

**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**Evaluación de la resistencia a compresión del mortero, con arena gruesa sustituido por fibras de poliestireno reciclado**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil

**Autor:**

Bach. Jesmerth Céspedes Joñas

**Asesor:**

Ing. David Díaz Garamendi

Lima, marzo de 2023

## DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DE TESIS

Ing. David Díaz Garamendi, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: "**EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL MORTERO, CON ARENA GRUESA SUSTITUIDO POR FIBRAS DE POLIESTIRENO RECICLADO.**" constituye la memoria que presenta el Bachiller Jesmerth Céspedes Joñas para obtener el título Profesional de Ingeniero Civil, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Lima, a los 09 días del mes de marzo del año 2023.



Ing. David Díaz Garamendi

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a los **09** día(s) del mes de **marzo** del año 2023 siendo las **10:00 horas**, se reunieron en modalidad virtual u online sincrónica, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: **Ing. Ferrer Canaza Rojas**, el secretario: **Mg. Leonel Chahuares Paucar** y los demás miembros: **Mg. Reymundo Jaulis Palomino** y el asesor **Ing. David Diaz Garamendi** con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Evaluación de la resistencia a compresión del mortero, con arena gruesa sustituido por fibras de poliestireno reciclado"

.....de el(los)/la(las) bachiller/es: a) ..... **JESMERTH CESPEDES JOÑAS** .....  
 .....b) .....  
 .....conducente a la obtención del título profesional de:.....  
 .....**INGENIERO CIVIL**.....  
 con mención en.....

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/la(las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): ..... **JESMERTH CESPEDES JOÑAS** .....

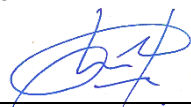
| CALIFICACIÓN    | ESCALAS   |          |              | Mérito           |
|-----------------|-----------|----------|--------------|------------------|
|                 | Vigesimal | Literal  | Cualitativa  |                  |
| <b>APROBADO</b> | <b>16</b> | <b>B</b> | <b>BUENO</b> | <b>MUY BUENO</b> |

Candidato (b): .....

| CALIFICACIÓN | ESCALAS   |         |             | Mérito |
|--------------|-----------|---------|-------------|--------|
|              | Vigesimal | Literal | Cualitativa |        |
|              |           |         |             |        |

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

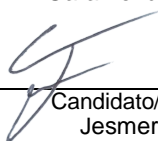
\_\_\_\_\_  
 Presidente  
 Ing. Ferrer  
 Canaza Rojas

  
 \_\_\_\_\_  
 Secretario  
 Mg. Leonel  
 Chahuares Paucar

\_\_\_\_\_  
 Asesor  
 Ing. David Diaz  
 Garamendi

\_\_\_\_\_  
 Miembro  
 Mg. Reymundo  
 Jaulis Palomino

\_\_\_\_\_  
 Miembro

  
 \_\_\_\_\_  
 Candidato/a (a)  
 Jesmerth  
 Cespedes Joñas

\_\_\_\_\_  
 Candidato/a (b)

## **EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL MORTERO, CON ARENA GRUESA SUSTITUIDO POR FIBRAS DE POLIESTIRENO RECICLADO**

*Jesmerth Céspedes Joñas <sup>(1)</sup>.*

### **RESUMEN**

El siguiente artículo denominado “Evaluación de la resistencia a compresión del mortero, con arena gruesa sustituido por fibras de poliestireno reciclado” es una investigación experimental, por lo tanto, presenta una funcionalidad basada en muestras de mortero con arena sustituido en porcentajes variables por fibras de poliestireno (PS) reciclado, con fines de buscar materiales alternativos para su uso en la construcción que no solo reduzcan la contaminación medio ambiental. De tal manera se caracterizó la materia prima, realizando un diseño de mezcla donde se elaboró muestras de mortero experimental adicionados en tres distintos porcentajes por poliestireno reciclado, muestras que fueron ensayados para así, caracterizar sus propiedades mecánicas a fin de realizar distintas comparaciones evidenciando si la resistencia de la muestra experimental aumenta al de la muestra patrón o al contrario disminuye estas propiedades debido a la reducción del agregado fino. Todo lo indicado busca dar uso al poliestireno reciclado, reduciendo así el uso de la arena gruesa como indica el objetivo de nuestra investigación. Para determinar si la sustitución de la arena gruesa por poliestireno influye en la resistencia a compresión del mortero, se evaluó las resistencias de las muestras patrón y muestras experimentales adicionados en 3%, 6% y 9% por fibras de poliestireno expandido reciclado. Para la investigación se consideró como población: Las 72 muestras cúbicas para el ensayo a compresión, dividido en 4 grupos de 18 muestras cada uno, estas muestras fueron ensayados a edades de 3, 7, y 28 días cumpliendo con lo establecido en la norma técnica peruana 339.051, se concluyó que las adiciones a 3% y 6 % de poliestireno reciclado son los más convenientes debido a que las resistencias se mantienen entre estas, a la vez siendo superior a la muestra patrón y en cuando a la adición de 9% de poliestireno las resistencias iniciales fueron favorables sin en cambio la muestra a 28 días de edad muestra cierta disminución en su resistencia respecto a las muestras con 3% y 6% de adición, la comparación de los resultados confirma que estas muestras superan la resistencia mínima a los 28 días de edad (175 kg/cm<sup>2</sup>) y por tanto se clasifican como morteros tipo P (portantes), también se afirma que las resistencias de las muestras experimentales es aceptable por lo tanto se puede dar uso de estos morteros en trabajos de construcción de muros portantes.

**Palabras Claves:** Mortero, Poliestireno, Compresión, Evaluación, Resistencia, mezcla.

## **EVALUATION OF THE COMPRESSIVE STRENGTH OF MORTAR WITH COARSE SAND REPLACED BY RECYCLED POLYSTYRENE BEADS**

## ABSTRACT

The following article entitled "Evaluation of the compressive strength of mortar with coarse sand replaced by recycled polystyrene fibers" is an experimental research, therefore, it presents a functionality based on samples of mortar with sand replaced in varying percentages by recycled polystyrene (PS) fibers, in order to find alternative materials for use in construction that not only reduce environmental pollution. In this way, the raw material was characterized, making a mixture design where samples of experimental mortar were elaborated with three different percentages of recycled polystyrene, samples that were tested to characterize their mechanical properties in order to make different comparisons showing if the resistance of the experimental sample increases to that of the standard sample or on the contrary decreases these properties due to the reduction of the fine aggregate. All the above mentioned aims to make use of recycled polystyrene, thus reducing the use of coarse sand as indicated by the objective of our research. To determine if the substitution of coarse sand by polystyrene influences the compressive strength of the mortar, the strengths of the standard and experimental samples with 3%, 6% and 9% of recycled expanded polystyrene fibers were evaluated. For the research, the population was considered as the population: The 72 cubic samples for the compression test, divided into 4 groups of 18 samples each, these samples were tested at ages of 3, 7, and 28 days complying with the provisions of the Peruvian technical standard 339. 051, it was concluded that the additions to 3% and 6% of recycled polystyrene are the most convenient because the resistances are maintained between these, at the same time being superior to the standard sample and when the addition of 9% of polystyrene the initial resistances were favorable without however the sample at 28 days of age shows some decrease in its resistance with respect to the samples with 3% and 6% of addition, The comparison of the results confirms that these samples exceed the minimum resistance at 28 days of age (175 kg/cm<sup>2</sup>) and therefore they are classified as type P mortars (bearing), it is also affirmed that the resistances of the experimental samples are acceptable and therefore these mortars can be used in construction works of bearing walls.

