



Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), mayo-junio 2026,
Volumen 10, Número 3.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v10i3

“INFLUENCIA DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO EN CONCRETOS LIGEROS PARA ESTRUCTURAS ARMADAS”

**“THE EFFECT OF EXPANDED POLYSTYRENE ON
LIGHTWEIGHT CONCRETE FOR REINFORCED
STRUCTURES”**

Mg. Allende Elías Gómez Ramírez
Universidad Nacional del Santa

Dr. Fidel Gregorio Aparicio Roque
Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo

Mg. Maza Rubina David Nonato
Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo

“Influencia del Poliestireno Expandido en Concretos Ligeros para Estructuras Armadas”

Mg. Allende Elías Gómez Ramírez¹

agomezr@unasam.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0002-8497-5686>

Universidad Nacional del Santa, Escuela de
Posgrado, Programa de Doctorado en Ingeniería
Civil, Nuevo Chimbote, Perú

Dr. Fidel Gregorio Aparicio Roque

daparicior@unasam.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0003-1405-7588>

Universidad Nacional Santiago Antúnez de
Mayolo

Mg. Maza Rubina David Nonato

dmazar@unasam.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0003-2838-6868>

Universidad Nacional Santiago Antúnez de
Mayolo

RESUMEN

La construcción moderna demanda materiales que combinen resistencia estructural con sostenibilidad ambiental. El poliestireno expandido (EPS) ofrece un potencial significativo para desarrollar concretos ligeros, pero su aplicación en estructuras armadas carece de criterios técnicos claros. Esta investigación evaluó la influencia del EPS en las propiedades físicas y mecánicas del concreto ligero ($f'c=175 \text{ kg/cm}^2$) destinado a estructuras armadas, abordando cuatro objetivos específicos: (1) diseñar la mezcla según ACI 211.1-91 con agregados de la cantera del río Moza (San Marcos, Áncash); (2) determinar dosificaciones de EPS (0%, 10%, 15%, 20%, 30%) respecto al volumen del agregado grueso; (3) medir el asentamiento (trabajabilidad) mediante ensayo de revenimiento; y (4) determinar la resistencia a compresión a 7, 14 y 28 días con procesamiento estadístico (ANOVA, normalidad, homogeneidad de varianzas). Mediante un diseño experimental puro completamente al azar, se ensayaron 45 probetas cilíndricas (15×30 cm). Los resultados mostraron que los tratamientos con 10% y 15% de EPS cumplieron la resistencia mínima ($\geq 175 \text{ kg/cm}^2$) y los límites de asentamiento normativos (5.08–10.16 cm). Contenidos $\geq 20\%$ superaron dichos límites. El ANOVA confirmó diferencias estadísticamente significativas para tratamientos y tiempo de curado ($p=0.000$), con un modelo que explicó el 98.8% de la variabilidad ($R^2=0.988$). Se concluye que el EPS en proporciones controladas ($\leq 15\%$) permite obtener concretos ligeros técnica, normativa y estadísticamente viables para aplicaciones estructurales.

Palabras clave: poliestireno expandido (EPS), concreto ligero, resistencia a la compresión, trabajabilidad, ACI 211.1-91, estructuras armadas.

¹ Autor principal

Correspondencia: agomezr@unasam.edu.pe

“The Effect of Expanded Polystyrene on Lightweight Concrete for Reinforced Structures”

ABSTRACT

Modern construction demands materials that combine structural strength with environmental sustainability. Expanded polystyrene (EPS) offers significant potential for developing lightweight concrete, but its application in reinforced structures lacks clear technical criteria. This research evaluated the influence of EPS on the physical and mechanical properties of lightweight concrete ($f'c=175 \text{ kg/cm}^2$) intended for reinforced structures, addressing four specific objectives: (1) design the mix according to ACI 211.1-91 using aggregates from the Mozna river quarry (San Marcos, Áncash); (2) determine EPS dosages (0%, 10%, 15%, 20%, 30%) relative to coarse aggregate volume; (3) measure slump (workability) using the slump test; and (4) determine compressive strength at 7, 14, and 28 days with statistical processing (ANOVA, normality, homogeneity of variances). Using a pure completely randomized experimental design, 45 cylindrical specimens (15×30 cm) were tested. Results showed that treatments with 10% and 15% EPS met the minimum required strength ($\geq 175 \text{ kg/cm}^2$) and normative slump limits (5.08–10.16 cm). Contents $\geq 20\%$ exceeded these limits. ANOVA confirmed statistically significant differences for treatments and curing time ($p=0.000$), with a model explaining 98.8% of variability ($R^2=0.988$). It is concluded that EPS in controlled proportions ($\leq 15\%$) yields lightweight concretes that are technically, normatively, and statistically viable for structural applications.

Keywords: expanded polystyrene (EPS), lightweight concrete, compressive strength, workability, ACI 211.1-91, reinforced structures.

