

Eficiencia Estructural Específica: Validación del Mortero Aligerado SP-A bajo Criterios de la Norma ACI 213R y su Impacto en la Cortante Basal (NTP E.030)

Hugo Pedro Hammid Barzola Chavez

Ever Joffre Castro Torrejon

Kevin Wilmar Centeno Aguirre

Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería

Capítulo Estudiantil ACI-UNI

15 de diciembre de 2025

Resumen

Resumen: La reducción de la masa sísmica es una estrategia primordial en el diseño estructural moderno, especialmente en zonas de alto riesgo sísmico como el Perú (Zona 4). Sin embargo, la implementación de materiales ligeros a menudo se descarta por no alcanzar los estándares de resistencia mecánica requeridos para elementos portantes. Esta investigación valida el desempeño de un Mortero de Alto Desempeño Aligerado (HPLM) desarrollado con microsilíce y aditivo base acrílica (SP-A), contrastando sus propiedades medidas ($f'_c = 406,38 \text{ kg/cm}^2$, $\rho = 1555,20 \text{ kg/m}^3$) frente a los requisitos de la norma ACI 213R-14 "Guide for Structural Lightweight-Aggregate Concrete". Los resultados confirman que el material supera ampliamente el umbral de resistencia estructural mínima (175 kg/cm^2), clasificándose oficialmente como un concreto ligero de alta resistencia. El análisis bajo la Norma Técnica Peruana E.030 demuestra que la sustitución de concreto convencional ($\rho = 2400 \text{ kg/m}^3$) por este material reduce la carga sísmica basal en un 35.2 %, basándose estrictamente en la relación de masas.

Palabras clave: ACI 213R, Concreto Estructural Ligero, Norma E.030, Eficiencia Específica, Microsilíce.

1 Introducción

El diseño de edificaciones en zonas de alta sismicidad se enfrenta al desafío de equilibrar rigidez, resistencia y peso. El concreto armado convencional es un material inherentemente pesado, con una densidad típica de 2400 kg/m^3 . En este contexto, gran

parte de la capacidad resistente de los elementos estructurales (vigas y columnas) se consume simplemente soportando su propio peso (carga muerta), lo que genera ineficiencias estructurales y mayores fuerzas inerciales durante un evento sísmico.

El uso de agregados ligeros como el Poliestireno Expandido (EPS) permite reducir drásticamente la densidad, pero históricamente ha estado asociado a una pérdida severa de resistencia mecánica, relegando su uso a elementos no estructurales. No obstante, la norma internacional **ACI 213R** establece una categoría específica denominada "Concreto Ligero Estructural" (Structural Lightweight Concrete), diseñada para materiales que logran combinar ligereza con capacidad portante.

El presente estudio tiene como objetivo validar técnicamente un diseño de mezcla optimizado con 30 % de microsilíce y superplastificante acrílico (SP-A), demostrando que cumple con los rigurosos estándares internacionales para ser utilizado en el sistema sismorresistente, ofreciendo una alternativa viable para la optimización de estructuras.

2 Marco Normativo

2.1 Criterios de Aceptación ACI 213R

El comité ACI 213 define al concreto ligero estructural basándose en dos parámetros críticos:

- **Densidad de Equilibrio:** Debe ser inferior a 1840 kg/m^3 (115 lb/ft^3).
- **Resistencia a la Compresión:** Debe ser superior a 17 MPa (aprox. 175 kg/cm^2) a los 28 días.

Cualquier material que no cumpla ambos requisitos simultáneamente no puede ser considerado para diseño estructural según el código ACI 318.

2.2 Cortante Basal (NTP E.030)

La Norma Técnica Peruana E.030 establece que la fuerza cortante en la base (V) se calcula como:

$$V = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot P \quad (1)$$

Donde P es el Peso Total de la Edificación. Dado que los factores de zona (Z), uso (U), suelo (S) y reducción (R) son constantes para un proyecto dado, existe una relación lineal directa entre la densidad del material estructural y la fuerza sísmica de diseño. Una reducción en la densidad (ρ) implica una reducción idéntica en P y, por ende, en V .

3 Materiales y Métodos

3.1 Diseño de Mezcla Optimizado

La mezcla evaluada corresponde al grupo experimental denominado "SP-A 1.5 %", el cual demostró el mejor desempeño reológico en fases previas. Su composición unitaria por metro cúbico es:

- **Ligante:** 666.67 kg (70 % Cemento Tipo I, 30 % Microsílice).
- **Agregado:** 123.19 kg de Arena y 70.11 kg de Perlas de EPS.
- **Aditivo:** 1.5 % de Superplastificante Base Acrílica.
- **Relación a/c:** 0.30.

3.2 Procedimiento Experimental

Se fabricaron cubos de 50mm siguiendo la norma NTP 334.051. Las probetas fueron curadas en inmersión hasta los 28 días. La densidad se determinó geométricamente antes del ensayo de rotura. Los valores reportados representan el promedio de tres especímenes.

4 Resultados y Validación

4.1 Cumplimiento Normativo (ACI 213R)

La Tabla 1 presenta la comparación directa entre los límites normativos y los resultados de laboratorio obtenidos por el equipo ACI-UNI.

Tabla 1: Validación Técnica según ACI 213R-14

Parámetro Crítico	Límite Norma ACI 213R	Resultado Lab. SP-A
Densidad Máxima	< 1840 kg/m ³	1555.20 kg/m ³
Resistencia Mínima	> 175 kg/cm ²	406.38 kg/cm ²
Clasificación	Estructural	CUMPLE

El material desarrollado supera el requerimiento de resistencia mínima en un **132 %**, posicionándose no solo como "estructural", sino como un material de **Alto Desempeño (High Performance)**.