Keywords: Mortar, Polystyrene, Compression, Evaluation, Strength, Mixing.

## INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional y la expansión territorial son factores que generan la alta demanda de construcción de viviendas unifamiliares, tal es el caso del distrito de Huancarama, Pacobamba y Kishuara, pertenecientes a la provincia de Andahuaylas; quien según el último censo realizado por el INEI el año 2017, es la provincia más poblada del departamento de Apurímac.

Tras la alta demanda de construcción de viviendas y según la ubicación geográficas de los distritos, los pobladores vienen acarreando problemas financieros debido a la inexistencia en la zona de uno de los principales componentes en la mezcla de un mortero, el cual vendría a ser el agregado fino (arena gruesa). Este material es adquirido de las principales canteras del distrito de San Jerónimo, Talavera y en el distrito de Abancay (Rio Pachachaca), las cuales se encuentran a una distancia que varía entre los 40 km a 110 km aproximadamente. Por lo tanto, los pobladores de los distritos de Huancarama, Pacobamba y Kishuara

tendrían que invertir mucho más que aquellas localidades o distritos que cuentan con canteras que realicen la extracción de dicho material.

Por otro lado, en el ámbito ambiental, el poliestireno (tecnopor) es uno de los residuos sólidos más abundantes y de difícil reciclaje, ya que, según (Delgado R., 2018) es muy costoso y poco rentable, dado que alrededor de 75% de su composición es aire y por ende el porcentaje de material que se puede recuperar es escaso.

Para resolver estas problemáticas, muchos investigadores optaron por reemplazar o sustituir en porcentajes a los materiales primarios del mortero con productos reciclables o ecoeficientes, en los cuales tuvieron resultados muy significativos y favorables. Así como lo demuestran las siguientes investigaciones:

(Gómez, Carvajal, & Santelices, 2011) En su artículo de investigación dan a conocer la influencia del Polietileno de alta densidad como adición en el mortero de cemento y determinan los cambios en sus propiedades tras agregar el polietileno en tres distintas cantidades, como la resistencia a flexión, compresión y permeabilidad. Obteniéndose como efecto cierta disminución en la resistencia a flexión y compresión tanto así también para la permeabilidad. El autor según otras investigaciones vio conveniente el uso del polietileno de alta densidad picado, debido a su abundancia y contribuyendo con el medio ambiente así adicionando en 0.2, 0.5 y 0.8 % con relación al peso del cemento, los resultados menos pronunciados respecto a los ensayos se dieron en 0.5% adición de dicho material.

(J. C. Chanchí & Cordero, 2018) en su artículo describen el comportamiento de una mezcla de mortero con dosificación cemento – arena 1:3 adicionado con partículas de poliestireno expandido (REPS) obtenidas al rallar manualmente bloques de poliestireno expandido. Ejecutaron 250 cubos cuya arista es de 5 cm, 56 cubos de dimensiones 5 cm y 10 cm incrementado con porcentajes en volumen de poliestireno de 10% y 80% dando como resultado, que la densidad, compresión, tensión indirecta y la compresión residual post – fuego de la muestra desciende en 23%, 83%, 76% y 19% - 54%, equitativamente. Mientras el incremento de REPS en volumen reduce la resistencia a compresión y tensión indirecta del mortero a 83% y 76% igualmente la resistencia residual a compresión post-fuego en morteros expuestos a temperaturas superiores a 50°. Reducciones en la resistencia residual entre 19% y 54% y la absorción del mortero se incrementó hasta el 308%.

(Verónica Ferrándiz, 2013) en su presente artículo de investigación evalúa la influencia de la adición de distintos tipos y dosificaciones de poliestireno expandido, tanto comercial como procedente del reciclado en las propiedades físicas y mecánicas de los morteros de cemento, cuyo objetivo fue la fabricación de un material de construcción más sostenible con el medio ambiente. También demostró el uso del diseño estadístico que es una herramienta de utilidad para el estudio de comportamiento de los morteros, mediante el análisis de superficies de respuesta, se puede observar la influencia de los distintos tipos de EPS, sus dosificaciones y de los distintos tipos de aditivos en las propiedades de estos morteros incluso en áreas del dominio experimental donde no se ha ensayado.

(Riaño & Ayala, 2019) de la Universidad Católica de Colombia, examinaron el efecto que tiene las fibras de plástico tipo PET con diferentes porcentajes respecto al mortero tipo convencional, para ello procedió a caracterizar la materia prima, lo cual permitió realizar un diseño de mezcla y de esta forma llegar a la elaboración de muestras de mortero con diferentes porcentajes de fibra. En función a los resultados adquiridos es viable dar uso el plástico (PET) reciclado obtenido en fibras, puesto que no altera la composición del mortero en porcentajes de adición realizada, se considera una óptima practica para combatir la contaminación del medio ambiente y reducir el alto consumo de plástico PET. Ya viendo los resultados

se observa que las muestras cuya adición de fibra al 0.50% presentan mejor comportamiento, mientras disminuye en un 6% la resistencia a compresión en comparación con el mortero convencional y las otras características presentan mejoras tanto en absorción, porosidad, penetración de cloruros y módulo de elasticidad.

(Flores Fernández, 2014) El plástico PET no presenta ninguna alteración al interactuar con la composición del mortero, por lo tanto se admite su uso como refuerzo, las tiras de PET reciclado sometido a tensión directa presenta mejora en su comportamiento después de la falla, el mejor método para la obtener la tensión de un mortero es el ensayo de compresión, puesto que es el más cercano al valor obtenido por tensión directa, las muestras de mortero con adición de fibra PET tras someter a fallas no presenta una separación como la muestra convencional, a razón de esto es recomendable el uso en la construcción en lugares de alta sismicidad y así mitigar las diferentes fallas.

Por último, esta investigación consiste en mantener el porcentaje de cemento de acuerdo a lo establecido por la norma y diseño de mezcla del mortero, puesto que solo se sustituirá de manera porcentual y no total la arena gruesa por poliestireno reciclado, así no alterando la resistencia final del mortero.

