

Análisis comparativo del comportamiento del hormigón con modificaciones en su componente hídrico

Comparative analysis of the behavior of concrete with modifications in its hydric component

Baez Naranjo Alex Benjamin

Universidad Tecnológica Indoamérica
abaez5@indoamerica.edu.ec
<http://orcid.org/0009-0009-5837-5300>
Ecuador – Ambato

Luis Leonardo Zambrano Salazar

Universidad Tecnológica Indoamérica
luiszambrano@indoamerica.edu.ec
<http://orcid.org/0009-0001-5966-8123>
Ecuador – Ambato

Arauz Moya Luis Alexander

Universidad Tecnológica Indoamérica
larauz4@indoamerica.edu.ec
<http://orcid.org/0009-0006-0817-9182>
Ecuador – Ambato

Silva Nuñez Aldo Sebastian

Universidad Tecnológica Indoamérica
asilva21@indoamerica.edu.ec
<http://orcid.org/0009-0002-8648-9822>
Ecuador – Ambato

Formato de citación APA

Baez, A. Zambrano, L. Arauz, L. & Silva A. (2026). Análisis comparativo del comportamiento del hormigón con modificaciones en su componente hídrico. Revista REG, Vol. 5 (Nº. 1), p. 991 -1003.

CIENCIA INTERACTIVA

Vol. 5 (Nº. 1). Enero – marzo 2026.

ISSN: 3073-1259

Fecha de recepción: 25-02-2026

Fecha de aceptación :06-03-2026

Fecha de publicación:30-03-2026



RESUMEN

El presente artículo desarrolla un análisis comparativo entre dos estudios experimentales enfocados en el comportamiento del hormigón cuando se altera su composición tradicional, al modificar o sustituir el componente hídrico de la mezcla. Ambos documentos coinciden en la necesidad de comprender la función esencial del agua dentro del proceso de hidratación del cemento Portland y en como su alteración impacta directamente las propiedades físicas y mecánicas del material. El primer estudio adopta un enfoque experimental directo, sustituyendo completamente el agua por vinagre y glicerina en la elaboración de probetas cilíndricas, evaluando sus efectos en el fraguado, trabajabilidad y resistencia a la compresión. El segundo ensayo complementa esta perspectiva desde un análisis técnico más amplio sobre las propiedades del hormigón y la influencia de variaciones en sus componentes, esta vez sustituyendo el componente hídrico por bebida energizante peróxido de hidrogeno (agua oxigenada), enfatizando la importancia del control de dosificación y la relación agua-cemento. Los resultados permiten afirmar que el agua no actúa únicamente como medio de mezcla, sino como agente químicamente activo indispensable. La investigación conjunta refuerza la relación entre teoría y práctica experimental, aportando criterios técnicos útiles para la formación académica en ingeniería civil y para futuras investigaciones de innovación de materiales de construcción.

PALABRAS CLAVE: hormigón, hidratación, resistencia mecánica, fraguado.



ABSTRACT

This article develops a comparative analysis between two experimental studies focused on the behavior of concrete when its traditional composition is altered, specifically by modifying or substitution the water component of the mix. Both documents agree on the need to understand the essential role of water within the Portland cement hydration process and how its alteration directly impacts the physical and mechanical properties of the material. The first study adopts a direct experimental approach, completely replacing water with vinegar and glycerin in the production of cylindrical specimens, evaluating their effects on setting, workability, and compressive strength. The second document complements this perspective with a broader technical analysis of concrete properties and the influence of variations in its components, this time substituting the water component with energy drinks and hydrogen peroxide. This analysis emphasizing the importance of dosage control and the water-cement ratio. The results confirm that water does not act merely as a mixing medium, but as an indispensable, chemically active agent. This joint research reinforces the relationship between theory and experimental practice, providing useful technical criteria for academic in civil engineering and for future research on innovation in construction materials.

KEYWORDS: concrete, hydration, mechanical strength, setting.