*Artículo recibido 25 abril 2026
Aceptado para publicación: 25 mayo 2026*



1. INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción se enfrenta al reto de desarrollar materiales que no solo ofrezcan una elevada resistencia mecánica y durabilidad, sino que también respondan a los crecientes requerimientos de sostenibilidad ambiental. El concreto continúa siendo el material más empleado a nivel global debido a su notable versatilidad, disponibilidad y capacidad de adaptación (Neville & Brooks, 2010). No obstante, el concreto convencional presenta limitaciones importantes, entre ellas su elevado peso propio, lo cual incide negativamente en las exigencias estructurales, así como en los costos relacionados con la cimentación y el transporte (Mehta & Monteiro, 2014).

Ante el incremento en la demanda de materiales sostenibles, el concreto ligero se perfila como una alternativa técnica y ambientalmente viable. Entre las estrategias más estudiadas para su elaboración destaca el uso de agregados no convencionales, como el poliestireno expandido (EPS), caracterizado por su baja densidad (compuesto por más del 90% de aire encapsulado) y su condición de residuo plástico de difícil degradación (ACI Committee 213, 2014; Ashour & Korany, 2010). La incorporación de EPS no solo disminuye el peso del concreto, sino que también representa una solución sostenible al problema creciente de acumulación de desechos sólidos urbanos (Hama & Mahmoud, 2017; Chandra & Berntsson, 2020).

Diversos estudios han demostrado que la incorporación de EPS contribuye al mejoramiento del aislamiento térmico y acústico, a la reducción de la carga muerta y al aprovechamiento de residuos reciclables (Babu & Babu, 2003; Huamaní & Quispe, 2020). Sin embargo, uno de los principales desafíos técnicos sigue siendo la disminución de la resistencia a compresión asociada a la sustitución parcial de los agregados tradicionales por EPS (Almeshal et al., 2020). En el contexto peruano, especialmente en la sierra de Áncash, este tipo de investigaciones es aún incipiente, particularmente cuando se emplean agregados provenientes de canteras de río.

Por lo tanto, esta investigación plantea como **problema general**: ¿Cómo influirá la incorporación de poliestireno expandido (EPS) en las propiedades físicas y mecánicas del concreto ligero $f'_{c}=175 \text{ kg/cm}^2$ $f'_{c}=175 \text{ kg/cm}^2$ destinado a estructuras armadas? El **objetivo general** fue evaluar dicha influencia, y los **objetivos específicos** fueron: (1) diseñar las mezclas de concreto utilizando agregados de la cantera del río Mozna según ACI 211.1-91; (2) determinar la dosificación de EPS en

los tratamientos T₁ (10%), T₂ (15%), T₃ (20%) y T₄ (30%) en función del volumen del agregado grueso, estableciendo un tratamiento patrón T₀ (0%); (3) medir el asentamiento mediante ensayo de revenimiento para evaluar la trabajabilidad; y (4) determinar la resistencia a la compresión a 7, 14 y 28 días, procesando estadísticamente los resultados mediante ANOVA, pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas.

2. METODOLOGÍA

2.1 Enfoque y Diseño de Investigación

La investigación fue de tipo **aplicada**, con un **enfoque cuantitativo** y un **nivel explicativo**. Se empleó un **diseño experimental puro** completamente al azar (DCA), donde se manipuló intencionalmente la variable independiente (porcentaje de EPS como sustituto parcial del agregado grueso) para evaluar su efecto sobre la variable dependiente (propiedades del concreto ligero: resistencia a compresión y asentamiento). La variable interviniente fueron las condiciones de curado (7, 14 y 28 días). Este diseño permitió establecer relaciones causales claras, controlando la influencia de variables externas (Hernández Sampieri et al., 2018).

2.2 Tratamientos y Muestra

Se establecieron cinco tratamientos con tres repeticiones cada uno:

- T₀T₀: 0% EPS (control)
- T₁T₁: 10% EPS
- T₂T₂: 15% EPS
- T₃T₃: 20% EPS
- T₄T₄: 30% EPS

La muestra estuvo compuesta por **45 probetas cilíndricas** (15 cm de diámetro × 30 cm de altura), distribuidas para ser ensayadas a edades de curado de 7, 14 y 28 días (tres probetas por tratamiento por edad). El muestreo fue intencional no probabilístico, seleccionado según criterios de control experimental, reproducibilidad técnica y representatividad para aplicaciones estructurales, conforme a las normas ASTM C39/C39M y ASTM C192/C192M.

2.3 Materiales y Diseño de Mezcla (Objetivo Específico 1)

Los agregados (fino y grueso) provinieron de la **cantera del río Mozna**, ubicada en el distrito de San Marcos, región Áncash. Se utilizó cemento Portland, agua potable y poliestireno expandido (EPS) en perlas.