## **OBJETIVO**

El presente estudio tiene por finalidad evaluar la resistencia a compresión del mortero, con arena gruesa sustituido en 03%, 06% y 09% por fibras de poliestireno expandido reciclado ante un patrón convencional sin sustitución de la arena, para el asentado de ladrillos.

## **METODOLOGÍA**

En el siguiente estudio, se utilizó un enfoque de investigación cuantitativo puesto que este sugiere que es una forma confiable de comprender la realidad a través de recopilar y analizar datos que puedan usarse para responder preguntas de investigación y probar hipótesis. Por ello, este tipo de investigación se basa en mediciones numéricas, y muchas veces también en el uso de estadísticas para mostrar patrones de comportamiento en una población.

Igualmente, (Borja, 2012) menciona que los proyectos de ingeniería civil se encuentran clasificados dentro de la investigación de tipo aplicada; ya que los resultados que se obtienen sirven para dar solución a problemas relacionados a la construcción, especialmente a las propiedades del mortero como la compresión, puesto que se sustituirá en porcentajes variables a la arena gruesa por poliestireno reciclado. Además, descubriremos la cantidad mínima y necesaria de la adición del poliestireno en la mezcla del mortero, por lo que aportaremos nuevo material para la construcción de viviendas; en otras palabras, nos enfocamos más en conocer y modificar una realidad problemática y su aplicación inmediata ante el desarrollo de un conocimiento universal.

Por otro lado, la investigación verifica la hipótesis través de una manipulación de las variables por parte del investigador, esta acción (Borja, 2012) lo define como una investigación experimental. Así mismo, una hipótesis es verdadera si la manipulación de la variable independiente produce un cambio en el comportamiento de la variable dependiente. Por ello, los ensayos a realizarse en el mortero se basarán en la sustitución de la arena por fibras de poliestireno reciclado y esto comparándolo con la muestra patrón o convencional; para ello formaremos dos grupos de estudio, uno formado por el mortero adicionado por

fibras de poliestireno reciclado y el otro grupo conformado por el mortero patrón, a lo cual se pueden obtener resultados favorables mediante el aumento de la resistencia a la compresión.

Así mismo, al utilizar un diseño de muestra al azar, se ensayará muestras de acuerdo a la normativa peruana NTP-334.051 el cual menciona evaluar 2 especímenes como mínimo por edad, los cuales son 3, 7 y 28 días de curado, en caso nuestro por cada porcentaje de sustitución de arena por poliestireno. La mayor parte del estudio se realiza en el laboratorio de mecánica de suelos, observando y analizando los resultados obtenidos por profesionales de la ingeniería.

La población de estudio está conformada por cubos de mortero tanto convencional y experimental que suman un total de 72 muestras, tales que se dividen en cuatro grupos de los cuales uno es la muestra patrón o convencional y los tres restantes son experimentales, estos tres últimos sustituyen a la arena gruesa por poliestireno reciclado en distintos porcentajes; los porcentajes de las concentraciones fueron basados, de la investigación realizada por (Chanchí & Canabal, 2018). Para la elaboración de los cubos de mortero que vendría a ser nuestra unidad de estudio utilizamos las siguientes referencias:

- a. Se procedió con la recolección de poliestireno reciclado de los distintos puntos de la población.
- b. Compra de material agregado fino (arena gruesa) de la cantera Pachachaca.
- c. Compra de cemento portland tipo I marca "SOL" estos materiales fueron transportados hasta las inmediaciones del laboratorio de mecánica suelos.

Los materiales fueron considerados de acuerdo a indicado en la población muestral y a criterio del investigador. Se trabajó con muestras superior al mínimo establecido por la norma NTP 334.05, el cual menciona que es viable realizar como mínimo 2 especímenes por cada edad de ensayo; por lo tanto, en esta investigación se trabajó con 6 muestras a razón de tener mayor asertividad en el promedio del resultado de la resistencia a compresión, de tal forma se mandó a fabricar 12 moldes cada uno acondicionado para 6 muestras, detallado de la siguiente forma.

- Muestras convencionales (6 muestras después de 3 días de curado, 6 después de 7 días de curado, 6 después de 28 días de curado).
- Muestras experimentales con 03 % de adición de poliestireno reciclado (6 muestras a los 3 días de curado, 6 muestras a los 7 días de curado, 6 muestras a los 28 días de curado).
- Muestras experimentales con 06 % de adición de poliestireno reciclado (6 muestras a los 3 días de curado, 6 muestras a los 7 días de curado, 6 muestras a los 28 días de curado).
- Muestras experimentales con adición de 09 % de poliestireno reciclado (6 muestras a los 3 días de curado, 6 muestras a los 7 días de curado, 6 muestras a los 28 días de curado).

Para determinar las características del agregado fino se sometió a los ensayos que exige la normativa y así garantizar la calidad del material; ensayos como análisis granulométrico de agregado fino, contenido de humedad, peso unitario suelto y compactado, gravedad específica y absorción. Por otro lado, se procede a extraer fibras de poliestireno reciclado y a la vez se elabora el diseño de mezcla; el diseño fue tomado de acuerdo lo indicado por la norma técnica peruana, tal cual se muestra en la siguiente tabla:

*Tabla 1: Diseño de mezcla.*

| Materiales  | N° Especímenes |         |
|-------------|----------------|---------|
|             | 3 cubos        | 6 cubos |
| Cemento, gr | 250            | 500     |
| Arena, gr   | 687.5          | 1375    |
| Agua, gr    | 121.25         | 242     |

Fuente: NTP 334.051

**DOSIFICACIÓN:**  
**1:2.75:0.485**

Posterior al diseño, se prepara la mezcla tanto para el mortero patrón y experimental; simultáneamente se procede a realizar los ensayos o controles en estado fresco, tales como determinación de la fluidez, peso unitario, asentamiento y contenido de aire; posterior a esto la muestra es colocado en los moldes cumpliendo el proceso y los parámetros que establece la NTP 334.051(2013). Por último, se prosigue con el ensayo en estado endurecido, lo cual viene a ser el ensayo a compresión donde se determinará los niveles de resistencia de cada muestra, estas se comparan con la muestra patrón, así ver cuál de ellas es el de mejor comportamiento o tiene un adecuado diseño en relación a la norma técnica peruana.

**RESULTADOS**

Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

- Los componentes de la muestra agregado fino extraído de la cantera Pachachaca son los siguientes.