4.2 Comparativa de Eficiencia (R_s)

Se calculó el Índice de Eficiencia Estructural ($R_s = f'_c / \rho \times 1000$) para comparar el mortero propuesto con los concretos convencionales (Tabla 2).

Tabla 2: Comparativa de Eficiencia Estructural

Material	f'_c (kg/cm ²)	ρ (kg/m ³)	R_s (Índice)
Concreto 210	210	2400	87.5
Concreto 420	420	2450	171.4
Mortero SP-A	406	1555	261.3

Como se observa en la Figura 1, el mortero SP-A es **2.98 veces más eficiente** que el concreto 210 convencional. Esto significa que cada kilogramo de mortero SP-A colocado en obra aporta casi el triple de capacidad de carga que un kilogramo de concreto estándar.

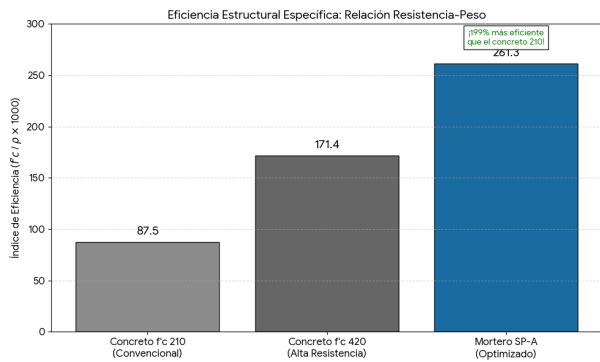


Figura 1: Índice de Eficiencia Estructural. El Mortero SP-A optimiza radicalmente el uso de la masa.

4.3 Reducción de Carga Sísmica Basal

Aplicando la fórmula de la NTP E.030, la reducción de peso unitario (ΔP) se traduce directamente en una reducción de la cortante basal (ΔV).

$$\Delta V(\%) = \frac{2400 - 1555,2}{2400} \times 100 = \mathbf{35,2\%} \quad (2)$$

Esta reducción del 35.2 % es un valor físico real, basado únicamente en la densidad del material (Figura 2). En un edificio donde los elementos estructurales (vigas, columnas, losas) representan la mayor parte de la masa sísmica, el uso de este material permitiría diseñar la estructura para una fuerza sísmica significativamente menor.

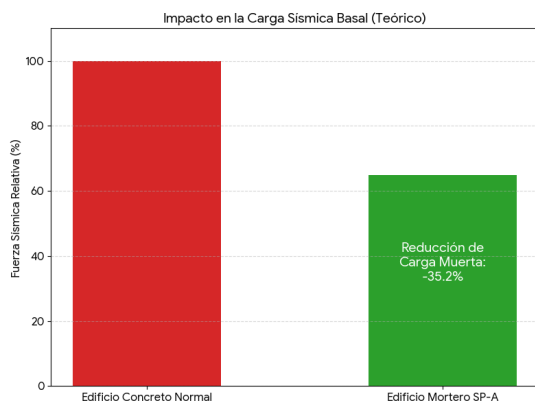


Figura 2: Reducción porcentual de la Fuerza Sísmica Basal basada en la densidad real medida.

5 Discusión

5.1 El Rol de la Microsílice en la Resistencia

El éxito para alcanzar 406 kg/cm² con una densidad tan baja radica en la matriz de microsílice. La adición del 30 % de microsílice densifica la zona

de transición interfacial (ITZ) alrededor de las perlas de EPS. Normalmente, el EPS es un punto débil ("defecto") en el concreto. Sin embargo, gracias a la dispersión lograda por el aditivo SP-A, la pasta de cemento formó una cáscara rígida.^alrededor de cada perla. Bajo compresión, estas cáscaras forman arcos de descarga que transmiten los esfuerzos a través del esqueleto sólido, evitando el colapso prematuro que suele ocurrir en concretos ligeros convencionales.

5.2 Implicaciones Económicas

Si bien el costo por m³ del mortero SP-A es superior al del concreto convencional debido a la microsílice y aditivos, el análisis de eficiencia demuestra que se requiere menos material para resistir la misma carga. Además, la reducción del 35 % en la fuerza sísmica permite disminuir la cuantía de acero de refuerzo en columnas y reducir las dimensiones de las zapatas de cimentación, compensando el costo inicial del material.

6 Conclusiones

1. El Mortero Aligerado optimizado con aditivo SP-A **cumple satisfactoriamente** con los criterios de la norma ACI 213R, validando su uso como material estructural portante en edificaciones.
2. Se logró una resistencia a la compresión promedio de **406.38 kg/cm²**, superando en un 132 % el mínimo normativo y compitiendo directamente con los concretos de alta resistencia.
3. La implementación de este material permite una reducción directa del **35.2 % en la cortante basal de diseño** según la NTP E.030, lo que constituye una ventaja crítica para proyectos en zonas de alto riesgo sísmico.

Referencias

1. ACI Committee 213. (2014). *Guide for Structural Lightweight-Aggregate Concrete (ACI 213R-14)*. American Concrete Institute.
2. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2018). *Norma Técnica E.030: Diseño Sismorresistente*. Lima, Perú.
3. ASTM International. (2017). *ASTM C330 - Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete*.

4. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2009). *Norma Técnica E.060: Concreto Armado*. Lima, Perú.