El diseño de mezcla para una resistencia de $f'_c=175 \text{ kg/cm}^2$ se realizó siguiendo el método de la norma **ACI 211.1-91**. Los parámetros iniciales se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1
Parámetros Iniciales del Diseño de Mezcla de Concreto

Ítem	Descripción	Valor	Observaciones
1.0	Resistencia a compresión requerida	175 kg/cm ²	A pedido del solicitante
2.0	Factor de seguridad	70 kg/cm ²	—
3.0	$f_{cr}'=f'_c+f_{cr}'=f'_c$ + Factor de seguridad	245 kg/cm ²	—
4.0	Asentamiento	3 a 4 pulgadas	7.62–10.16 cm
5.0	Cantidad de aire atrapado	2.50%	—
6.0	Relación A/C	0.55	—
7.0	Agua de mezclado	185 kg/m ³	—
8.0	Contenido de cemento	336.4 kg/m ³	7.9 bolsas/m ³

Nota. Los datos corresponden a los parámetros establecidos para el diseño de mezcla. Fuente: Mathlab Ingeniería Sismorresistente E.I.R.L. (2023).

Tabla 2*Dosificación Final del Diseño de Mezcla por Metro Cúbico (Corregida por Humedad y Absorción)*

Material	Cantidad (kg/m ³)	Observaciones
Cemento	356.4	Equivalente a 7.9 bolsas de 42.5 kg
Arena (Agregado fino)	660.6	Peso seco corregido
Piedra chancada (Agregado grueso)	1100.6	Peso seco corregido
Agua	185.0	Agua efectiva de mezclado

Nota. Fuente: Mathlab Ingeniería Sismorresistente E.I.R.L. (2023).

Los agregados presentaron porcentajes de absorción de 2.86% (fino) y 1.28% (grueso), siendo corregidos por humedad conforme a las normas ASTM C128-15 y C127-15 (equivalentes a NTP 400.017:2020 y NTP 400.018:2020). Los análisis granulométricos mostraron curvas dentro de los límites de ASTM C33/C33M-18.

2.4 Dosificación Experimental (Objetivo Específico 2)

La dosificación de EPS se determinó en función del **volumen del agregado grueso**. La Tabla 3 presenta el diseño experimental.

Tabla 3*Diseño Experimental para la Dosificación de EPS Respecto al Volumen del Agregado Grueso*

Tratamiento	Dosificación de EPS (% del volumen del agregado grueso)	Tipo de tratamiento	Número de repeticiones	Edades de curado (días)
T ₀	0%	Control	3	7, 14, 28
T ₁	10%	Experimental	3	7, 14, 28
T ₂	15%	Experimental	3	7, 14, 28
T ₃	20%	Experimental	3	7, 14, 28
T ₄	30%	Experimental	3	7, 14, 28

Nota. El experimento se enmarca dentro de un diseño experimental puro con un diseño completamente al azar.

El modelo general del diseño completamente al azar se expresó como:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$$

Donde Y_{ij} representa la respuesta observada (resistencia a compresión), μ la media general, τ_i el efecto del tratamiento i , y ϵ_{ij} el error aleatorio asociado a la j -ésima observación del tratamiento i .

3. Procedimiento y Ensayos

3.1 Ensayo de Asentamiento (Objetivo Específico 3)

El ensayo de asentamiento (slump) se realizó conforme a las normas **ASTM C143** y **MTC E 705** para cada tratamiento en estado fresco. Se utilizó un cono de Abrams normalizado, base metálica rígida, varilla de compactación y regla metálica graduada. El valor de asentamiento se registró inmediatamente después del mezclado para cada dosificación.

3.2 Ensayo de Resistencia a la Compresión (Objetivo Específico 4)

El ensayo de resistencia a la compresión se realizó según las normas **ASTM C39** y **NTP 339.034** a los 7, 14 y 28 días de curado. Las probetas cilíndricas (15×30 cm) fueron moldeadas, curadas en condiciones

controladas (tanque de curado) y ensayadas en una máquina universal de compresión debidamente calibrada, registrando la carga máxima de rotura.

3.3 Equipos e Instrumentos

Todos los equipos (balanzas digitales Ohaus R21P30ZH, PERUTEST WT60001GF, OHAUS SPX622; horno eléctrico; máquina de compresión; cono de Abrams) contaban con **certificados de calibración vigentes** emitidos por Calibratec S.A.C., bajo trazabilidad a INACAL y la norma NTP-ISO/IEC 17025:2017. Los ensayos se realizaron en el laboratorio certificado **MATHLAB Ingeniería Sismorresistente E.I.R.L.**

3.4 Análisis Estadístico (Objetivo Específico 4)

Para el procesamiento estadístico se aplicó:

- **ANOVA de un factor** para cada edad de curado, con nivel de significancia $\alpha=0.05$.
- **Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk** para verificar la distribución normal de los datos.
- **Prueba de homogeneidad de varianzas de Levene** para verificar el supuesto de homocedasticidad.
- **Prueba post hoc de Duncan** para identificar diferencias entre grupos.
- **Coefficiente de determinación (R^2) y coeficiente de variación (CV)** para evaluar la bondad del modelo y la precisión experimental.

El criterio de decisión fue: Si $p \leq 0.05$, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1).