*Tabla 2: Propiedades de la arena.*

| PROPIEDADES              | VALORES                |
|--------------------------|------------------------|
| Peso específico de masa  | 2.7                    |
| Peso unitario suelto     | 1549 kg/m <sup>3</sup> |
| Peso unitario compactado | 1714 kg/m <sup>3</sup> |
| Contenido de humedad     | 2.9                    |
| Absorción                | 1.6                    |
| Módulo de fineza         | 2.6                    |

Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos, GEOMAT SERV E.I.R.L

**1.1. Cálculo de la Fluidez del Mortero Patrón y Experimental**

*Tabla 3: Fluidez del mortero patrón y experimental.*

| DESCRIPCIÓN         | RELACIÓN | D(cm)<br>NTP | DIÁMETRO (cm) |       |       |       | D.<br>PROMEDIO<br>(cm) | %<br>FLUJO |
|---------------------|----------|--------------|---------------|-------|-------|-------|------------------------|------------|
|                     |          |              | D1            | D2    | D3    | D4    |                        |            |
| Patrón              | 0.485    | 10.16        | 12.16         | 12.24 | 12.11 | 12.10 | 12.15                  | 19.61      |
| Experimental<br>03% | 0.485    | 10.16        | 12.11         | 12.13 | 12.15 | 12.17 | 12.14                  | 19.49      |
| Experimental<br>06% | 0.485    | 10.16        | 12.12         | 12.16 | 12.15 | 12.09 | 12.13                  | 19.39      |
| Experimental<br>09% | 0.485    | 10.16        | 12.09         | 12.11 | 12.14 | 12.12 | 12.12                  | 19.24      |

Fuente: Elaboración propia.

### 1.2. Proporciones en Peso del Mortero Experimental a una Sustitución de 03%, 06%, Y 09%.

Tabla 4: Proporción de las muestras experimentales en peso.

| Materiales                                | N° Especímenes |                |                |
|---|----------------|----------------|----------------|
|   | 6 cubos con 3% | 6 cubos con 6% | 6 cubos con 9% |
| Cemento, gr                               | 500            | 500            | 500            |
| Arena, gr                                 | 1333.75        | 1292.5         | 1251.25        |
| % Arena extraído, gr                      | 41.25          | 82.5           | 123.75         |
| Equivalente de poliestireno reciclado, gr | 0.54           | 1.08           | 1.62           |
| Agua, gr                                  | 242            | 242            | 242            |

Fuente: Elaboración propia.

### 1.3. Resultados de los Ensayos a Compresión de las muestras Patrón y Experimental

#### 1.3.1. Resultado de resistencia a compresión de la muestra patrón.

Tabla 5: Ensayo de resistencia a la compresión del mortero patrón, (kg/cm<sup>2</sup>).

| PATRON          | EDAD (DIAS)  |              |              |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|
|                 | 3            | 7            | 28           |
| P-1             | 170.8        | 202.3        | 216.0        |
| P-2             | 188.3        | 209.3        | 211.3        |
| P-3             | 180.3        | 201.7        | 218.2        |
| P-4             | 175.5        | 202.4        | 215.4        |
| P-5             | 179.1        | 202.8        | 204.6        |
| P-6             | 177.6        | 199.2        | 205.8        |
| <b>PROMEDIO</b> | <b>178.6</b> | <b>202.9</b> | <b>211.9</b> |

Fuente: Prueba de compresión, Laboratorio GEOMAT SERV E.I.R.L

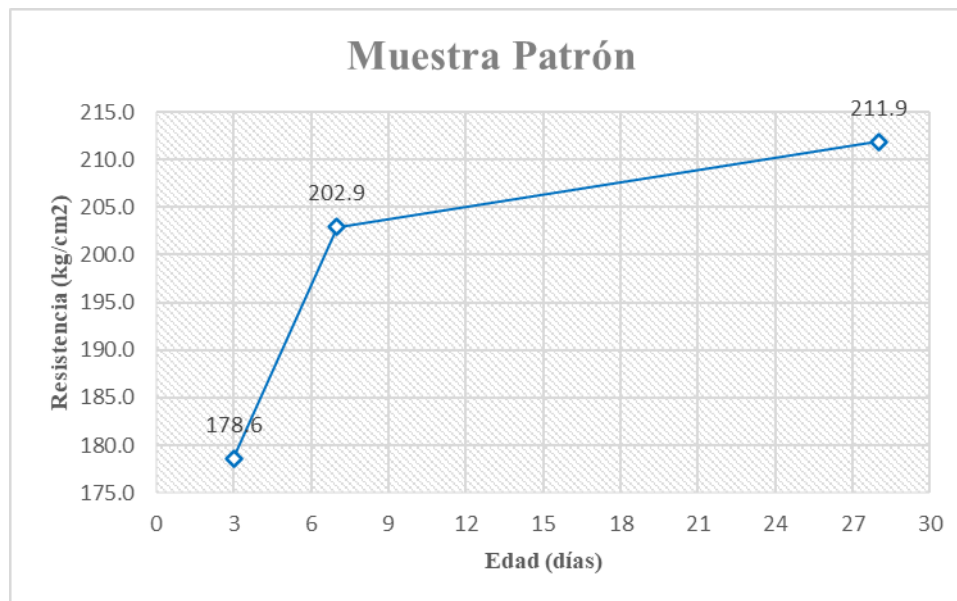


Figura 1: Resistencia a la compresión de la muestra Patrón vs edad de la muestra (días).

**Interpretación:** En el siguiente resultado del ensayo a compresión de la muestra patrón o muestra con cero sustituciones de la arena, se verifica que a los 3 días la muestra alcanzó una resistencia de 178.6 kg/cm<sup>2</sup> siendo en promedio 84%, 202.9 kg/cm<sup>2</sup> al día 7 y 211.9 kg/cm<sup>2</sup> al día 28 siendo resistencias en promedio de 96 % y 100%. Para validar las muestras del mortero patrón se consideró lo que estipula la norma ASTM C 670.

### 1.3.2. Resultados de las resistencias a compresión de las muestras experimentales con sustitución de arena en 3%, 6% y 9%.

Tabla 6: Resistencia a la compresión del mortero experimental con 3% de sustitución de la arena, (kg/cm<sup>2</sup>).

| EXPERIMENTAL<br>CON 3% | EDAD (DIAS)  |              |              |
|------------------------|--------------|--------------|--------------|
|                        | 3            | 7            | 28           |
| P-1                    | 162.3        | 192.8        | 238.8        |
| P-2                    | 175.5        | 196.8        | 238.1        |
| P-3                    | 163.5        | 196.0        | 246.2        |
| P-4                    | 163.1        | 196.8        | 229.0        |
| P-5                    | 163.4        | 204.4        | 232.9        |
| P-6                    | 163.2        | 201.8        | 228.0        |
| <b>PROMEDIO</b>        | <b>165.2</b> | <b>198.1</b> | <b>235.5</b> |

