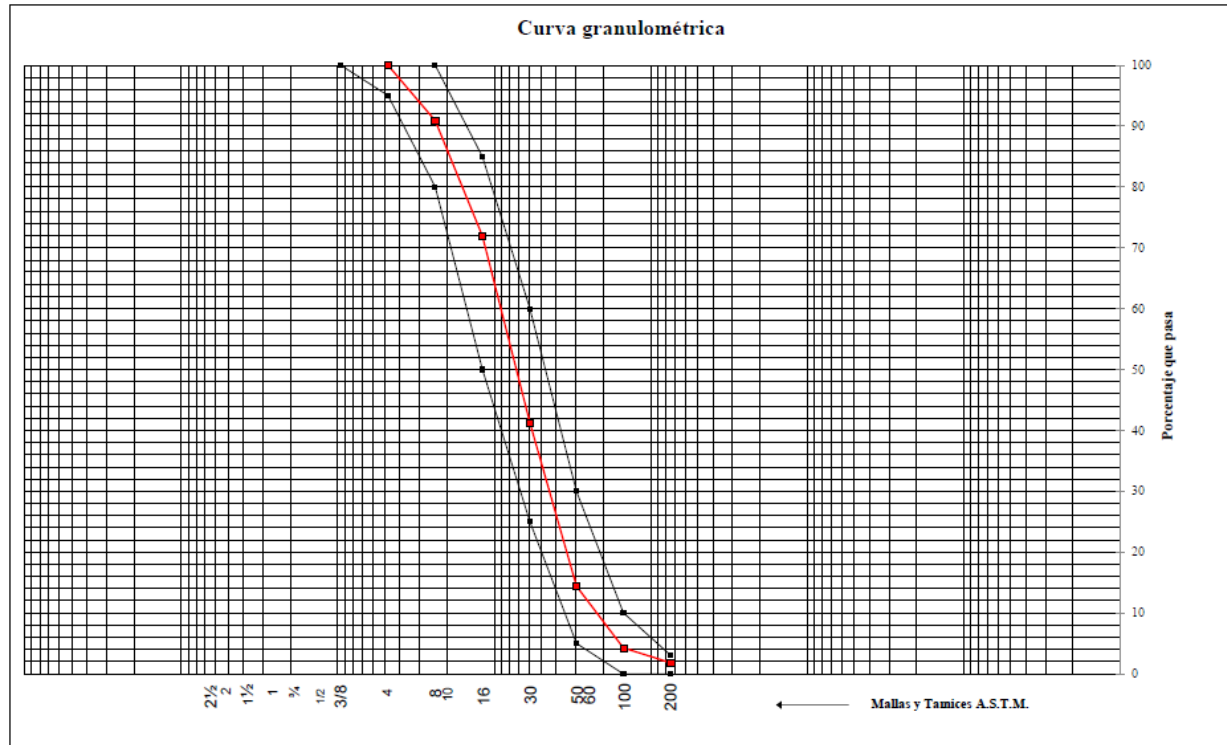
Norma: NTP 400.012 2001

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Orden de servicio N°  
Informe N°  
Fecha de ensayo  
Realizó el ensayo

Solicitante	Ubicación : Piura	Muestreo realizado por : El solicitante
Obra		
Procedencia		

Abertura (mm)	Tamiz ASTM	Contenido (g)	Retenido parcial %	Retenido total %	Pasa %
63.50	2 1/2"				
50.8	2"				
38.1	1 1/2"				
25.4	1"				
19.1	3/4"				
12.7	1/2"				
9.53	3/8"	0.0	0.00	0.00	100
4.76	4	0.0	0.00	0.00	100
2.38	8	45.3	9.13	9.13	91
1.19	16	93.8	18.92	28.05	72
0.59	30	152.2	30.69	58.74	41
0.297	50	133.1	26.84	85.58	14
0.149	100	50.5	10.18	95.77	4
0.074	200	11.9	2.40	98.16	2
	Fondo	9.1			
	Total	495.9			
	Peso inicial	497.1			
	Pérdida	1.2			



Supervisó el ensayo:  
**MF= 2.8**

Descripción de la muestra:

## Anexo 4. Diseño de mezcla patrón

**DISEÑO DE MEZCLA - MORTERO CON PAPEL RECICLADO**

PE Cemento - MS 2920 kg/m<sup>3</sup>

**Informe**  
**Orden de Servicio**  
**Técnico:** Francisco Castro

Características de los materiales:

	Ag. Fino	Papel
Cantera	Cantera Santa Cruz	
Tamaño Máximo	4,76mm	
Módulo de Fineza	2.8	
PU suelto stock (kg/m <sup>3</sup> )	1560	90
PU varillado stock (kg/m <sup>3</sup> )	1660	
PU suelto OD (kg/m <sup>3</sup> )	1552	
Gravedad específica (SSD)	2.58	1.05
Capacidad de Absorción	1.90%	190%
Humedad Total	0.54%	0%

Solución: Cantidad agua: 305 Lts  
a/c 0.75

**CANTIDADES:**

		Pesos Secos:	SSS	Stock	Corrección (kg)
Agua:	kg	305.00	305.00	324.14	
Cemento:	kg	406.67	406.67	406.67	
Papel	kg	0.00	0.00	0.00	0
Ag. Fino	kg	1407.05	1433.78	1414.65	19
Aire:				0.0%	
			2145.45	2145.45	

**Volumenes Absolutos:**

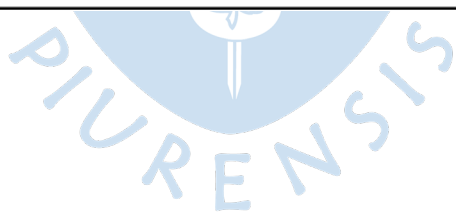
			% en vol.	vol
Agua:	0.305	m <sup>3</sup>		
Cemento:	0.139	m <sup>3</sup>		
	0.444	m <sup>3</sup>		
Ag. Fino	0.556	m <sup>3</sup>		
			100%	0.556

**RESUMEN:**

	a/c		0.75	
Agua:	kg		324	
Cemento:	kg		407	
Papel	kg		0.0	
Ag. Fino:	kg		1415	
Aditivo	kg	1.6%	6.51	
PU	kg/m <sup>3</sup>		2145	

**PROPORCIONES:**

Agua(L): 33.8  
Cemento: 1  
Papel: 0.0  
Ag. Fino: 3.35  
F cem (bol/m<sup>3</sup>): 9.6



## Anexo 5. Diseños de mezcla con reemplazo de residuo de papel

### a) Diseño de mezcla con 10% de reemplazo:

**DISEÑO DE MEZCLA - MORTERO CON PAPEL RECICLADO**

PE Cemento - MS  kg/m<sup>3</sup>

**Informe**  
**Orden de Servicio**  
**Técnico:**

Características de los materiales:

	Ag. Fino	Papel
Cantera	Cantera Santa Cruz	
Tamaño Máximo	4,76mm	
Módulo de Fineza	2.8	
PU suelto stock (kg/m <sup>3</sup> )	1560	90
PU varillado stock (kg/m <sup>3</sup> )	1660	
PU suelto OD (kg/m <sup>3</sup> )	1552	
Gravedad específica (SSD)	2.58	1.05
Capacidad de Absorción	1.90%	190%
Humedad Total	0.54%	0%

Solución: Cantidad agua:  Lts  
a/c

**CANTIDADES:**

		Pesos Secos:	SSS	Stock	Corrección (kg)
Agua:	kg	490.00	490.00	555.98	
Cemento:	kg	653.33	653.33	653.33	
Papel	kg	30.06	87.16	30.06	57
Ag. Fino	kg	652.29	664.69	655.81	9
Aire:				0.0%	
			1895.18	1895.18	

**Volumenes Absolutos:**

				% en vol.	vol
Agua:	0.490	m <sup>3</sup>			
Cemento:	0.224	m <sup>3</sup>			
	0.714	m <sup>3</sup>			
Ag. Fino	0.286	m <sup>3</sup>			
				90%	0.26
				10%	0.03
				100%	0.286

**RESUMEN:**

	a/c		0.75	
Agua:	kg		556	
Cemento:	kg		653	
Papel	kg		30.1	
Ag. Fino:	kg		656	
Aditivo	Kg	1.6%	10.45	
PU	kg/m <sup>3</sup>		1895	

**PROPORCIONES:**

Agua(L):	36.1
Cemento:	1
Papel	0.8
Ag. Fino:	0.97
F cem (bol/m <sup>3</sup> ):	15.4

**b) Diseño de mezcla con 15% de reemplazo:**

**DISEÑO DE MEZCLA - MORTERO CON PAPEL RECICLADO**

PE Cemento - MS 2920 kg/m<sup>3</sup>

Informe  
Orden de Servicio  
Técnico: Francisco Castro

Características de los materiales:

	Ag. Fino	Papel
Cantera	Cantera Santa Cruz	
Tamaño Máximo	4,76mm	
Módulo de Fineza	2.8	
PU suelto stock (kg/m <sup>3</sup> )	1560	90
PU varillado stock (kg/m <sup>3</sup> )	1660	
PU suelto OD (kg/m <sup>3</sup> )	1552	
Gravedad específica (SSD)	2.58	1.05
Capacidad de Absorción	1.90%	190%
Humedad Total	0.54%	0%

Solución: Cantidad agua: 535 Lts  
a/c 0.75

**CANTIDADES:**

		Pesos Secos:	SSS	Stock	Corrección (kg)
Agua:	kg	535.00	535.00	607.51	
Cemento:	kg	713.33	713.33	713.33	
Papel	kg	34.76	100.81	34.76	66
Ag. Fino	kg	474.99	484.01	477.55	6
Aire:				0.0%	
			1833.15	1833.15	

**Volumenes Absolutos:**

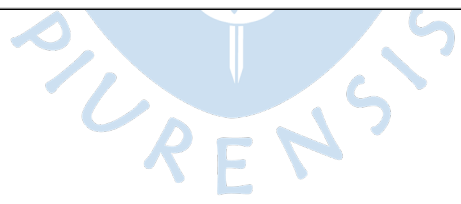
				% en vol.	vol
Agua:	0.535	m <sup>3</sup>			
Cemento:	0.244	m <sup>3</sup>			
	0.779	m <sup>3</sup>			
Ag. Fino	0.221	m <sup>3</sup>			
				85%	0.19
				15%	0.03
				100%	0.221

**RESUMEN:**

	a/c		0.75	
Agua:	kg		608	
Cemento:	kg		713	
Papel	kg		34.8	
Ag. Fino:	kg		478	
Aditivo	kg	1.6%	11.41	
PU	kg/m <sup>3</sup>		1833	

**PROPORCIONES:**

Agua(L): 36.2  
Cemento: 1  
Papel: 0.8  
Ag. Fino: 0.64  
F cem (bol/m<sup>3</sup>): 16.8



c) Diseño de mezcla con 20% de reemplazo:

**DISEÑO DE MEZCLA - MORTERO CON PAPEL RECICLADO**

PE Cemento - MS 2920 kg/m<sup>3</sup>

**Informe**  
**Orden de Servicio**  
**Técnico:** Francisco Castro

Características de los materiales:

	Ag. Fino	Papel
Cantera	Cantera Santa Cruz	
Tamaño Máximo	4,76mm	
Módulo de Fineza	2.8	
PU suelto stock (kg/m <sup>3</sup> )	1560	90
PU varillado stock (kg/m <sup>3</sup> )	1660	
PU suelto OD (kg/m <sup>3</sup> )	1552	
Gravedad específica (SSD)	2.58	1.05
Capacidad de Absorción	1.90%	190%
Humedad Total	0.54%	0%

Solución: Cantidad agua: 570 Lts  
a/c 0.75

**CANTIDADES:**

		Pesos Secos:	SSS	Stock	Corrección (kg)
Agua:	kg	570.00	570.00	642.40	
Cemento:	kg	760.00	760.00	760.00	
Papel	kg	35.64	103.36	35.64	68
Ag. Fino	kg	343.78	350.31	345.64	5
Aire:				0.0%	
			1783.68	1783.68	

**Volumenes Absolutos:**

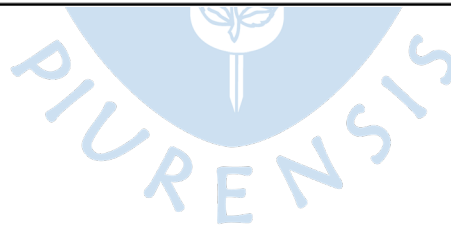
				% en vol.	vol
Agua:	0.570	m <sup>3</sup>			
Cemento:	0.260	m <sup>3</sup>			
	0.830	m <sup>3</sup>			
Ag. Fino	0.170	m <sup>3</sup>			
				Ag. Fino	80%
				papel	20%
					100%
					0.170

**RESUMEN:**

	a/c		0.75	
Agua:	kg		642	
Cemento:	kg		760	
Papel	kg		35.6	
Ag. Fino:	kg		346	
Aditivo	Kg	1.6%	12.16	
PU	kg/m <sup>3</sup>		1784	

**PROPORCIONES:**

Agua(L): 35.9  
 Cemento: 1  
 Papel: 0.8  
 Ag. Fino: 0.44  
 F cem (bol/m<sup>3</sup>): 17.9



## d) Diseño de mezcla con 30% de reemplazo:

**DISEÑO DE MEZCLA - MORTERO CON PAPEL RECICLADO**

PE Cemento - MS 2920 kg/m<sup>3</sup>

Informe  
Orden de Servicio  
Técnico: Francisco Castro

Características de los materiales:

	Ag. Fino	Papel
Cantera	Cantera Santa Cruz	
Tamaño Máximo	4,76mm	
Módulo de Fineza	2.8	
PU suelto stock (kg/m <sup>3</sup> )	1560	90
PU varillado stock (kg/m <sup>3</sup> )	1660	
PU suelto OD (kg/m <sup>3</sup> )	1552	
Gravedad específica (SSD)	2.58	1.05
Capacidad de Absorción	1.90%	190%
Humedad Total	0.54%	0%

Solución: Cantidad agua: 595 Lts  
a/c 0.75

**CANTIDADES:**

		Pesos Secos:	SSS	Stock	Corrección (kg)
Agua:	kg	595.00	595.00	678.00	
Cemento:	kg	793.33	793.33	793.33	
Papel	kg	41.99	121.78	41.99	80
Ag. Fino	kg	236.27	240.76	237.55	3
Aire:				0.0%	
			1750.87	1750.87	

**Volumenes Absolutos:**

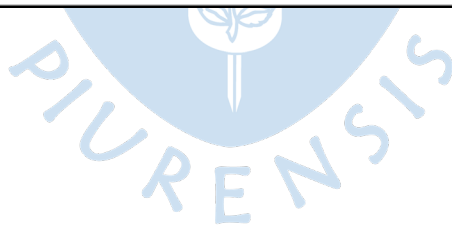
				% en vol.	vol
Agua:	0.595	m <sup>3</sup>			
Cemento:	0.272	m <sup>3</sup>			
	0.867	m <sup>3</sup>			
Ag. Fino	0.133	m <sup>3</sup>			
				Ag. Fino	70%
				papel	30%
					100%
					0.09
					0.04
					0.133

**RESUMEN:**

	a/c		0.75	
Agua:	kg		678	
Cemento:	kg		793	
Papel	kg		42.0	
Ag. Fino:	kg		238	
Aditivo	kg	1.6%	12.69	
PU	kg/m <sup>3</sup>		1751	

**PROPORCIONES:**

Agua(L):	36.3
Cemento:	1
Papel	0.9
Ag. Fino:	0.29
F cem (bol/m <sup>3</sup> ):	18.7



e) Diseño de mezcla con 50% de reemplazo:

**DISEÑO DE MEZCLA - MORTERO CON PAPEL RECICLADO**

PE Cemento - MS 2920 kg/m<sup>3</sup>

Informe  
Orden de Servicio  
Técnico: Francisco Castro

Características de los materiales:

	Ag. Fino	Papel
Cantera	Cantera Santa Cruz	
Tamaño Máximo	4,76mm	
Módulo de Fineza	2.8	
PU suelto stock (kg/m <sup>3</sup> )	1560	90
PU varillado stock (kg/m <sup>3</sup> )	1660	
PU suelto OD (kg/m <sup>3</sup> )	1552	
Gravedad específica (SSD)	2.58	1.05
Capacidad de Absorción	1.90%	190%
Humedad Total	0.54%	0%

Solución: Cantidad agua: 635 Lts  
a/c 0.75

**CANTIDADES:**

		Pesos Secos:	SSS	Stock	Corrección (kg)
Agua:	kg	635.00	635.00	711.15	
Cemento:	kg	846.67	846.67	846.67	
Papel	kg	39.40	114.26	39.40	75
Ag. Fino	kg	95.00	96.81	95.52	1
Aire:				0.0%	
			1692.73	1692.73	

**Volumenes Absolutos:**

			% en vol.	vol
Agua:	0.635	m <sup>3</sup>		
Cemento:	0.290	m <sup>3</sup>		
	0.925	m <sup>3</sup>		
Ag. Fino	0.075	m <sup>3</sup>		
			100%	0.075

**RESUMEN:**

	a/c		0.75	
Agua:	kg		711	
Cemento:	kg		847	
Papel	kg		39.4	
Ag. Fino:	kg		96	
Aditivo	Kg	1.6%	13.55	
PU	kg/m <sup>3</sup>		1693	

**PROPORCIONES:**

Agua(L): 35.7  
Cemento: 1  
Papel: 0.8  
Ag. Fino: 0.11  
F cem (bol/m<sup>3</sup>): 19.9