4. RESULTADOS

4.1 Resultados del Objetivo Específico 1: Diseño de Mezcla según ACI 211.1-91

El diseño de mezcla elaborado con agregados de la cantera del río Moza cumplió satisfactoriamente con los parámetros técnicos requeridos (Tablas 1 y 2). La relación agua/cemento de 0.55, el asentamiento de 3 a 4 pulgadas, el contenido de cemento de 356.4 kg/m³ y el agua de mezclado de 185 kg/m³ se encuentran dentro de los rangos establecidos por el ACI 211.1-91 para concretos convencionales y ligeros estructurales. Los análisis granulométricos de los agregados mostraron curvas dentro de los límites normativos de ASTM C33/C33M-18, garantizando una adecuada compacidad y trabajabilidad.

4.2 Resultados del Objetivo Específico 2: Dosificación de EPS

La Tabla 3 presentó el diseño experimental con las dosificaciones establecidas. Se confirmó la manipulación intencional de la variable independiente en cinco niveles (0%, 10%, 15%, 20%, 30% de sustitución del volumen del agregado grueso), con tres repeticiones por tratamiento y evaluación a tres edades de curado.

4.3 Resultados del Objetivo Específico 3: Asentamiento (Trabajabilidad)

La Tabla 4 y la Figura 1 presentan los resultados del ensayo de revenimiento.

Tabla 4

Comparación de Asentamientos del Concreto con Adición de EPS según los Límites del ACI 211.1

Tratamiento	Porcentaje de EPS (%)	Asentamiento promedio (cm)	Límite según ACI (cm)	Cumple ACI 211.1
T ₀	0%	8.00	5.08 – 10.16	Sí
T ₁	10%	9.30	5.08 – 10.16	Sí
T ₂	15%	9.67	5.08 – 10.16	Sí
T ₃	20%	10.50	5.08 – 10.16	No
T ₄	30%	11.17	5.08 – 10.16	No

Nota. Los tratamientos T₀, T₁ y T₂ cumplen con el rango establecido por el ACI 211.1-91; T₃ y T₄ lo superan, indicando riesgo de segregación.

Se observó una tendencia ascendente en el asentamiento conforme se incrementó el contenido de EPS. Los tratamientos con hasta 15% de EPS mantuvieron la trabajabilidad dentro del rango admisible para concreto estructural consolidado por vibración mecánica. Los tratamientos con 20% y 30% superaron el límite superior normativo, comprometiendo la cohesión de la mezcla.

4.4 Resultados del Objetivo Específico 4: Resistencia a la Compresión y Análisis Estadístico

Resistencia a la Compresión

La Tabla 5 presenta los valores de resistencia a la compresión a los 28 días, y la Tabla 6 muestra la evolución completa a 7, 14 y 28 días.

Tabla 5

Resistencia a la Compresión Promedio a los 28 días

Tratamiento	% EPS	Resistencia promedio a 28 días (kg/cm ²)	% respecto al control	Cumple E.060 (≥ 175 kg/cm ²)
T ₀	0%	228.0	100.0%	Sí
T ₁	10%	208.3	91.4%	Sí
T ₂	15%	192.7	84.5%	Sí
T ₃	20%	176.7	77.5%	Límite
T ₄	30%	157.0	68.9%	No

Nota. Se observa una disminución progresiva de la resistencia con el incremento del contenido de EPS.

Tabla 6

Resistencia a la Compresión del Concreto con Diferentes Porcentajes de EPS a 7, 14 y 28 Días (kg/cm²)

Tratamiento	% EPS	7 días (promedio)	14 días (promedio)	28 días (promedio)
T ₀	0%	205.0	217.0	228.0
T ₁	10%	190.0	198.3	208.3
T ₂	15%	176.0	185.0	192.7
T ₃	20%	161.0	170.0	176.7
T ₄	30%	141.0	150.0	157.0

Nota. Los valores corresponden a promedios de tres repeticiones por tratamiento y edad de curado.

Estadísticos Descriptivos

Las Tablas 7 a 11 presentan los estadísticos descriptivos para cada tratamiento.

Tabla 7

Estadísticos Descriptivos – Concreto Patrón (0% EPS)

Estadístico	Valor
Media	218.11 kg/cm ²
Desviación estándar	8.95 kg/cm ²
Varianza	80.11
Coefficiente de asimetría	-0.046
Curtosis	-1.149
N	9
IC 95%	[211.23, 224.99]

Tabla 8

Estadísticos Descriptivos – Concreto con 10% EPS

Estadístico	Valor
Media	198.44 kg/cm ²
Desviación estándar	8.88 kg/cm ²
Varianza	78.78
Coefficiente de asimetría	0.046
Curtosis	-0.912
N	9
IC 95%	[191.62, 205.27]

Tabla 9*Estadísticos Descriptivos – Concreto con 15% EPS*

Estadístico	Valor
Media	183.33 kg/cm ²
Desviación estándar	8.37 kg/cm ²
Varianza	70.00
Coefficiente de asimetría	-0.128
Curtosis	-1.017
N	9
IC 95%	[176.90, 189.76]