Fuente: Prueba de compresión, Laboratorio GEOMAT SERV E.I.R.L

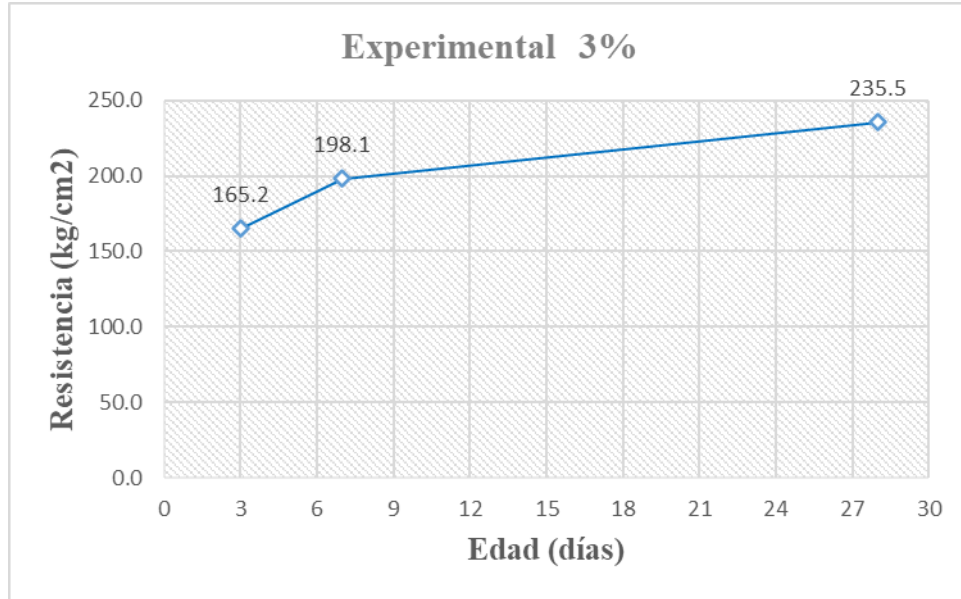


Figura 2: Resistencia a la compresión de muestra experimental con arena sustituido en 3% por poliestireno vs edad de la muestra (días).

**Interpretación:** Según los resultados que apreciamos, podemos concluir que con la adición de 3% de poliestireno las resistencias iniciales de edades 3 y 7 días son inferiores a lo obtenido por la muestra patrón tales son 165.2 kg/cm<sup>2</sup> y 198.1 kg/cm<sup>2</sup>; respecto a la muestra de 28 días de curado, se obtuvo una resistencia superior a lo obtenido del patrón de 235.5 kg/cm<sup>2</sup>.

Tabla 7: Ensayo de resistencia a la compresión del mortero experimental con 6% de sustitución de la arena, (kg/cm<sup>2</sup>).

| EXPERIMENTAL<br>CON 6% | EDAD (DIAS)  |              |              |
|------------------------|--------------|--------------|--------------|
|                        | 3            | 7            | 28           |
| P-1                    | 187.1        | 231.5        | 279.2        |
| P-2                    | 177.4        | 220.3        | 219.3        |
| P-3                    | 184.7        | 234.4        | 274.3        |
| P-4                    | 185.9        | 227.3        | 238.4        |
| P-5                    | 183.0        | 228.0        | 242.1        |
| P-6                    | 183.7        | 224.5        | 248.1        |
| <b>PROMEDIO</b>        | <b>183.6</b> | <b>227.7</b> | <b>250.2</b> |

Fuente: Prueba de compresión, Laboratorio GEOMAT SERV E.I.R.L

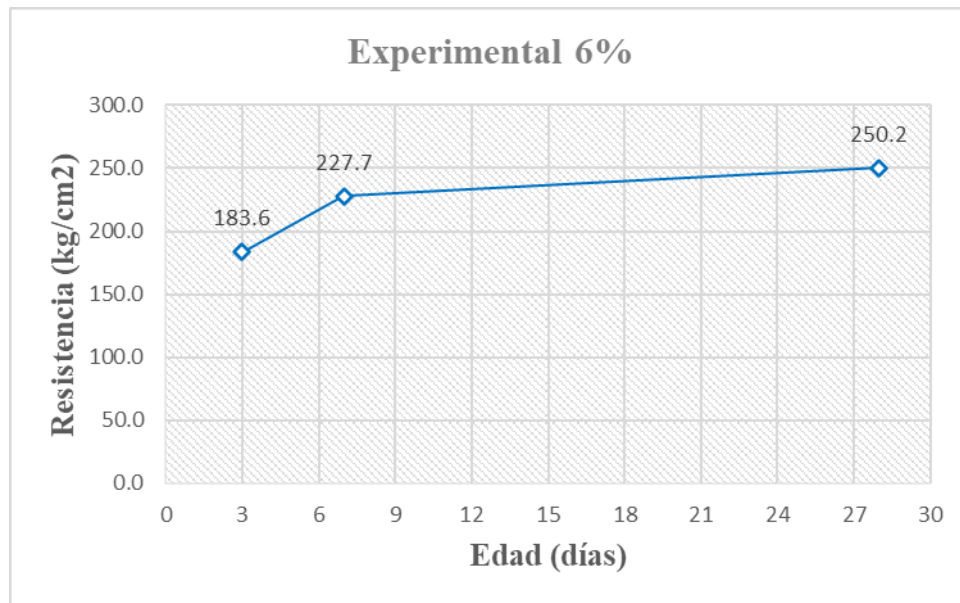


Figura 3: Resistencia a la compresión de muestra experimental con arena sustituido en 6% por poliestireno vs edad de la muestra (días).

**Interpretación:** De acuerdo a los resultados de la muestra del mortero adicionado en 6% por poliestireno reciclado, indica que las resistencias de la muestra experimental son superiores al de la muestra patrón en 87% a los 3 días, 107% al día 7 y 118% al día 28 respectivamente.

Tabla 8: Ensayo de resistencia a la compresión del mortero experimental con 9% de sustitución de la arena, (kg/cm<sup>2</sup>).

| EXPERIMENTAL<br>CON 9% | EDAD (DIAS)  |              |              |
|------------------------|--------------|--------------|--------------|
|                        | 3            | 7            | 28           |
| P-1                    | 197.2        | 233.8        | 241.8        |
| P-2                    | 200.0        | 235.2        | 259.2        |
| P-3                    | 185.4        | 219.5        | 230.2        |
| P-4                    | 203.5        | 229.1        | 230.6        |
| P-5                    | 195.7        | 231.5        | 235.7        |
| P-6                    | 196.1        | 229.0        | 233.4        |
| <b>PROMEDIO</b>        | <b>196.3</b> | <b>229.7</b> | <b>238.5</b> |

