

Análisis de Fallas por Incompatibilidad Química en Sistemas Híbridos (Superplastificante + Acelerante) aplicados a Matrices con Microsílice y EPS

Pablo Aldair Ticona Estela

Ever Joffre Castro Torrejon

Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería

Capítulo Estudiantil ACI-UNI

16 de diciembre de 2025

Resumen

Resumen: La optimización de los tiempos de fraguado en la industria del prefabricado impulsa el uso combinado de aditivos superplastificantes y acelerantes. Sin embargo, este estudio documenta una incompatibilidad crítica al aplicar esta estrategia en morteros aligerados ternarios (Cemento-Microsílice-EPS). Se evaluó el desempeño de un sistema híbrido (Base Acrílica + Acelerante de sales) frente a un sistema de aditivo único. Los resultados evidencian un mecanismo de "competencia de adsorción" sobre la superficie de la microsílice que obligó a elevar la dosificación total al 6.0 %, provocando un colapso reológico (fluidez > 180 mm) y la segregación inmediata del agregado ligero. Como consecuencia directa de esta inestabilidad, la resistencia a la compresión a los 28 días disminuyó un 38.5 % (de 406.38 a 249.87 kg/cm²). Se concluye que la interacción iónica desestabiliza la suspensión de EPS, anulando la eficiencia mecánica de la matriz.

Palabras clave: Incompatibilidad química, Adsorción competitiva, Segregación de EPS, Colapso reológico, Microsílice.

1 Introducción

La tecnología del concreto moderno se basa en la modificación de la microestructura y la reología mediante aditivos químicos. En particular, la

producción de elementos ligeros de alto desempeño requiere una gestión precisa de la relación agua/ligante y la dispersión de partículas finas. Para lograr esto, los superplastificantes de base policarboxilato o acrílica son indispensables, ya que permiten trabajar con relaciones a/c inferiores a 0.35.

Paralelamente, la necesidad industrial de rotar moldes rápidamente motiva la incorporación de acelerantes de fraguado. Si bien el uso simultáneo de estos dos tipos de aditivos es común en concretos convencionales, su aplicación en matrices que contienen microsílice y Poliestireno Expandido (EPS) presenta riesgos termodinámicos significativos.

El problema reside en la física de superficies. La microsílice, utilizada para densificar la matriz, posee una superficie específica extremadamente alta ($> 20,000$ m²/kg) y una carga superficial negativa (potencial Zeta) que atrae a los polímeros dispersantes. Los acelerantes, al ser soluciones salinas, introducen una alta concentración de iones en el agua de mezclado. Esta fuerza iónica puede comprimir la doble capa eléctrica de las partículas o competir por los sitios de adsorción, impidiendo que el superplastificante cumpla su función estérica.

En un mortero con EPS, esta ineficiencia química tiene consecuencias físicas inmediatas. Si la viscosidad de la pasta no es la adecuada, el EPS flota

(segregación inversa). Este estudio analiza el fallo de un sistema híbrido donde la interacción negativa entre aditivos obligó a una sobredosificación masiva, resultando en la destrucción de la homogeneidad de la mezcla.

2 Materiales y Métodos

2.1 Materiales Componentes

El programa experimental se diseñó para aislar el efecto de la interacción química, manteniendo constantes los componentes sólidos y la relación agua/cemento.

- **Cemento:** Portland Tipo I (ASTM C150).
- **Microsílice:** Humo de sílice densificado, empleado al 30 % de reemplazo del peso del ligante. Este alto volumen exacerba la demanda de adsorción de aditivos.
- **Agregado Ligero:** Perlas de EPS pre-expandido, densidad 20 kg/m³.
- **Aditivos Químicos:**
 - *SP*: Superplastificante base acrílica modificada (Dynamon SP-47).
 - *AC*: Acelerante de endurecimiento exento de cloruros (Mapect HA).

2.2 Configuración Experimental

Se evaluaron dos sistemas bajo una relación agua/ligante constante de 0.30:

1. **Sistema Control (SP Puro):** Dosis optimizada de solo superplastificante al 1.5 % del peso del ligante.
2. **Sistema Híbrido (SP + AC):** Se intentó combinar ambos aditivos. Debido a la pérdida de fluidez inicial por la interacción química, se ajustó la dosis mediante tanteo hasta lograr plasticidad, resultando en una carga masiva de 3.6 % de SP y 2.4 % de AC (Total 6.0 %).

3 Resultados

3.1 Comportamiento Reológico y Segregación

El sistema híbrido evidenció una inestabilidad reológica crítica. La interacción entre el acelerante y el superplastificante impidió una dispersión eficiente a dosis normales. Al elevar la dosis total al 6.0 % para intentar recuperar la trabajabilidad, se cruzó el umbral de fluidez crítica.

- **Fluidez Híbrido:** 180.85 mm.
- **Fluidez Control:** 136.00 mm.

Con 180 mm de extensión en la mesa de sacudidas, la tensión de fluencia (yield stress) de la pasta fue insuficiente para contrarrestar el empuje hidrostático del EPS. Esto resultó en la flotación visible de las perlas y la formación de un "anillo de halo" de pasta segregada alrededor de la muestra.

3.2 Eficiencia Química y Resistencia

La Figura 1 ilustra la caída drástica en la eficiencia del uso de materiales. El sistema híbrido consumió cuatro veces más insumos químicos para producir un concreto significativamente más débil.

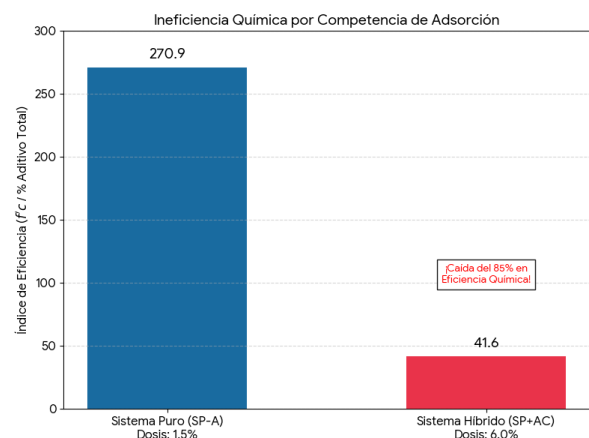


Figura 1: Eficiencia de Dosificación. El sistema híbrido desperdicia material químico debido a la competencia de adsorción.

Los ensayos de compresión a los 28 días confirmaron el daño estructural:

- **Resistencia Control:** 406.38 kg/cm².
- **Resistencia Híbrido:** 249.87 kg/cm².

La pérdida de resistencia del 38.5 % se atribuye directamente a la heterogeneidad de la muestra segregada, donde zonas de pasta pura frágil alternan con aglomeraciones de EPS sin soporte estructural.

3.3 Mapa de Falla

La Figura 2 sitúa al sistema híbrido en la zona de "Sobredosis / Segregación". La inspección de núcleos mostró planos de falla horizontales, característicos de la segregación inversa.

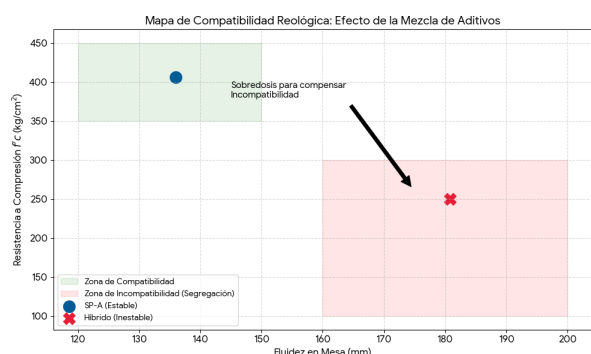


Figura 2: Mapa de Compatibilidad. La zona roja indica donde la alta fluidez destruye la homogeneidad de la mezcla.

4 Discusión

4.1 Mecanismo de Competencia de Adsorción

Los resultados validan la existencia de una interferencia química destructiva. Los superplastificantes acrílicos funcionan adsorbiéndose en la superficie de la microsilíce y extendiendo sus cadenas laterales para crear repulsión estérica. Al introducir el acelerante Mapect HA, se saturó la solución intersticial con iones. Estos iones compitieron por los sitios de adsorción en la microsilíce o comprimieron la conformación de los polímeros del superplastificante (efecto de *enrollamiento* o *coiling*), reduciendo su radio de acción.

Para compensar esta pérdida de efecto dispersante, fue necesario añadir más polímero (hasta el

3.6 %). Sin embargo, este polímero en exceso no se adsorbió, sino que quedó libre en el agua de mezclado. El polímero libre redujo la tensión superficial del agua y la viscosidad de la pasta de manera descontrolada, llevando al sistema de un estado "trabado" a uno "líquido" sin pasar por un estado plástico estable.

4.2 Impacto en la Viabilidad Económica

El análisis de este fallo revela que la incompatibilidad no es solo un problema técnico, sino económico. El sistema híbrido multiplicó el costo de aditivos por metro cúbico sin aportar el beneficio esperado de aceleración, ya que la baja resistencia final obligaría a retrasar el desencofrado de todas formas. Esto demuestra que, en matrices complejas, "más aditivo" no equivale a "mejor desempeño".

5 Conclusiones

Del análisis forense de la falla del sistema híbrido se derivan las siguientes conclusiones:

1. La combinación de acelerantes salinos y superplastificantes acrílicos presenta una incompatibilidad reológica severa en matrices con alto volumen de microsilíce. La competencia iónica impide la dispersión eficiente, requiriendo dosis inviables del 6.0 %.
2. Esta incompatibilidad genera un punto de quiebre reológico: la mezcla sufre una transición abrupta hacia la fluidez excesiva (>180 mm), causando la segregación total del agregado ligero (EPS).
3. La segregación inducida químicamente resultó en una pérdida de resistencia del 38.5 % (249 kg/cm² vs 406 kg/cm²), anulando la capacidad estructural del material.
4. Se concluye que la estabilidad física de la suspensión de EPS es el parámetro gobernante en el diseño de mezclas ligeras, y esta estabilidad se ve comprometida por el uso de trenes de aditivos incompatibles.

Referencias

1. ACI 212.3R-16. *Report on Chemical Admixtures for Concrete*. American Concrete Institute.
2. Plank, J., & Hirsch, C. (2007). *Competitive adsorption of superplasticizers in cementitious systems*. Cement and Concrete Research.
3. Mailvaganam, N. P. (2002). *Chemical Admixtures for Concrete*. Taylor & Francis.
4. ASTM C494. *Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete*.