Tabla 10*Estadísticos Descriptivos – Concreto con 20% EPS*

Estadístico	Valor
Media	168.00 kg/cm ²
Desviación estándar	8.02 kg/cm ²
Varianza	64.25
Coefficiente de asimetría	-0.144
Curtosis	-0.748
N	9
IC 95%	[161.84, 174.16]

Tabla 11*Estadísticos Descriptivos – Concreto con 30% EPS*

Estadístico	Valor
Media	148.11 kg/cm ²
Desviación estándar	8.13 kg/cm ²
Varianza	66.11
Coefficiente de asimetría	-0.140
Curtosis	-0.846
N	9
IC 95%	[141.86, 154.36]

Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk)**Tabla 12***Prueba de Normalidad de Shapiro-Wilk para la Resistencia a la Compresión*

Tratamiento	% EPS	Estadístico	gl	Sig. (p-valor)	Conclusión
T ₀	0%	0.975	9	0.935	Distribución normal
T ₁	10%	0.958	9	0.778	Distribución normal
T ₂	15%	0.969	9	0.885	Distribución normal
T ₃	20%	0.969	9	0.888	Distribución normal
T ₄	30%	—	9	—	Distribución normal

Nota. Todos los valores de significancia (Sig.) fueron superiores a 0.05, por lo que se acepta la hipótesis nula de normalidad en todos los tratamientos.

Prueba de Homogeneidad de Varianzas (Levene)

Tabla 13

Prueba de Homogeneidad de Varianzas de Levene

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig. (p-valor)	Conclusión
Se basa en la media	0.041	3	32	0.989
Se basa en la mediana	0.035	3	32	0.991
Se basa en la mediana (gl ajustado)	0.035	3	31.752	0.991
Se basa en la media recortada	0.041	3	32	0.989

Nota. Todos los valores de significancia (Sig.) fueron superiores a 0.05, cumpliéndose el supuesto de homocedasticidad requerido para el ANOVA.

Análisis de Varianza (ANOVA)

Tabla 14

ANOVA para la Resistencia a la Compresión

Fuente	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig. (p-valor)
Tratamientos (% EPS)	12509.86	4	3127.46	97.36	0.000
Días (Curado)	2053.72	2	1026.86	171.73	0.000
Error	179.39	30	5.98		
Total corregido	14742.97	35			

Nota. $R^2=0.988$ (R^2 ajustada = 0.986). Coeficiente de variación (CV) = 1.335%.

El ANOVA mostró que tanto los tratamientos (porcentaje de EPS) como los días de curado tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la resistencia a la compresión ($p=0.000$ $p=0.000$ en ambos casos). El modelo explica el 98.8% de la variabilidad total observada. El bajo coeficiente de variación (1.335%) evidencia una alta precisión experimental.

Prueba Post Hoc de Duncan

Tabla 15

Prueba Post Hoc de Duncan para la Resistencia a la Compresión según Tiempo de Curado

fc				
Duncan				
Días	N	Subconjunto		
		1	2	3
7	12	165.17		
14	12		174.58	
28	12			183.67
Sig.		1	1	1

Nota. La tabla muestra los resultados de la prueba post hoc de Duncan aplicada a la resistencia a la compresión (f_c), considerando las edades de curado de 7, 14 y 28 días. Los subconjuntos homogéneos indican diferencias significativas entre los tiempos de curado, evidenciando un incremento estadísticamente significativo de la resistencia a la compresión conforme aumenta la edad de curado del concreto.

5. DISCUSIÓN

5.1 Discusión del Objetivo Específico 1: Diseño de Mezcla

El diseño de mezcla según ACI 211.1-91 utilizando agregados de la cantera del río Mozna resultó técnicamente adecuado, cumpliendo con los parámetros de resistencia, trabajabilidad y dosificación. Los valores de absorción (2.86% para el agregado fino y 1.28% para el grueso) y las correcciones por humedad realizadas según ASTM C128-15 y C127-15 aseguraron el control de la demanda de agua efectiva y la estabilidad volumétrica de la mezcla (ASTM International, 2015a, 2015b). La inclusión de un 2.5% de aire atrapado es coherente con las recomendaciones de ACI 301-20 para climas templados, contribuyendo a la durabilidad (American Concrete Institute, 2020). La utilización de agregados locales

responde además a principios de sostenibilidad, reduciendo costos de transporte y emisiones, en consonancia con ACI 130R-19 (ACI Committee 130, 2019).

5.2 Discusión del Objetivo Específico 2: Dosificación de EPS

La determinación de las dosificaciones de EPS (0%, 10%, 15%, 20%, 30%) en función del volumen del agregado grueso permitió establecer un diseño experimental con un tratamiento control y cuatro tratamientos experimentales. Los resultados demostraron que las dosificaciones de 10% y 15% mantuvieron un comportamiento físico-mecánico compatible con los requisitos para concreto estructural ligero, mientras que contenidos $\geq 20\%$ generaron pérdidas significativas de desempeño. Estos hallazgos coinciden con lo reportado por Shah et al. (2024), quienes encontraron que la combinación óptima de EPS y fibras de acero se alcanza con 15% de EPS, y por Vera Pulido (2018), quien identificó dosificaciones de hasta 0.8% de EPS (equivalente en volumen a rangos similares) como viables para elementos estructurales.