Fuente: Prueba de compresión, Laboratorio GEOMAT SERV E.I.R.L

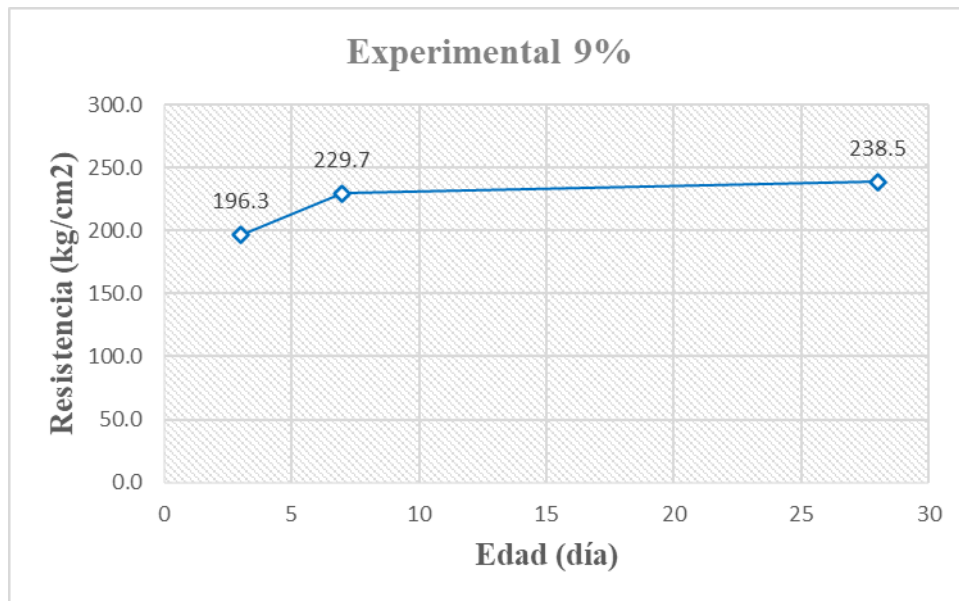


Figura 4: Resistencia a la compresión de muestra experimental con arena sustituido en 9% por poliestireno vs edad de la muestra (días).

**Interpretación:** La figura muestra el incremento de la resistencia de las muestras para las tres distintas edades siendo en promedio de 93% al tercer día, 108% al séptimo día y 113% al día 28 respecto a la muestra patrón.

Tabla 9: Cuadro comparativo de resistencia a la compresión del mortero patrón y experimentales con 3%, 6% y 9% de sustitución de la arena, (kg/cm<sup>2</sup>).

| Edad<br>(Días) | Patrón<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | Experimental                |                             |                             |
|----------------|---------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
|                |                                 | 3%<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | 6%<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | 9%<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) |
| 3              | 178.6                           | 165.2                       | 183.6                       | 196.3                       |
| 7              | 202.9                           | 198.1                       | 227.7                       | 229.7                       |
| 28             | 211.9                           | 235.5                       | 250.2                       | 238.5                       |

Fuente: Prueba de compresión, Laboratorio GEOMAT SERV E.I.R.L

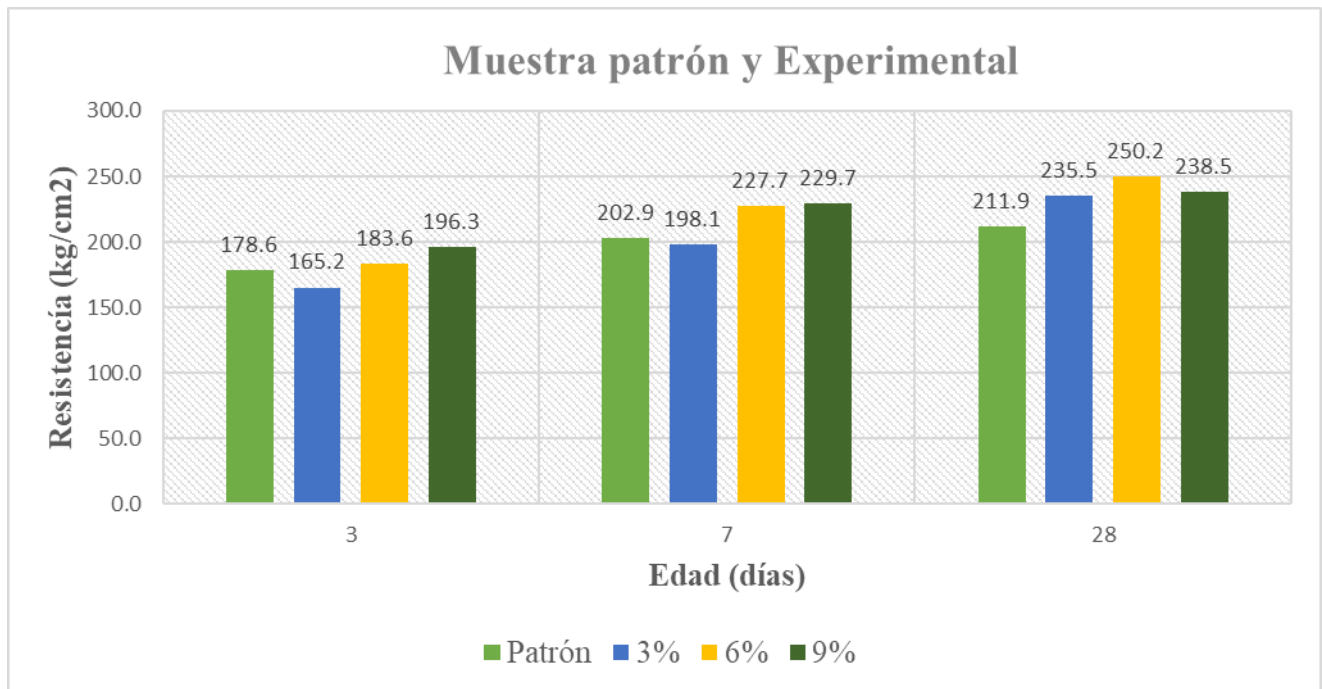


Figura 5: Cuadro comparativo de resistencia a la compresión de muestras patrón y experimentales con arena sustituido en porcentajes variables por poliestireno reciclado vs edad de la muestra (días).

**Interpretación:** Se aprecia que el resultado de la resistencia a compresión de las muestras del mortero sustituido en 3 porcentajes variables a la arena por poliestireno reciclado fueron superiores a las muestras patrón, el incremento de la resistencia de las muestras patrón y experimentales fueron aumentando a medida que pasaban los días, las resistencias iniciales y finales de los morteros experimentales no se vieron afectado por la adición del poliestireno reciclado debido a que los porcentajes fueron mínimos y afecta directamente al agregado fino (arena gruesa) y no al cemento ya que la arena tiene como función proporcionar mayor adherencia a la mezcla, si la sustitución fuera directamente al principal componente (cemento) la resistencia tendería a disminuir en cuanto se incrementa la adición, debido a que este elemento es un material aglutinante compuesto por adhesivos finos y al disminuir este baja la adherencia entre los aglomerantes y así afectando directamente a la resistencia del mortero.

## ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

La investigación realizada sobre la sustitución de la arena gruesa, denominada (**Evaluación de la resistencia a compresión del mortero, con arena gruesa sustituido por fibras de poliestireno reciclado**). Llegó a concluir tanto para las muestras patrón y experimentales con 03%, 06% y 09% de sustitución de arena gruesa por fibras de poliestireno reciclado durante 28 días, resultado de esto se tiene que las muestras cúbicas experimentales fueron más resistentes en comparación a los cubos de la muestra patrón.

A pesar de las diferencias en la resistencia de compresión de las muestras patrón y experimental no significa que la sustitución de la arena en 03%, 06% y 09% por poliestireno reciclado garantice la resistencia al 100 % puesto a que esto es una primera investigación, a la vez conteniendo esta la misma dosificación y relación agua/cemento.

Las resistencias de compresión obtenidas por las muestras experimentales, se debe a la no alteración de la composición física y mecánica del poliestireno reciclado, debido a que se eligió poliestireno en buenas condiciones.

Evaluando los resultados de la figura 1, se aprecia que la muestra convencional presenta una alta resistencia a los 3 días de curado, resistencia de 178.6 kg/cm<sup>2</sup>, después incrementa a 202.9 kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días y finalmente alcanza 211.9 kg/cm<sup>2</sup> al día 28, estos resultados fueron productos de una buena gradación de los agregados finos de acuerdo lo establecido en la NTP 399.607 y a la buena relación agua /cemento.

La muestra experimental con 3% de sustitución de arena por poliestireno reciclado (figura 2) muestra una resistencia a compresión de 165.2 kg/cm<sup>2</sup> a los 3 días de curado incrementando su resistencia a 198.1 kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días y adquiere una mejora a los 28 días llegando a resistir 235.5 kg/cm<sup>2</sup>. El notorio incremento de las resistencias entre las edades es resultado a un lento fraguado inicial a los 3 y 7 días, para después incrementar el día 28 de curado.

La muestra experimental con 6% de sustitución de arena por poliestireno reciclado (figura 3) nos muestra una resistencia a los 3 días de curado, una resistencia de 183.6 kg/cm<sup>2</sup>, aumentando así su resistencia para el día 7 a 227.7 kg/cm<sup>2</sup> y adquiere una mejora al día 28 llegando a resistir 250.2 kg/cm<sup>2</sup>. El aumento entre los 7 y 28 días es debe al lento fraguado inicial de los 7 primeros días, para luego aumentar por el tiempo de curado y superar a la muestra patrón.

La muestra experimental con 9% de sustitución de arena por poliestireno reciclado (figura 4) nos muestra una resistencia 196.3 kg/cm<sup>2</sup> a los 3 días de curado, 229.7 kg/cm<sup>2</sup> al día 7 y 238.5 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de curado. llegando este último con una diferencia inferior al de la muestra con 6% de sustitución de la arena por poliestireno siendo esto 250.2 kg/cm<sup>2</sup> ambos de la misma edad. De esta variación podemos deducir que la resistencia se vio afectado debido a la adición de poliestireno, puesto que a mayor sustitución de arena mayor adición de poliestireno reciclado, el incremento del poliestireno reciclado y su concentración de vacíos en su interior hace que este material posea menos adherencia con el cemento afectando sus características físicas y mecánicas tal como es la resistencia a la compresión.

En relación con los antecedentes de investigación se da análisis lo siguiente:

(Gómez, Carvajal, & Santelices, 2011) En su artículo de investigación dan a conocer la influencia del Polietileno de alta densidad como adición en el mortero de cemento y determinan los cambios en sus propiedades tras agregar el polietileno en tres distintas cantidades, como la resistencia a flexión, compresión y permeabilidad. Obteniéndose como efecto cierta disminución en la resistencia a flexión y compresión tanto así también para la permeabilidad, el autor según otras investigaciones vio conveniente el uso del polietileno de alta densidad picado, debido a su abundancia y contribuyendo con el medio ambiente así adicionando en 0.2, 0.5 y 0.8 % con relación al peso del cemento, los resultados menos pronunciados respecto a los ensayos se dieron en 0.5% adición de dicho material, esto fue a causa de que la investigación contempla como sustitución al cemento y no a la arena como es el nuestro, las muestras experimentales arrojaron menos resistencia ya que el cemento se vio afectado directamente debido a la sustitución por polietileno, en cambio nuestra investigación demuestra resultado favorable ya que las muestras experimentales mostraron mayor resistencia que el patrón.

De igual forma (Ojeda, Mercante, & Fajardo, 2020) realizaron un estudio de fibras plásticas adicionados a la mezcla de mortero con la finalidad de dar aprovechamiento a los materiales reciclables para lo cual los autores realizaron tres distintas dosificaciones uno patrón y dos experimentales con el objetivo de comparar los resultados, de acuerdo a estos resultados el autor menciona que la resistencia a compresión resulta más conveniente el uso de fibras plásticas recicladas alcanzando una resistencia de 25 Mpa ante el patrón de 21.9 Mpa al día 28 de curado, ya que los resultados superaron a la muestra patrón en ambas edades 7 y 28 días de curado cabe mencionar que el uso de fibras mejoro las propiedades estudiadas respecto de morteros sin fibras, de igual forma en nuestra investigación demostramos que el uso de fibras de poliestireno reciclado a porcentaje de 3 y 6 % mejoran su resistencia a compresión del mortero en comparación a la muestra patrón.

(Verónica Ferrándiz, 2013) en su artículo de investigación evalúa la influencia de la adición de distintos tipos y dosificaciones de poliestireno expandido, tanto comercial como procedente del reciclado en las propiedades físicas y mecánicas del mortero, cuyo objetivo fue la fabricación de un material de construcción más sostenible con el medio ambiente. El resultado de esta investigación indica que, al incrementar poliestireno expandido, se reduce la trabajabilidad al igual que la resistencia mecánica y si queremos incrementar estas características tanto la porosidad debemos dar el uso de aditivos. Y a la vista de los resultados podemos afirmar que es posible elaborar mezcla morteros con un alto contenido de poliestireno reciclado y que cumplan con lo establecido en la Norma Técnica Peruana, siempre en cuando a estos morteros de albañilería, necesariamente se le añadirán distintos tipos de aditivos como retenedor de agua, fluidificante y aireante los aditivos se usan para mejorar la trabajabilidad de los morteros, a la vez.