INTRODUCCIÓN

El hormigón es uno de los materiales más empleados en la ingeniería civil contemporánea debido a su elevada capacidad resistente, su adaptabilidad estructural y su comportamiento satisfactorio frente a diferentes condiciones ambientales. Su versatilidad ha permitido su aplicación en infraestructuras viales, edificaciones de gran altura, obras hidráulicas viales, edificaciones de gran altura, obras hidráulicas y sistemas de cimentación, consolidando como el principal material estructural a nivel global.

Su desempeño mecánico y durabilidad dependen directamente del equilibrio físico-químico entre sus componentes fundamentales: cemento agregados y agua. Desde el punto de vista química, el proceso de hidratación del cemento Portland constituye el mecanismo esencial que permite la transición del hormigón desde un estado plástico hasta una estructura sólida capaz de soportar cargas. (Metha & Monteiro, 2014)

El agua no solo cumple una función de trabajabilidad, sino que participa activamente en las reacciones químicas que generan los productos hidratados responsables de la resistencia mecánica. Durante este proceso se forman compuestos como los silicatos cálcicos hidratados (C – S –H), considerados el principal responsable del desarrollo de resistencia a compresión. Sin una proporción adecuada de agua, el desarrollo micro estructural del material se ve comprometido, afectando su cohesión interna y su capacidad portante. (Neville, 2011)

Adicionalmente, la relación agua-cemento constituye uno de los parámetros más influyentes en la resistencia y durabilidad del hormigón.

La porosidad capilar del concreto endurecido está directamente relacionada con esta proporción, influyendo significativamente en su resistencia mecánica y permeabilidad. (Powers, 1947)

Un exceso de agua puede generar vacíos internos que disminuyen la capacidad estructural, mientras que una cantidad insuficiente impide la hidratación completa del cemento, reduciendo la formación de productos cementantes estables. (Mehta, 1993)

Por esta razón, el control del componente hídrico constituye un aspecto determinante dentro del diseño de mezclas estructurales. Desde una perspectiva normativa, organismos técnicos internacionales han establecido criterios específicos para garantizar la calidad del hormigón estructural.

El American Concrete Institute (ACI, 2019) señala que la dosificación adecuada y el control de agua de amasado son factores críticos para asegurar el cumplimiento de los requisitos de resistencia y durabilidad. De manera complementaria, la norma ASTM C94 establece especificaciones para la

producción y entrega de hormigón premezclado, enfatizando la importancia del control de la relación agua-cemento en campo. (ASTM, 2020). Estas regulaciones evidencian que cualquier alteración del componente hídrico debe ser evaluado bajo criterios técnicos rigurosos.

Diversos informes científicos han evaluado el uso de aguas no convencionales, como agua de mar, aguas recicladas provenientes de procesos industriales y efluentes tratados, con el objetivo de reducir el consumo de agua potable en la producción del hormigón. Según (Metha & Monteiro, 2014), la presencia de cloruros, sulfatos y compuestos orgánicos en el agua de amasado puede modificar la cinética de hidratación y alterar la microestructura del material endurecido. Aunque algunos estudios muestran que ciertas sustituciones parciales no afectan significativamente la resistencia inicial, también advierten que pueden comprometer la durabilidad a largo plazo, especialmente en ambientes agresivos.