5.3 Discusión del Objetivo Específico 3: Asentamiento

Los resultados del ensayo de revenimiento revelaron una tendencia ascendente en el asentamiento conforme se incrementó el contenido de EPS. Los tratamientos T_0 (8.00 cm), T_1 (9.30 cm) y T_2 (9.67 cm) cumplieron con el rango normativo ACI 211.1 (5.08–10.16 cm), mientras que T_3 (10.50 cm) y T_4 (11.17 cm) lo superaron, indicando riesgo potencial de segregación y pérdida de uniformidad. Según la MTC E 705 y ACI 211.1, para elementos estructurales consolidados por vibración mecánica, valores de asentamiento superiores a 10.16 cm comprometen la cohesión de la mezcla (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2020; American Concrete Institute, 1991). Esta situación coincide con lo observado por Shah et al. (2024), quienes reportaron problemas de segregación en mezclas con altos porcentajes de EPS. Por lo tanto, para mantener condiciones óptimas de trabajabilidad, se recomienda no superar el 15% de adición de EPS en volumen.

5.4 Discusión del Objetivo Específico 4: Resistencia a la Compresión y Análisis Estadístico

La resistencia a la compresión disminuyó progresivamente con el incremento del contenido de EPS. Los tratamientos T_1 (10%) y T_2 (15%) alcanzaron resistencias promedio a 28 días de 208.3 kg/cm² y 192.7 kg/cm² respectivamente, superando el mínimo estructural exigido por la norma peruana E.060 (175 kg/cm²) (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2014). El tratamiento T_3 (20%) alcanzó

apenas 176.7 kg/cm² (valor límite), mientras que T₄ (30%) obtuvo 157.0 kg/cm², incumpliendo el requisito estructural.

Esta pérdida de resistencia se debe a la baja densidad del EPS, que al actuar como un agregado ligero no estructural reduce la capacidad de transmisión de cargas y genera una matriz cementicia más porosa (Shah et al., 2024; Han & Fan, 2025). Estudios previos coinciden en que la dosificación óptima no debe superar el 15%, ya que a partir de ese punto la resistencia disminuye de forma considerable (Dao, 2024; Vera Pulido, 2018).

El análisis estadístico robusto confirmó estos hallazgos. La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk ($p > 0.05$ en todos los tratamientos) y la prueba de homogeneidad de varianzas de Levene ($p > 0.05$) validaron los supuestos del ANOVA. El ANOVA mostró diferencias estadísticamente significativas tanto para los tratamientos como para los tiempos de curado ($p = 0.000$), con un coeficiente de determinación $R^2 = 0.988$, indicando que el 98.8% de la variabilidad en la resistencia puede explicarse por estos dos factores combinados. La prueba post hoc de Duncan confirmó un incremento significativo de la resistencia con la edad de curado. El bajo coeficiente de variación (1.335%) evidencia una alta estabilidad y precisión experimental.

Dado que los valores de significancia fueron inferiores a 0.05, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1), confirmando que la incorporación de EPS influye significativamente en las propiedades físicas y mecánicas del concreto ligero.

6.- CONCLUSIONES

1. Se concluye que la incorporación de poliestireno expandido (EPS) en proporciones de hasta un 15% influye significativamente en las propiedades físicas y mecánicas del concreto ligero $f'_c=175 \text{ kg/cm}^2$, permitiendo reducir la densidad sin comprometer la resistencia mínima estructural exigida por la norma E.060 y los criterios del ACI.
2. El diseño de mezcla según el método ACI 211.1-91, utilizando agregados de la cantera del río Moza, resultó técnicamente adecuado, cumpliendo con los parámetros de resistencia, trabajabilidad y durabilidad requeridos para concretos ligeros estructurales.
3. Las dosificaciones óptimas de EPS corresponden a los tratamientos T₁ (10%) y T₂ (15%), ya que mantienen la resistencia a compresión ($>175 \text{ kg/cm}^2$) y el asentamiento dentro



de los rangos normativos (5.08-10.16 cm). Dosificaciones $\geq 20\%$ producen pérdidas significativas de desempeño mecánico y trabajabilidad.

4. El análisis estadístico (ANOVA, $p < 0.05$, $R^2 = 0.988$) confirma que tanto el porcentaje de EPS como el tiempo de curado tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la resistencia a compresión, validando la hipótesis alterna y la confiabilidad de los resultados.
5. El uso controlado de EPS ($\leq 15\%$) se presenta como una alternativa sostenible y viable para elementos de concreto armado, contribuyendo a la reducción de cargas muertas y al aprovechamiento de residuos plásticos, sin comprometer críticamente el desempeño estructural.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACI Committee 130. (2019). *Report on the sustainability of concrete (ACI 130R-19)*. American Concrete Institute.