(Riaño & Ayala, 2019), examinaron el efecto que tiene las fibras de plástico tipo PET con diferentes porcentajes respecto al mortero tipo convencional. En función a los resultados adquiridos es viable dar uso el plástico (PET) reciclado obtenido en fibras, puesto que no altera la composición del mortero en porcentajes de adición realizada, se considera una óptima practica para combatir la contaminación del medio ambiente y reducir el alto consumo de plástico PET. Ya viendo los resultados se observa que las muestras cuya adición de fibra al 0.50% presentan mejor comportamiento, mientras disminuye en un 6% la resistencia a compresión en comparación con el mortero convencional. De acuerdo al objetivo principal donde se plantea evaluar la resistencia y durabilidad del mortero modificado con fibras, se puede concluir que a nivel general la resistencia a compresión tiende a ser muy similar respecto al mortero convencional y en caso de la durabilidad se incrementa con el uso de fibras.

## CONCLUSIONES

La reutilización de fibras de poliestireno reciclado como adición en una mezcla de mortero es fundamental sobre todo en lugares donde la abundancia de estos materiales contaminantes es alto y perjudicial para el medio ambiente.

Después del curado de 28 días, las muestras experimentales al 3%, 6% y 9% de sustitución de arena gruesa por poliestireno reciclado, superaron en resistencia a compresión a la muestra convencional de lo cual se concluye que estos porcentajes son adecuados para su aplicación en la construcción de los muros portantes.

Se observa que la resistencia de las muestras patrón y experimental a edades de 3, 7 y 28 días tuvieron sus diferencias siendo la muestra patrón la de menor resistencia a la compresión hasta en un 18% respecto a la muestra experimental cuya adición es de 6% de poliestireno reciclado.

Se entiende que la cantidad de fibras de poliestireno con 3% y 6% de adición no son suficientes para provocar la disminución de la resistencia, en cambio la muestra con adición de 9% de poliestireno reciclado al día 28 de curado, resulta disminuir en comparación al resto de las muestras experimentales aun así siendo superior a la muestra patrón, esto debido a que concentra mayor cantidad de vacíos de poliestireno y restando estos la compacidad al mortero resultando así menor resistencia a compresión al ser aplicado.

Es importante mencionar que la adición de poliestireno a partir del 9% incrementa el descenso o disminución en la resistencia a la compresión del mortero.

También se sabe que para adiciones mayores a 9% de poliestireno se obtiene una mezcla de mortero con menor trabajabilidad lo que produce aglomeración del poliestireno generando así una mayor cantidad de vacíos que disminuyen la compacidad del mortero y por lo tanto su resistencia a compresión.

Al agregar poliestireno reciclado a una mezcla de mortero evaluamos que hasta cierto punto la adición de este material no altera en la resistencia siendo esto en 3% y 6% a partir de esta cantidad como es el caso nuestro, 9% de adición de poliestireno al día 28 de curado hace notorio en su disminución de la resistencia sin embargo no podemos establecer una relación, que una mayor cantidad de poliestireno genere una mayor disminución de la resistencia puesto que para cada porcentaje se obtuvieron una resistencias iniciales crecientes experimentando posteriormente una ligera disminución para la muestra con 9% de adición de poliestireno al día 28 de curado.

Como indica (Flores Fernández, 2014) El plástico PET no presenta ninguna alteración al interactuar con la composición del mortero, por lo tanto se admite su uso como refuerzo, las tiras de PET reciclado al igual que el poliestireno reciclado sometido a tensión directa presenta mejora en su comportamiento después de la falla, el mejor método para la obtener la tensión de un mortero es el ensayo de compresión, puesto que es el más cercano al valor obtenido por tensión directa, las muestras de mortero con adición de fibra PET tras someter a fallas no presenta una separación como la muestra convencional, sin embargo las muestras con adición de poliestireno si presentan una separación cuando se someten a fallas a razón de esto es recomendable el uso en la construcción en lugares de poca sismicidad y así evitar diferentes fallas.

Los resultados indican que la presencia de poliestireno en la mezcla incide en la disminución del coeficiente de absorción capilar también que concluye que la durabilidad de los morteros mejora con la adición del poliestireno haciéndolos más viables para su uso sostenible en morteros de mampostería.

Estimamos que para las adiciones de 3% y 6% de poliestireno reciclado se podría dar uso del material para elementos que no soporten importantes cargas debido a que no contamos con antecedentes suficientes para reglamentar esta adición.

De acuerdo a los resultados obtenidos estimamos que el porcentaje óptimo de adición de poliestireno reciclado corresponde al 6%, no descartando al 3% puesto que los resultados son cercanos entre sí. Por otro lado, descartamos la adición de 9% debido a la disminución de la resistencia al día 28 de curado.

## REFERENCIAS

- Bernat, E., Puigvertb, F., Abdelmoulac, H., & Gild, L. (2018). Adición de Fibras de Esparto en Mortero de Cemento. *Revista de la Construcción*, 72-84.
- Borja, S. M. (2012). *Metodología de la Investigación Científica para ingenieros*. Chiclayo: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Chanchí, G., & Canabal, C. (2018). Efectos de la adición de Poliestireno Expandido Reciclado (REPS) en las propiedades físicas y mecánicas de un mortero con dosificación cemento - arena 1:3. *revista digital del cedex*, 189.
- Delgado R., A. (10 de Julio de 2018). *Pontificia Universidad Católica del Perú*. Obtenido de <https://www.pucp.edu.pe/climadecambios/noticias/el-tecnopor-la-amenaza-invisible/#:~:text=Un%20problema%20adicional%20es%20que,y%2C%20finalmente%2C%20el%20mar>.
- Flores Fernández, J. A. (2014). *Compuesto base cemento reforzado con fibras de PET*. México: CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES AVANZADOS S.C.
- Gómez, M. S., Carvajal, A. M., & Santelices, V. (Diciembre de 2011). Influencia del poliestileno de Alta Densidad (PEAD) usado como adición en el mortero de cemento. *Revista de la Construcción*, 110-121.
- Izquierdo, S., Mejia de Gutierrez, R., & Torres, J. (2014). Estudio de morteros adicionados con catalizador usado de craqueo catalítico (FCC) bajo el efecto de altas temperaturas. *Ingeniería y Competitividad*, 297-308.
- J. C. Chanchí, G., & Cordero, C. S. (2018). Efectos de la adición de Poliestireno Expandido Reciclado (REPS) en las propiedades físicas y mecánicas de un mortero con dosificación cemento-arena 1:3. *Dialnet*, 63-75.
- Ojeda, J. P., Mercante, I. T., & Fajardo, N. H. (Febrero de 2020). DISEÑO Y ENSAYO DE FIBRAS PLASTICAS RECICLADAS PARA REFUERZO DE MORTERO. *REVISTA INTERNACIONAL DE CONTAMINACION AMBIENTAL*, 55-62.
- Riaño, & Ayala. (2019). *INFLUENCIA DE FIBRAS TIPO PET EN LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO*. Colombia.
- Verónica Ferrándiz, V. (2013). Diseño de un mortero de cemento con adición de residuo polimérico de poliestireno expandido (eps). *Dialnet*, 10-15.