En los últimos años, la investigación en materiales de construcción ha explorado alternativas orientadas a mejorarla sostenibilidad y reducir el impacto ambiental del hormigón. Sin embargo, Scrivener, (John, 2018) advierten que las modificaciones en la composición del sistema cementante deben comprenderse desde su base química para evitar afectaciones en el desempeño estructural. La introducción de sustancias no convencionales puede alterar el equilibrio alcalino necesario para la hidratación, generando variaciones en el tiempo de fraguado, en la microestructura y en la resistencia final del material. (Taylor, 1997)

En ese contexto, analizar el comportamiento del hormigón cuando se altera su componente hídrico permite comprender con mayor profundidad la relación entre teórica química y desempeño mecánico. La comprensión integral del papel del agua dentro de la mezcla no representa únicamente un conocimiento técnico, sino una base fundamental para la toma de decisiones en diseño estructural, control de calidad y procesos constructivos. La alteración de este componente no constituye una simple variación física, sino una modificación del sistema químico que gobierna el comportamiento estructural del material. La comparación entre los fundamentos teóricos descritos en la literatura y los resultados obtenidos permite establecer un vínculo claro entre la química del cemento y el comportamiento mecánico observado en el laboratorio.

En consecuencia, la investigación sobre sustituciones del componente hídrico debe abordarse desde una perspectiva integral que combine teoría, experimentación y análisis normativo, garantizando que la innovación no comprometa la seguridad estructural. El estudio del componente hídrico se convierte en una línea de análisis clave para garantizar la seguridad, durabilidad y eficiencia del hormigón en aplicaciones reales y para fortalecer la formación académica en la ingeniería civil.

Es por ello que en el presente informe analizaremos el desempeño mecánico del hormigón de los dos ensayos obtenidos anteriormente:

- a. Análisis del desempeño mecánico del hormigón al modificar el componente hídrico de la mezcla tradicional.
- b. Análisis comparativo de la resistencia a compresión de 2 cilindros de hormigón de peróxido de hidrógeno y bebida energizante.

Fundamentos Químicos Del Hormigón

El hormigón es un material compuesto cuya resistencia y durabilidad dependen de procesos físico-químicos complejos que se activan desde el momento en el que el cemento entra en contacto con el agua según lo expuesto por el hormigón armado, el comportamiento estructural del concreto no puede entenderse únicamente desde la mecánica, sino también desde la química de sus componentes. Este proceso requiere:

- pH altamente alcalino (superior a 12)
- Proporción adecuada agua/cemento.
- Ausencia de contaminantes que interfieran químicamente.

Relación Agua-Cemento Y Su Influencia Estructural

La relación agua-cemento (a/c) es uno de los parámetros más determinantes en el diseño del hormigón. Una relación adecuada permite el desarrollo completo de la hidratación; sin embargo, un exceso o defecto genera problemas estructurales.

La norma ecuatoriana de la construcción establece límites técnicos para garantizar:

- Resistencia estructural adecuada.
- Control de retracción.
- Durabilidad frente a agentes agresivos.
- Baja permeabilidad

Cuando el agua es sustituida por otra sustancia, la relación a/c pierde su significado tradicional, ya que el nuevo líquido puede no participar químicamente en la relación o incluso interferir con ella.

En los ensayos comparados esta variable fue alterada completamente lo que permitió observar cómo el equilibrio químico del sistema se desestabiliza cuando el líquido del amasado no cumple la función reactiva esperada.

Influencia del Ph en la hidratación del cemento

El proceso de hidratación requiere un ambiente alcalino estable. Sustancias ácidas como el vinagre o bebidas energizantes modifican el pH de la mezcla, generando:

- Disolución parcial de compuestos hidratados.
- Formación incompleta del gel C-S-H.
- Debilitamiento de la matriz cementante.

Los ácidos reaccionan con el hidróxido de calcio liberado durante la hidratación, afectando la estabilidad estructural del material. Esta alteración química explica la pérdida de resistencia observada en ambos ensayos cuando se emplearon líquidos con componentes ácidos.

Efectos físicos de líquidos no convencionales

No todos los líquidos afectan el hormigón desde una dimensión química; algunos lo hacen desde una perspectiva física.

La glicerina, por ejemplo:

- Posee alta viscosidad.
- Es higroscópica.
- No participa en reacciones de hidratación.

Esto impide la correcta movilidad de partículas y dificulta la compactación, generando vacíos internos.

El agua oxigenada, en cambio, se descompone liberando oxígeno. Este fenómeno genera burbujas internas que incrementan la porosidad y reducen la densidad del material. La estructura resultante presenta menor capacidad resistente debido a la discontinuidad interna.

Componentes orgánicos y su interferencia

Las bebidas energizantes contienen azúcares, ácidos orgánicos, colorantes y aditivos. Los azúcares pueden retrasar el fraguado al interferir con la formación temprana de productos hidratados. Este fenómeno explica el comportamiento irregular y la resistencia reducida observada en el segundo ensayo.

MÉTODOS Y MATERIALES

La presente investigación se desarrolló con un enfoque académico y experimental, orientado al análisis comparativo del comportamiento del hormigón cuando se modifica su componente hídrico. Desde una perspectiva pedagógica, los ensayos permitieron demostrar de



manera práctica que el agua no actúa únicamente como un medio de mezcla, sino como el agente activador del sistema cementante. La experimentación controlada facilitó la comprensión de la química del cemento, el análisis de la microestructura del hormigón y la relación entre la teoría y el comportamiento real del material frente a distintas condiciones de elaboración y resistencia.

Para el desarrollo de los ensayos se empleó una dosificación base de 240 kg/cm², utilizando probetas cilíndricas normalizadas, sometidas a curado controlado y posteriormente evaluadas mediante ensayos de resistencia a compresión. La variable independiente fue el tipo de líquido utilizado como sustituto del agua, mientras que las variables dependientes incluyeron la trabajabilidad, el tiempo de fraguado, la compactación, la resistencia mecánica y el comportamiento post-falla. Con el fin de garantizar la rigurosidad y validez experimental, se mantuvo igualdad volumétrica en todas las muestras, se evitó la variación de agregados, se registraron observaciones sistemáticas durante cada etapa del proceso y se compararon los resultados con una probeta patrón elaborada con agua como referencia.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Análisis Del Primer Ensayo (Vinagre Y Glicerina)

Vinagre

El ácido acético generó un entorno ácido que afectó la hidratación. Se observó:

- Fraguado irregular.
- Disminución drástica de resistencia.
- Falla frágil prematura.
- Desarrollo parcial de compuestos cementantes.

El material alcanzó la resistencia significativa inferior a la esperada.

Glicerina

Por su alta viscosidad y naturaleza no reactiva:

- No permitió hidratación adecuada.
- Impidió el fraguado completo.
- Produjo textura gelatinosa.
- No fue posible realizar el ensayo de compresión.

Aquí el efecto fue principalmente físico, no químico.

Análisis Del Segundo Ensayo (Bebidas Energizantes Y Agua Oxigenada)

Bebidas Energizantes



Contienen:

- Azúcares y ácidos orgánicos.
- Colorantes y aditivos.

Los azúcares actúan como retardantes del fraguado y los componentes ácidos modifican el pH, se observó:

- Retraso significativo en endurecimiento.
- Pérdida de cohesión.
- Reducción considerable de resistencia.
- Mayor porosidad interna.

El hormigón presentó comportamiento debilitado, aunque logró solidificarse parcialmente.

Agua oxigenada

Este compuesto libera oxígeno al descomponerse, generando:

- Formación de burbujas internas.
- Incremento de vacío.
- Estructura altamente porosa.
- Resistencia mecánica muy reducida.

El efecto fue predominantemente físico-químico.

COMPARACION DE RESULTADOS

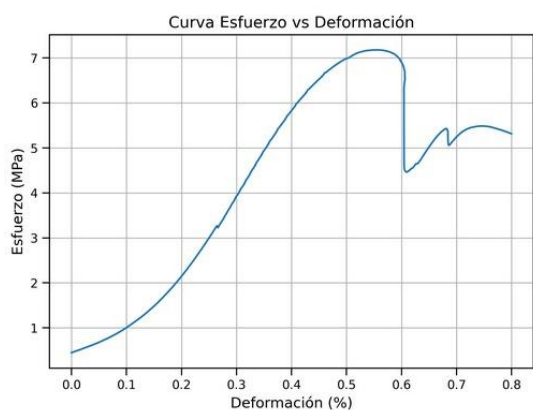
Tabla1

Comparación global de resultados según tipo de sustancia y efecto en el material.

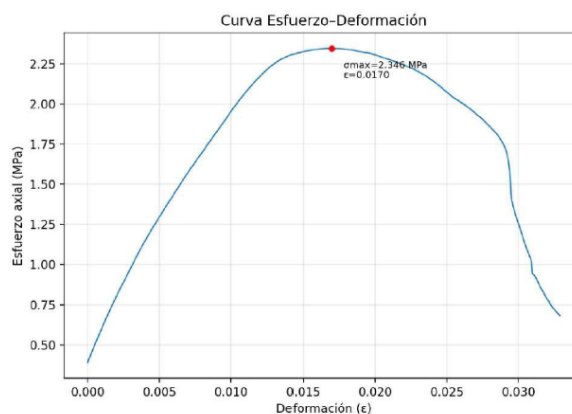
Sustancia	Tipo de alteración	Fraguado	Resistencia	Tipo de afectación
Vinagre	Química (ácida)	Irregular	Nula	Química
Glicerina	Física	No fragua	Nula	Física
Bebida energizante	Química orgánica	Retardado	Baja	Química
Agua oxigenada	Fisicoquímica	Inestable	Muy baja	Fisicoquímica



Nota. Los resultados muestran que las sustancias de naturaleza química, especialmente las de carácter ácido u orgánico, afectan significativamente el proceso de fraguado y disminuyen la resistencia del material. Las sustancias con alteración física impiden el fraguado adecuado, mientras que las de tipo fisicoquímico generan inestabilidad estructural, reduciendo considerablemente la resistencia final.



Fuente: *Probeta con vinagre*



Probeta con bebida

Elaboración propia en base a la deformación vs el esfuerzo de los ensayos previamente mencionados.

Tabla

2

Comparación de resultados del ensayo de compresión entre probeta con vinagre y probeta con bebida energizante

Variable	Probeta con vinagre	Probeta con bebida energizante
Esfuerzo máximo (MPa)	≈ 7.2 MPa	≈ 2.3 MPa
Deformación al esfuerzo máximo (%)	≈ 0.55 %	≈ 0.017 %
Comportamiento post-pico	Descenso brusco con recuperación parcial	Descenso progresivo continuo
Ductilidad relativa	Mayor	Menor
Capacidad de deformación total (%)	≈ 0.80 %	≈ 0.032 %



Resistencia relativa	Alta	Baja
----------------------	------	------

Nota. Los valores fueron estimados visualmente a partir de las curvas esfuerzo deformaciones mostradas en los gráficos. MPa = megapascasles.

Interpretación comparativa

1. Las sustancias acidas (vinagre, energizantes) alteraron el pH, afectando el proceso de fraguado.
2. Las sustancias no reactivas (glicerina) impidieron el proceso de hidratación del material.
3. Las sustancias inestables (agua oxigenada) generaron porosidad excesiva en la estructura final.
4. Ninguna sustancia logro replicar la función estructural del agua dentro de la mezcla.

En el primer ensayo mostro una afectación más radical, especialmente con la glicerina, En contraste, el segundo evidenció una degradación progresiva, aunque con cierto grado de fraguado inicial.

Discusión

La discusión de los resultados obtenidos permite confirmar que el agua constituye un componente químicamente activo e insustituible en la mezcla del hormigón. Ambos estudios evidencian experimentalmente que los líquidos alternativos modifican de manera negativa el comportamiento del sistema cementante, aunque cada uno lo hace desde una dimensión diferente. En el caso del vinagre y las bebidas energizantes, la alteración del pH afecta el medio alcalino necesario para la hidratación del cemento; la glicerina, por su parte, produce una interferencia física que dificulta el fraguado; y el agua oxigenada genera una desestabilización estructural al favorecer la formación de poros y debilitar la matriz interna. Estos efectos demuestran que cualquier cambio en el componente hídrico repercute directamente en la resistencia y estabilidad final del hormigón.

En este sentido, los resultados refuerzan la teoría de la hidratación del cemento y ponen en evidencia que el diseño de mezclas estructurales exige un control riguroso de cada uno de sus componentes. No se trata únicamente de mantener proporciones adecuadas, sino de garantizar que los materiales empleados sean compatibles con las reacciones fisicoquímicas que permiten el desarrollo de la resistencia mecánica. Desde una perspectiva educativa, estos ensayos resultan especialmente valiosos, ya que permiten a los estudiantes observar de forma práctica cómo pequeñas variaciones químicas pueden generar consecuencias estructurales significativas, fortaleciendo así la comprensión de los principios técnicos que sustentan la elaboración segura y eficiente del hormigón.

CONCLUSIONES

La presente justificación se sustenta en que el agua no es un componente accesorio dentro del hormigón, sino un elemento químicamente indispensable en la hidratación del cemento Portland. Su función permite activar las reacciones que forman los compuestos responsables del fraguado y del desarrollo de la resistencia mecánica. En consecuencia, reemplazar el agua por líquidos no convencionales constituye un error técnico grave, ya que estos alteran el equilibrio fisicoquímico del sistema cementante. Mientras el agua favorece la formación de una estructura estable y resistente, otras sustancias pueden modificar el pH, interferir en la reacción de hidratación o impedir la adecuada consolidación de la mezcla, comprometiendo directamente la calidad del material.

Los resultados experimentales obtenidos confirman esta premisa, puesto que cada componente hídrico alternativo produjo fallas específicas en el comportamiento del hormigón: las sustancias ácidas redujeron drásticamente la resistencia al alterar el medio alcalino necesario para la hidratación; las sustancias viscosas no reactivas impidieron el fraguado; y las sustancias químicamente inestables generaron porosidad y debilitamiento estructural. Por ello, se concluye que ninguno de los líquidos estudiados puede considerarse un sustituto viable del agua en hormigón estructural. Este análisis no solo fortalece la comprensión práctica de la química del cemento, sino que también reafirma la necesidad de cumplir estrictamente con las disposiciones técnicas establecidas en la normativa ecuatoriana para garantizar seguridad, durabilidad y desempeño estructural.

Referencias bibliográficas

- ACI. (2019). Building code requirements for structural concrete. En A. C. Institute. American Concrete institute.
- ASTM. (2020). ASTM C94/C94M-20: Standard specification for ready-mixed concrete. En *ASTM International*.



- John, V. M. (2018). Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO₂ cement-based materials industry. En *Cement and Concrete Research* (págs. 114, 2-26).
- Mehta, P. K. (1993). Durability of concrete in marine environment. En *ACI Materials Journal* (págs. 146-157). 90(2).
- Metha, P. K., & Monteiro, P. J. (2014). En P. K. Metha, & P. J. Monteiro, *Concrete: Microstructure properties, and materials*. 4th editorial McGraw-Hill Education.
- Neville, A. M. (2011). *Properties of concrete*. (5th ed.). Pearson Education Limited.
- Powers, T. C. (1947). A discussion of cement hydration in relation to the curing of concrete. En *Proceedings of the Highway Research Board* (págs. 178-188). 27.
- Taylor, H. F. (1997). *Cement chemistry*. (2nd ed.). Thomas Telford Publishing.

CONFLICTO DE INTERÉS:

Los autores declaran que no existen conflicto de interés posibles

FINANCIAMIENTO

No existió asistencia de financiamiento de parte de pares externos al presente artículo.

NOTA:

El artículo no es producto de una publicación anterior.