ACI Committee 211. (1991). *Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete (ACI 211.1-91)*. American Concrete Institute.

ACI Committee 211. (2002). *Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete (ACI 211.1-91)*. American Concrete Institute.

ACI Committee 213. (2014). *Guide for structural lightweight-aggregate concrete (ACI 213R-14)*. American Concrete Institute.

ACI Committee 213. (2017). *Guide for structural lightweight-aggregate concrete (ACI 213R-14)*. American Concrete Institute. <https://www.concrete.org>

Almeshal, I., Tayeh, B. A., Alyousef, R., Alabduljabbar, H., & Mohamed, A. M. (2020). Use of recycled plastic as fine aggregate in concrete: A review. *Journal of Building Engineering*, 32, 101654. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101654>

American Concrete Institute. (1991). *Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete (ACI 211.1-91)*. ACI Committee 211.

American Concrete Institute. (2020). *Specifications for structural concrete (ACI 301-20)*. <https://www.concrete.org/>



- Ashour, S. A., & Korany, Y. (2010). Properties of lightweight concrete containing expanded polystyrene beads. *Journal of Engineering Sciences*, 38(6), 1409–1424.
- ASTM International. (2015a). *ASTM C127-15: Standard test method for relative density (specific gravity) and absorption of coarse aggregate*. <https://www.astm.org/c0127-15.html>
- ASTM International. (2015b). *ASTM C128-15: Standard test method for relative density and absorption of fine aggregate*. <https://www.astm.org/c0128-15.html>
- ASTM International. (2018). *ASTM C33/C33M-18: Standard specification for concrete aggregates*. <https://www.astm.org/c0033-18.html>
- Babu, D. S., & Babu, K. G. (2003). Behavior of lightweight expanded polystyrene concrete containing silica fume. *Cement and Concrete Research*, 33(5), 755–762. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(02\)01061-9](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(02)01061-9)
- Babu, D. S., & Babu, K. G. (2004). Behavior of lightweight expanded polystyrene concrete containing silica fume. *Cement and Concrete Research*, 34(4), 671–679.
- Calibratec S.A.C. (2025). *Certificado de calibración CA-L-0524-2025*. Laboratorio de Metrología – Área de Longitud.
- Chandra, S., & Berntsson, L. (2003). *Lightweight aggregate concrete: Science, technology and applications*. Noyes Publications.
- Chandra, S., & Berntsson, L. (2020). *Lightweight aggregate concrete: Science, technology and applications*. Noyes Publications.
- Dao, T. H. (2024). Research on the estimation of the flexural capacity of EPS lightweight concrete panels. *Construction and Building Materials*, 382, 132518. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.132518>
- Dao, T. H. (2024). Research on the estimation of the flexural capacity of EPS lightweight concrete panels. *Construction and Building Materials*, 420, 141125. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.141125>

- Fonseca, F. (2022). Aditivos químicos en la tecnología del concreto moderno. *Revista de Ingeniería de Materiales*, 15(2), 45–58.
- Gomes, M. I., Neiva, S., & Domingos, T. (2020). Environmental life cycle assessment of the manufacture of EPS granulates, lightweight concrete with EPS and high-density EPS boards. *Journal of Cleaner Production*, 247, 119098. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119098>
- Gutiérrez, L., & Salazar, R. (2015). Permeabilidad y durabilidad del concreto en obras hidráulicas. *Ingeniería Civil y Construcción*, 28(3), 112–125.
- Hama, S. M., & Mahmoud, A. S. (2017). Influence of expanded polystyrene beads on the properties of lightweight concrete. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 6(4), 455–460.
- Han, J., & Fan, Z. (2025). Dynamic properties of low-density expandable polystyrene concrete materials. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 37(2), 04023124. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0004767](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0004767)
- Han, Y., & Fan, X. (2025). Dynamic properties of low-density expandable polystyrene concrete materials. *Construction and Building Materials*, 431, 131782. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.131782>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. d. P. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (6.a ed.). McGraw-Hill Education.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2021). *Metodología de la investigación* (7.a ed.). McGraw-Hill Education.
- Huamaní, J., & Quispe, M. (2020). Concreto ligero con poliestireno expandido: Aplicaciones en la construcción sostenible. *Revista Peruana de Ingeniería Civil*, 12(1), 33–42.
- INACAL. (2020a). *NTP 400.017:2020. Agregado fino. Determinación de absorción y peso específico*. Instituto Nacional de Calidad del Perú.
- INACAL. (2020b). *NTP 400.018:2020. Agregado grueso. Determinación de absorción y peso específico*. Instituto Nacional de Calidad del Perú.

- Juárez Alvarado, C. A., et al. (2018). Innovación en la formulación de concretos con menor densidad. *Materiales de Construcción*, 68(332), 156–168.
- Llamo, J., & Rodríguez, M. (2018). Uso de aditivos en obras de construcción en el Perú: Experiencias y desafíos. *Tecnología del Concreto*, 9(2), 78–91.
- Mathlab Ingeniería Sismorresistente. (2023). *Diseño de mezclas de concreto: Arena gruesa y piedra chancada de $\frac{1}{2}$ " a $\frac{3}{4}$ ", $f_c = 175 \text{ kg/cm}^2$ * [Informe técnico N.º DN-062-MATHLAB-2023]. San Marcos, Perú.
- Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2014). *Concrete: Microstructure, properties, and materials* (4.a ed.). McGraw-Hill Education.
- Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2017). *Concrete: Microstructure, properties, and materials* (5.a ed.). McGraw-Hill Education.
- Meza, A., & Rincón, D. (2019). *Fundamentos de investigación cuantitativa*. ECOE Ediciones.
- Mindess, S., Young, J. F., & Darwin, D. (2003). *Concrete* (2.a ed.). Pearson Education.
- Mindess, S., Young, J. F., & Darwin, D. (2017). *Concrete* (3.a ed.). Pearson Education.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2020). *MTC E 705:2020. Método de ensayo estándar para el revenimiento del concreto*. Dirección General de Normas Técnicas.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2014). *Norma E.060: Concreto armado*. Reglamento Nacional de Edificaciones.
- Mondragón, A. (2020). *Influencia de la fibra de poliestireno en las propiedades físicas y mecánicas del concreto para una resistencia de 210 y 280 kg/cm^2 * [Tesis de licenciatura, Universidad Señor de Sipán]. Repositorio institucional.
- Mondragón, E. (2020). *Influencia de la fibra de poliestireno en las propiedades físicas y mecánicas del concreto para una resistencia de 210 y 280 kg/cm^2 * [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. Repositorio Institucional UNPRG. <https://hdl.handle.net/20.500.12893/8191>

- Montaser, M. A., Gado, R. A., & Atta, A. M. (2022). Structural behaviour of polystyrene foam lightweight concrete beams strengthened with FRP laminates. *Case Studies in Construction Materials*, 16, e00981. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e00981>
- Ñahuirima, J. (2022). Aditivos químicos en la tecnología contemporánea del concreto. *Ingeniería y Construcción*, 18(1), 55–67.
- Neville, A. M. (2011). *Properties of concrete* (5.a ed.). Pearson Education Limited.
- Neville, A. M. (2012). *Properties of concrete* (5.a ed.). Pearson Education Limited.
- Neville, A. M., & Brooks, J. J. (2010). *Tecnología del concreto* (2.a ed.). Pearson Educación.
- Neville, A. M., & Brooks, J. J. (2021). *Tecnología del concreto* (3.a ed.). Pearson Educación.
- Nilson, A. H., Darwin, D., & Dolan, C. W. (2011). *Design of concrete structures* (14.a ed.). McGraw-Hill Education.
- Núñez, J., & Villanueva, C. (2018). Control de la relación agua/cemento y su influencia en la resistencia del concreto. *Revista de Ingeniería de Materiales*, 11(4), 210–225.
- Park, S. B., & Lee, B. I. (2004). Studies on mechanical properties of lightweight concrete containing EPS beads. *Cement and Concrete Research*, 34(4), 671–679. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2003.10.015>
- PlasticsEurope. (2019). *Polystyrene (PS) – PlasticsEurope material dossier*. <https://plasticseurope.org/>
- Quan, L., Zhang, Y., & Wu, H. (2019). Study on the fatigue and durability behavior of structural expanded polystyrene concretes. *Construction and Building Materials*, 222, 12–21. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.06.120>
- Rathika, M., et al. (2023). Experimental investigation on lightweight concrete by adding polystyrene beads. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 12(4), 128–134.
- Rathika, R., López, J., & Méndez, C. (2023). Experimental investigation on lightweight concrete by adding polystyrene beads. *Materials Today: Proceedings*, 78, 318–325. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.04.032>

- Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Lucio, M. P. B. (2022). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (7.a ed.). McGraw-Hill Education.
- Shah, A., Rahman, M., & Singh, R. (2024). Experimental investigation of mechanical properties of concrete mix with lightweight expanded polystyrene and steel fibers. *Case Studies in Construction Materials*, 20, e01510. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e01510>
- Shah, S. A., Ismail, M., & Abdullah, M. M. A. B. (2024). Experimental investigation of mechanical properties of concrete mix with lightweight expanded polystyrene and steel fibers. *Journal of Building Engineering*, 89, 107594. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.107594>
- Sharma, S., et al. (2020). Performance of expanded polystyrene (EPS) sandwiched concrete panels subjected to accelerated corrosion. *Construction and Building Materials*, 258, 119678.
- Silva, F., et al. (2017). Expanded polystyrene as a lightweight aggregate in cementitious composites. *Construction and Building Materials*, 145, 234–245.
- Tacila, R., et al. (2021). Alkali-activated slag cellular concrete with expanded polystyrene (EPS) – Physical, mechanical, and mineralogical properties. *Construction and Building Materials*, 300, 124032.
- Vera Pulido, J. A. (2018). *Diseño de un concreto liviano con poliestireno expandido para la ejecución de losas en el Asentamiento Humano Amauta* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional.