

Influence of 2%, 4%, and 6% Aloe vera Extract as a Natural Foaming Agent on the Density and Compressive Strength of Concrete

Michael Junior Sangay Vásquez¹; Estrella Alexandra Sánchez Leyva² Jhenifer Thajana Carhuanambo Villanueva³

^{1,2,3}Universidad Privada del Norte, Cajamarca, N00372289@upn.pe, N00373024@upn.pe, jhenifer.carhuanambo@upn.edu.pe

Abstract– This study aimed to evaluate the influence of Aloe vera extract as a natural foaming agent on the physical and mechanical properties of concrete. Four mixtures were designed: a control mix (0%) and three mixes with additions of 2%, 4%, and 6% relative to the weight of cement. For each mixture, three specimens were prepared, resulting in a total of 12 samples. The methodology was experimental, applying slump tests (NTP 339.035), density tests (NTP 339.046), and compressive strength tests at 28 days (NTP 339.034). In addition, durability was evaluated through freeze–thaw cycles (ASTM C 666) using one specimen per mixture at 7 days. The results showed that the slump decreased from 16.5 cm (0%) to 13.7 cm (2%), 13.9 cm (4%), and 9.6 cm (6%). Density decreased from 2307.16 kg/m³ (0%) to 1988.36 kg/m³ (2%), 1974.00 kg/m³ (4%), and 1969.07 kg/m³ (6%). Compressive strength decreased from 234.86 kg/cm² (0%) to 232.44 kg/cm² (2%), 162.72 kg/cm² (4%), and 136.73 kg/cm² (6%). Regarding durability, the concrete showed favorable behavior under freeze–thaw cycles, presenting minimal deformation and maintaining strength values similar to those obtained in specimens under normal conditions. It is concluded that Aloe vera generates air within the mixture, reduces concrete density, and maintains acceptable strength up to a 4% addition, demonstrating its potential as a sustainable alternative to synthetic foaming agents..

Keywords– Lightweight Concrete, Admixtures, Aloe vera, Foaming Agent, Sustainability.

I. INTRODUCCION

El concreto es el material fundamental de la ingeniería civil a nivel global, valorado por su durabilidad y, particularmente, por su alta resistencia a la compresión [1]. Sin embargo, la fabricación de cemento Portland impone una significativa carga ambiental. En este contexto, la sostenibilidad ha adquirido un rol clave, impulsando la innovación y la búsqueda de alternativas más ecológicas.

Un área clave es el desarrollo de concretos ligeros, los cuales ofrecen beneficios funcionales como la reducción de la carga muerta y el mejoramiento del aislamiento térmico [2], pero cuya producción depende de la incorporación de agentes espumantes, lo que abre un debate sobre la sostenibilidad de sus componentes.

La formulación tradicional del concreto aligerado emplea agentes espumantes químicos sintéticos, cuya eficacia está probada [3]. No obstante, el origen y el proceso de fabricación de estos aditivos no se alinean con los principios de la construcción ecológica. Por esta razón, surge la necesidad de reemplazarlos por alternativas renovables y biodegradables [4], [5].

Esta necesidad se acentúa por la dependencia de agregados finos vírgenes, cuya extracción genera un fuerte impacto ambiental [6]. Como antecedentes que fundamentan este estudio, se tienen hallazgos relevantes de la literatura científica: En el estudio de [7] se demostró el potencial de los agentes espumantes químicos en la obtención de un concreto ultraligero, utilizando Lauril Sulfato de Sodio como espumante principal. Dicho trabajo reportó un asentamiento promedio de 6.85 cm (2.7"), evidenciando una buena trabajabilidad de la mezcla. Los pesos de los especímenes elaborados fueron de 10.6 kg, 10.7 kg y 10.9 kg, mientras que la resistencia a la compresión a los 28 días alcanzó valores de 95.6 kg/cm², 96.9 kg/cm² y 97.5 kg/cm². Estos resultados establecieron un punto de referencia de desempeño para concretos celulares elaborados con espumantes sintéticos, demostrando que es posible reducir la densidad del concreto sin embargo, esto compromete significativamente su resistencia.

Asimismo, el trabajo de [8] analizó el efecto del contenido y tipo de agente espumante sintético en las propiedades del concreto espumado, empleando los productos AERLITE-IX™ y AQUAERIX™ suministrados por Aerix Industries. Los autores prepararon mezclas con diferentes proporciones de espuma, que variaron entre 46 % y 65 % del volumen total, con el fin de evaluar su influencia en la densidad y resistencia. Se determinó que, al incrementar el porcentaje de espuma, la densidad húmeda del concreto disminuyó desde aproximadamente 845 kg/m³ hasta 735 kg/m³, dependiendo del tipo de agente empleado.

De forma paralela, la resistencia a la compresión a los 28 días se redujo progresivamente, registrando valores entre aproximadamente 90 kg/cm² para las menores proporciones de espuma y alrededor de 30 kg/cm² para las mezclas con mayor contenido espumoso. Estos resultados confirman que el aumento del contenido de espuma genera concretos más ligeros, pero con menor capacidad resistente. Dichos hallazgos sirven como referencia comparativa para el presente estudio, que busca evaluar el uso del extracto natural de Aloe vera como agente espumante alternativo y sostenible en la producción de concretos livianos.

Adicionalmente, el análisis comparativo de [5] demostró la viabilidad de obtener concretos de baja densidad (D400) y destacó la necesidad de continuar investigando alternativas naturales para mejorar la sostenibilidad del material.

En relación con la durabilidad del concreto, y de manera complementaria, resulta pertinente considerar el ensayo de ciclos de congelamiento y deshielo, el cual permite evaluar el

comportamiento del material frente a condiciones ambientales extremas. Este ensayo simula la congelación del agua en los poros, generando presiones internas que pueden producir fisuración y pérdida de propiedades mecánicas. Se ha reportado que la incorporación de aireantes contribuye a mitigar estos efectos al generar vacíos que alivian dichas presiones, mejorando el desempeño del concreto frente a estos ciclos [9].

El comportamiento del concreto espumado se encuentra estrechamente relacionado con su microestructura interna, particularmente con la formación, distribución y estabilidad de los poros generados por el agente espumante. Diversos estudios recientes han demostrado que la incorporación de espuma introduce una red de vacíos que reduce la densidad del material, pero también modifica la matriz cementicia, afectando la transferencia de esfuerzos y la resistencia mecánica [10]. En este sentido, no solo la cantidad de aire incorporado es determinante, sino también el tamaño, forma y distribución de los poros, los cuales controlan el desempeño estructural del concreto [11].

Asimismo, se ha establecido que agentes de origen natural con propiedades tensoactivas, como aquellos ricos en saponinas, actúan como biosurfactantes, reduciendo la tensión superficial del agua y facilitando la formación de microburbujas estables dentro de la mezcla [12]. En consecuencia, estas microburbujas generan una estructura celular que, dependiendo de su estabilidad y uniformidad, puede contribuir a la ligereza del material sin comprometer significativamente su integridad mecánica. No obstante, una mayor concentración de espuma tiende a incrementar la porosidad total, generando discontinuidades en la matriz y reduciendo la resistencia a la compresión debido a la disminución del área efectiva de carga [13].

Por ello, el estudio de la relación entre microestructura, porosidad y propiedades mecánicas resulta fundamental para comprender el comportamiento del concreto espumado y optimizar el uso de aditivos naturales como una alternativa sostenible.

La presente investigación aborda la brecha de conocimiento explorando el extracto de Aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller) como agente espumante natural y biosurfactante. Este material, rico en saponinas, ofrece una solución de base biológica y sostenible, evaluando su doble función: como sustituto de aditivos químicos y como reemplazo parcial del agregado fino en el concreto. Para garantizar la validez técnica, este estudio se enfocará en el análisis de las propiedades del concreto con adición de extracto de Aloe vera en tres dosificaciones: 2%, 4% y 6% respecto al peso del cemento. El trabajo se regirá por la normativa técnica peruana donde los ensayos se realizarán bajo los siguientes estándares: la densidad del concreto fresco bajo la NTP 339.046, el asentamiento (Slump) bajo la NTP 339.035 (método del cono de Abrams), y la resistencia a la compresión en muestras cilíndricas bajo la NTP 339.034. De manera complementaria, se reconoce la importancia de evaluar la durabilidad del material mediante ensayos como los

ciclos de congelamiento y deshielo, realizados bajo la norma ASTM C 666, los cuales permiten analizar el comportamiento del concreto frente a condiciones ambientales extremas.

En función de lo expuesto, se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es el impacto del aditivo de espuma natural a base de Aloe vera al 2%, 4% y 6% (respecto al peso del cemento) en la densidad, el asentamiento y la resistencia a compresión del concreto, en comparación con un concreto común a la edad de 28 días?

Para establecer la respuesta a la pregunta planteada, se ha definido como Objetivo General determinar la influencia del aditivo de espuma natural a base de Aloe vera al 2%, 4% y 6% en las propiedades físico-mecánicas del concreto, con objetivos específicos que incluyen determinar el efecto sobre la densidad, el asentamiento, comportamiento tras ciclos de congelamiento y comparar la resistencia a compresión a los 28 días con la del concreto común, a fin de contrastar los resultados para establecer el porcentaje óptimo.

Con esto, se ha planteado la siguiente hipótesis: La resistencia a compresión del concreto con adición de Aloe vera al 2%, 4% y 6% será viable y aceptable para aplicaciones de concreto ligero, logrando simultáneamente una reducción de la densidad respecto a la muestra de concreto común, lo que demuestra la eficacia del Aloe vera como agente espumante natural y promueve la sostenibilidad.

II. METODOLOGÍA

La presente investigación es de carácter aplicativo, ya que determinará las propiedades físicas y mecánicas del concreto con aditivo natural de aloe vera a un 2%, 4% y 6% respecto al contenido de cemento.

Este espumante natural posee compuestos tensoactivos, es decir, sustancias que reducen la tensión superficial del agua. En este estudio, las principales propiedades analizadas fueron la densidad y el asentamiento del concreto; sin embargo, también se evaluó la resistencia a la compresión con el fin de determinar su posible aplicación en elementos estructurales.

1. Agregados

Los agregados tanto fino y grueso empleados en la elaboración de probetas de concreto se obtuvieron de la cantera Gavilán, ubicada en la carretera de salida a la costa en Cajamarca.

Previamente estos dos materiales fueron sometidos a ensayos de laboratorio en base a las normas. Los ensayos realizados fueron:

- Análisis granulométrico por Tamizado [14]
- Contenido de Humedad [15]
- Material que pasa por la malla [16]
- Peso unitario de Agregado [17]
- Peso Específico y absorción del agregado [18]

Los datos obtenidos de las propiedades de agregados cumplieron los criterios que establece cada normativa.

TABLA 1
PROPIEDADES DEL AGREGADO GRUESO

Agregado Grueso		
Item	Unidad	Cantidad
Tamaño Máximo Nominal	in	1
Peso Unitario Compactado	kg/m ³	1366.732
Peso Unitario Suelto	kg/m ³	1259.24
Peso Específico	kg/m ³	2932.65
Absorción	%	0.14
Contenido de Humedad	%	0.851

En la Tabla 1 se muestran los resultados obtenidos en los ensayos que se realizaron para el agregado grueso.

TABLA 2
PROPIEDADES DEL AGREGADO FINO

Agregado Fino		
Item	Unidad	Cantidad
Modulo de Finura	-	2.43
Peso Unitario Compactado	kg/m ³	1931.742
Peso Unitario Suelto	kg/m ³	1741.821
Peso Específico	kg/m ³	2364.075
Absorción	%	3.27
Contenido de Humedad	%	1.303

En la Tabla 2 se muestran los resultados obtenidos en los ensayos realizados al agregado fino.

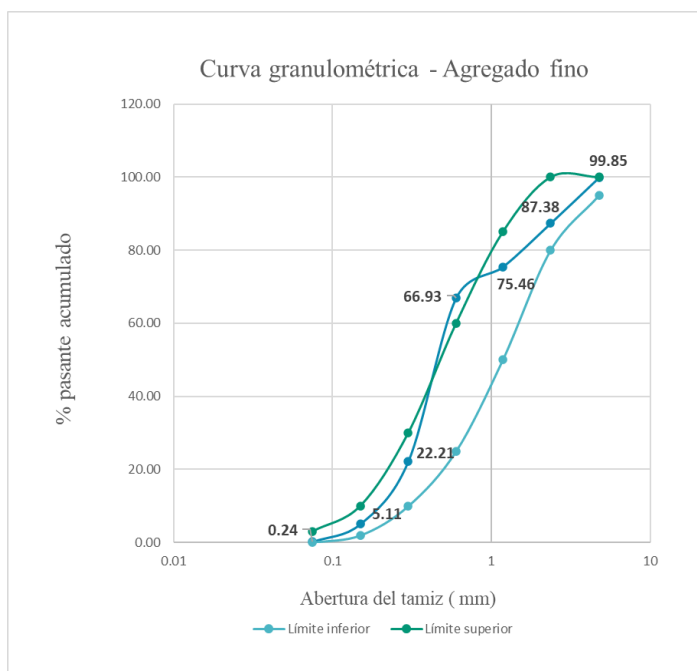


Fig. 1 Curva Granulométrica del agregado fino.

La figura 1 muestra la curva del análisis granulométrico del agregado fino, donde se observa que solo un punto se

encuentra fuera del rango establecido. No obstante, el material cumple con las demás especificaciones requeridas.

2. Cemento

El cemento usado fue el cemento Extraforte, el cual en su ficha técnica muestra una densidad entre 2.9 kg/m³ a 3.0 kg/m³ [19].

3. Aditivo

El aditivo empleado fue un espumante 100% natural, cuya composición no fue modificada; sin embargo, fue necesario ajustar su consistencia para lograr una mejor trabajabilidad en la mezcla.

3.1. Elaboración del aditivo.

Para la elaboración del aditivo natural, se emplearon pencas de Aloe vera, a las cuales le realizamos cortes laterales en ambos bordes y se dejaron reposar en agua durante 24 horas para eliminar el látex amarillento. Luego, se retiró la cáscara, conservando únicamente la pulpa. Dado que el fluido obtenido presentaba baja trabajabilidad, se procedió a licuarlo hasta obtener una mezcla homogénea y uniforme. Finalmente, se determinó su densidad utilizando un recipiente de volumen conocido, el cual fue llenado con el extracto natural para posteriormente efectuar los cálculos correspondientes y obtener su densidad.

$$\rho_A = \frac{M_A}{V_R} \quad (1)$$

ρ_A : Densidad del aditivo (kg/m³)

M_A : Masa del aditivo (kg)

V_R : Volumen conocido del recipiente (m³)

De este ensayo se obtuvo que la densidad del espumante natural fue de 346.4 kg/m³.

También se determinó la cantidad de aditivo natural que se pudo conseguir de las pencas de Aloe vera.

TABLA 3
CANTIDAD DE ESPUMANTE NATURAL OBTENIDO

Aloe Vera		
Pesos	Cantidad	Unidad
Peso de pencas de Aloe Vera	1.00	Kg
Peso de pulpa	0.463	Kg
Peso de pulpa con espuma	0.428	Kg
Cantidad de espumante de Aloe Vera	1.29	L

En la tabla 3 se aprecia que de 1 kg de pencas de Aloe Vera se obtuvo un aproximadamente de 1.29 litros de espumante natural.

4. Diseño de mezcla

Se realizó el diseño mediante el método ACI [20], considerando una resistencia objetivo de 210 kg/cm², un

asentamiento de 2.5 pulgadas, y variando únicamente el porcentaje del aditivo natural a base de Aloe vera.

Se obtuvo una relación agua cemento (A/C) de 0.557

TABLA 4
PROPORCIÓN DE DISEÑO FINAL CON 2% DE ADITIVO

Resultados de Diseño de Mezcla ACI		
Cemento	364.61	kg/m ³
Agua	203.09	kg/m ³
Agregado grueso	974.50	kg/m ³
Agregado fino	770.29	kg/m ³
Aditivo	7.00	kg/m ³

En la Tabla 4 se muestran las proporciones obtenidas con 2% de aditivo de Aloe vera mediante el método ACI.

TABLA 5
PROPORCIÓN DE DISEÑO FINAL CON 4% DE ADITIVO

Resultados de Diseño de Mezcla ACI		
Cemento	362.92	kg/m ³
Agua	202.15	kg/m ³
Agregado grueso	974.50	kg/m ³
Agregado fino	721.93	kg/m ³
Aditivo	14.00	kg/m ³

En la Tabla 5 se muestran las proporciones obtenidas con 4% de aditivo de Aloe vera mediante el método ACI.

TABLA 6
PROPORCIÓN DE DISEÑO FINAL CON 6% DE ADITIVO

Resultados de Diseño de Mezcla ACI		
Cemento	361.24	kg/m ³
Agua	201.21	kg/m ³
Agregado grueso	974.50	kg/m ³
Agregado fino	673.57	kg/m ³
Aditivo	21.01	kg/m ³

En la Tabla 6 se muestran las proporciones obtenidas con 6% de aditivo de Aloe vera mediante el método ACI.

5. Elaboración de las probetas

Se elaboraron 6 probetas con aditivo natural, distribuidas en tres grupos de dos unidades. A cada grupo se le incorporó una dosificación diferente del espumante natural: 2%, 4% y 6% respecto al peso del cemento. El proceso para realizar las probetas se describe en la figura 2.

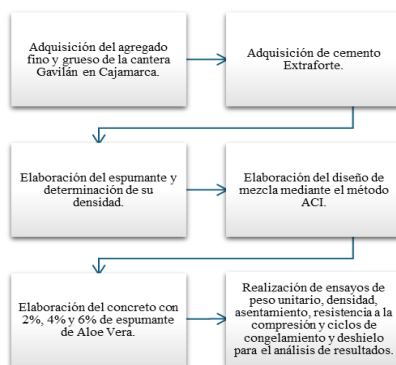


Fig. 2 Proceso realizado para la elaboración de las probetas.

1. Ensayos para concreto con aditivo espumante

1.1. Resistencia a la compresión

La norma define el procedimiento estándar para ensayar la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto, para este ensayo se calculó el área de la sección donde se aplicó la fuerza, posteriormente se llevó a la máquina de compresión y se registró la carga máxima. Finalmente se calculó el esfuerzo máximo. [21]

$$fb = \frac{F}{A} \cdot (2)$$

Fb: Esfuerzo Máximo

F: Carga máxima

A: Área de la sección

Las probetas se rompieron a los 28 días como establece la normativa.

1.2. Peso unitario (densidad del concreto)

Establece el método para determinar el peso unitario del concreto fresco, tanto en estado suelto como compactado, mediante el método gravimétrico [22]. Este procedimiento consiste en llenar un molde de volumen conocido con concreto fresco, pesarlo y calcular su densidad en kg/m³. Los resultados permiten evaluar la uniformidad, trabajabilidad y grado de compactación del concreto, además de estimar indirectamente el contenido de aire incorporado, parámetros importantes para controlar la calidad del concreto durante la etapa de colocación.

$$D = \frac{Mc - Mm}{Vm} \cdot (3)$$

Mc: Masa del recipiente lleno de concreto

Mm: Masa del recipiente de medida

Vm: Volumen del recipiente de medida

1.3. Asentamiento del concreto

Para determinar el asentamiento del concreto fresco se usa el cono de Abrams, consiste en llenar un molde con concreto fresco en tres capas compactadas de 25 golpes, luego retirar el molde verticalmente y medir la diferencia entre la altura original y la del concreto asentado [23].

1.4. Durabilidad del concreto

Los ensayos de hielo/deshielo se realizaron según la norma ASTM C 666 [24], donde la pérdida de peso y la

variación de longitud permiten identificar el deterioro del material. En este caso, las probetas fueron sometidas a 10 ciclos de hielo y deshielo, registrándose periódicamente el peso, la longitud y la temperatura

III. RESULTADOS

TABLA 7
RESULTADOS DEL PESO UNITARIO DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

Dosificación	Peso unitario compactado (kg/m³)	Peso unitario suelto (kg/m³)
Concreto común	2307.16	2245
Con 2%	2065.37	1958.75
Con 4%	2050.46	1946.20
Con 6%	2045.34	1942.61

En la Tabla 7 se muestran los resultados del ensayo de densidad (peso unitario) del concreto en estado fresco.

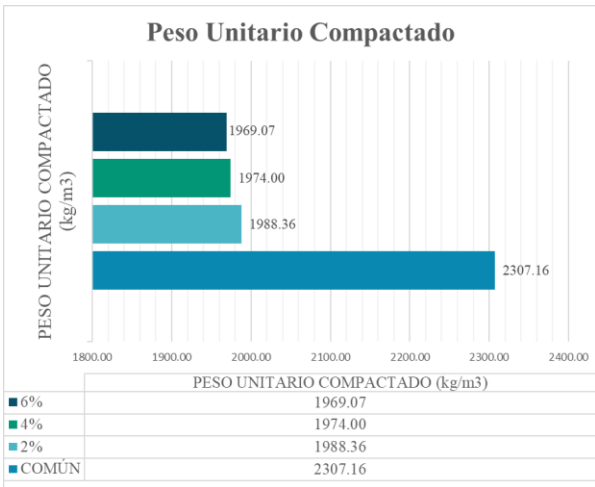


Fig. 3 Peso Unitario compactado de las probetas

La Figura 3 muestra los resultados del peso unitario en estado compactado, donde se observa que las probetas con aditivo de aloe vera presentan una disminución significativa en comparación con la probeta común.

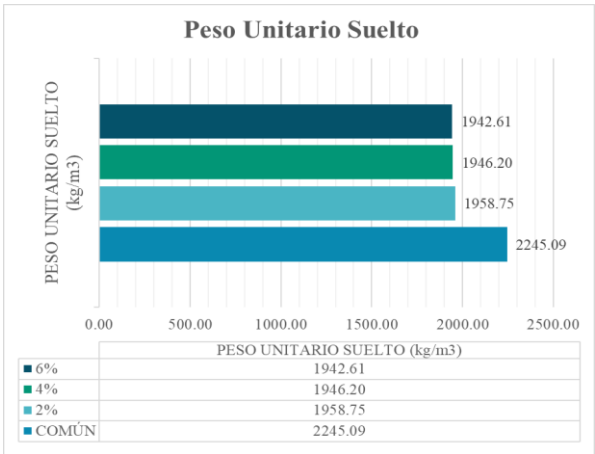


Fig. 4 Peso unitario suelto de las probetas

La Figura 4 muestra los resultados del peso unitario en estado suelto, donde se observa que las probetas con aditivo de aloe vera presentan una disminución en comparación con la probeta común.

TABLA 8
DENSIDAD DEL CONCRETO CON Y SIN ADITIVO

Muestra	Densidad (kg/m3)	Promedio
M1	2299.20	2307.16
M2	2315.12	
M1 - 2%	1978.94	1988.36
M2 - 2%	1997.78	
M1 - 4%	1974.45	1974.00
M2 - 4%	1973.56	
M1 - 6%	1966.38	1969.07
M2 - 6%	1971.76	

La Tabla 8 muestra la variación obtenida en la densidad de las muestras realizadas con y sin aditivo de Aloe vera, observándose una disminución progresiva a medida que el porcentaje de aditivo aumenta.

TABLA 9
RESULTADOS DEL ENSAYO DEL ASENTAMIENTO DEL CONCRETO (SLUMP).

Asentamiento (SLUMP)		
Muestra	Marca (pulg)	Marca (cm)
Común	6.5	16.5
2%	5.4	13.716
4%	5.5	13.97
6%	3.8	9.652

La Tabla 9 muestra los resultados del asentamiento del concreto sin y con aditivo de Aloe vera

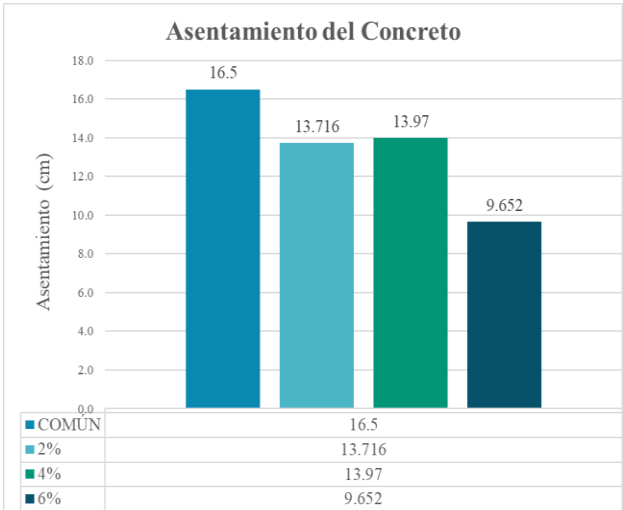


Fig. 5 Comparación del asentamiento de las probetas

La Figura 5 muestra los resultados del ensayo de asentamiento (slump) realizados en todas las probetas. Se

observa que la mezcla con una adición del 6% alcanza una consistencia plástica.

TABLA 10
 RESULTADOS PROMEDIO DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.

Tipo de Probeta	Resistencia máxima promedio (kg/cm ²)
Común	234.86
2% de espumante	232.44
4% de espumante	162.72
6% de espumante	136.73

La Tabla 10 muestra los resultados de las probetas sometidas a resistencia.

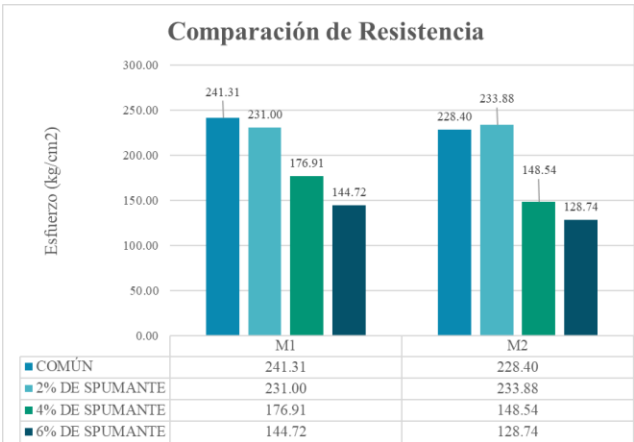


Fig. 6 Comparación de resistencia entre probetas

La Figura 6 muestra que la resistencia disminuye gradualmente a medida que aumenta el porcentaje de aditivo de Aloe vera. Se observa que la adición del 2% presenta una resistencia similar a la muestra patrón; con 4% la resistencia disminuye ligeramente, y con 6% se evidencia una reducción considerable.

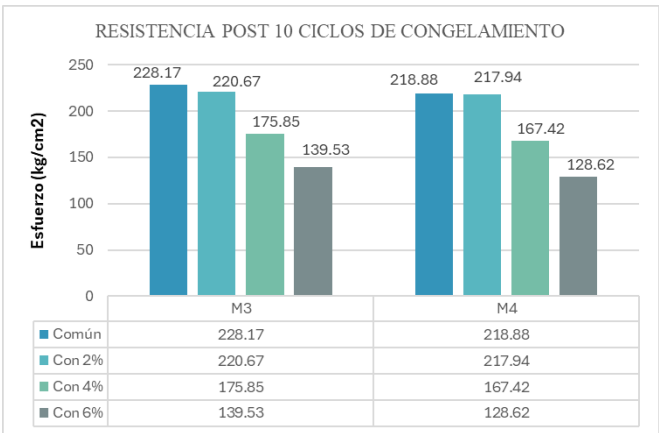


Fig. 7 Comparación de resistencia entre probetas

La Figura 7 muestra que la resistencia de las muestras que se sometieron a ensayos de durabilidad son menores a las

probetas rotas en condiciones normales. Sin embargo se aprecia que los especímenes de 2% mantienen una resistencia similar a las muestras comunes, con las probetas de 4% también existe una levedisminución con su contra parte común, lo mimsom pasa con las probetas de 6%.

TABLA 11
 PERDIDA DE PESO DE LAS PROBETAS

Tipo de Probeta	Perdida de peso (kg)	Ciclos de Hielo y Deshielo
Común	-0.0475	10
Con 2%	-0.0575	10
Con 4%	-0.0715	10
Con 6%	-0.063	10

La Tabla 11 muestra la perdida de peso que tuvieron nuestras probetas tras ser expuestas a ciclos de hielo y deshielo.

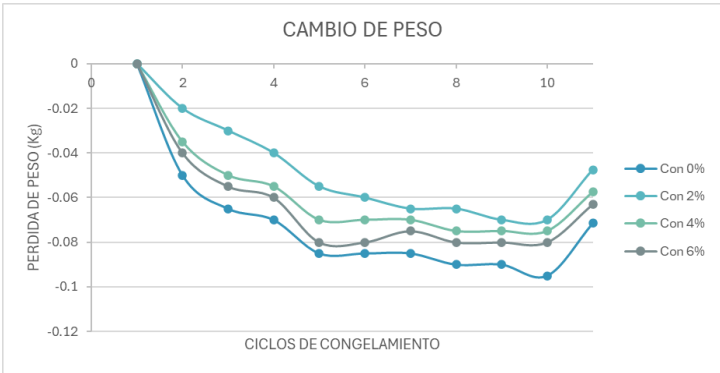


Fig. 8 Comparación de pérdida de peso en probetas

La Figura 8 muestra el descenso de peso entre las probetas, siendo la muestra común la que se no tiene exagerada variación y la probeta de 4% la que tiene mas pérdida de peso de 0.095 kg

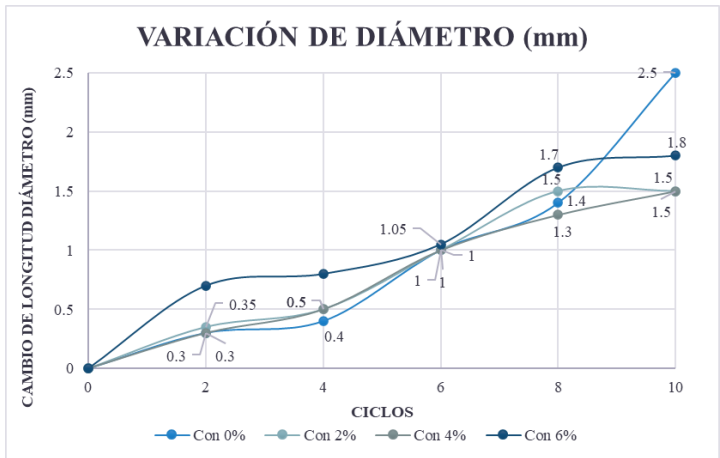


Fig. 9 Variación de diámetro en probetas

La Figura 9 muestra como el diámetro fue variando en las probetas a medida que estas eran sometidas a ciclos de congelamiento.

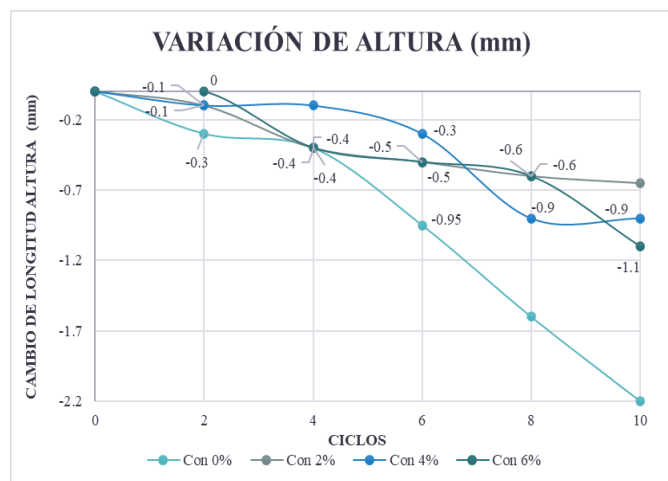


Fig. 10 Comparación de resistencia entre probetas

La Figura 10 muestra la variación de altura en las probetas a medida que estas eran sometidas a ciclos de congelamiento.

IV. DISCUSIÓN

La incorporación del extracto de Aloe vera como agente espumante natural tuvo un impacto directo en la trabajabilidad de la mezcla, observándose una disminución progresiva del asentamiento a medida que se incrementó la dosificación del aditivo. Mientras que la muestra sin aditivo registró una consistencia fluida con 16.5 cm (6.5 pulgadas), la adición del extracto la redujo a 13.7 cm (5.4 pulgadas) al 2% y 13.9 cm (5.5 pulgadas) al 4%. Esta tendencia se acentuó en la dosificación del 6%, donde el asentamiento descendió a 9.6 cm (3.8 pulgadas), modificando la consistencia a plástica.

Este comportamiento se explica porque el aditivo, al generar microburbujas de aire, reduce parcialmente la fluidez y la cohesión de la pasta cementicia, efecto que coincide con lo establecido en [7] y [1]. Desde un punto de vista microestructural, la incorporación de espuma introduce vacíos que interrumpen la continuidad de la fase líquida, reduciendo la lubricación interna entre partículas y, por tanto, la trabajabilidad del sistema. Asimismo, la estabilidad y distribución de estas burbujas influyen directamente en la reología del concreto fresco, tal como lo reportan estudios recientes sobre concretos espumados [10]. Es importante considerar que las mezclas más ligeras demandan mayor control en la colocación y compactación, a fin de evitar una porosidad excesiva que pueda comprometer la resistencia. Este fenómeno ha sido también señalado por [25], quien destaca que la trabajabilidad y la reducción de densidad en concretos espumados están directamente condicionadas por la estructura de poros y la compactabilidad del material.

En cuanto a la densidad (peso específico), los resultados confirman la capacidad del extracto de Aloe vera para actuar como agente formador de espuma, introduciendo vacíos que aligeran la mezcla. Se evidenció una tendencia decreciente conforme aumentó el porcentaje del aditivo, registrándose 2307.16 kg/m³ para la mezcla sin aditivo, y reducciones a 1988.36 kg/m³ (2%), 1974.00 kg/m³ (4%) y 1969.07 kg/m³ (6%). Aunque la variación entre las dosificaciones fue moderada, esta reducción demuestra que el extracto de Aloe vera efectivamente incorpora aire en la mezcla, haciendo que el concreto sea más liviano.

Este comportamiento puede explicarse por la acción del Aloe vera como biosurfactante natural, debido a su contenido de saponinas, las cuales reducen la tensión superficial del agua y favorecen la formación de burbujas estables dentro de la matriz cementicia [12]. Investigaciones recientes han demostrado que las saponinas triterpenoides forman películas interfaciales alrededor de las burbujas, lo que mejora su estabilidad y limita su coalescencia, generando una estructura de poros más uniforme [26]. Esta estabilidad de la espuma es clave para mantener una distribución homogénea de vacíos, lo que explica la reducción controlada de la densidad observada en los resultados.

Encontramos resultados compatibles en [2] y [4], quienes evidenciaron que el aumento en la concentración de agentes espumantes produce una reducción gradual de la densidad, atribuida al incremento de burbujas estables en la mezcla. Sin embargo, la ligera variación entre las dosificaciones de 2% y 6% sugiere que el tamaño y la distribución de los poros generados por el Aloe vera podrían no variar significativamente en este rango, lo cual coincide con estudios que indican que la microestructura del concreto espumado depende no solo de la cantidad de espuma, sino también de su estabilidad y del proceso de mezclado [11].

Respecto a la resistencia a la compresión, se observó un descenso progresivo en comparación con la mezcla sin aditivo de 234.86 kg/cm², alcanzando 232.44 kg/cm² al 2%, 162.72 kg/cm² al 4% y 136.73 kg/cm² al 6%. Esta disminución se relaciona con la incorporación de aire, que reduce el volumen sólido resistente. No obstante, la mezcla con 2% mantuvo una resistencia muy cercana a la del concreto convencional, lo que indica que bajas proporciones del extracto no afectan significativamente la capacidad estructural del material.

Desde una perspectiva microestructural, la disminución de la resistencia puede atribuirse a la presencia de vacíos que actúan como puntos de concentración de esfuerzos, reduciendo el área efectiva de carga y favoreciendo la iniciación de microfisuras bajo carga [13]. Además, el incremento de la porosidad genera discontinuidades en la matriz cementicia y debilita la zona de transición interfacial (ITZ), lo que contribuye a la pérdida de capacidad mecánica.

Estudios recientes han demostrado que la resistencia del concreto espumado está directamente controlada por la fracción volumétrica de poros, su tamaño y su conectividad, siendo estos factores determinantes en el comportamiento estructural del material [10], [11].

Al contrastar estos resultados con los de [8], quienes obtuvieron resistencias considerablemente menores entre 22 kg/cm² y 88 kg/cm² al emplear agentes espumantes sintéticos, se evidencia que el Aloe vera logra mantener resistencias muy superiores incluso a concentraciones altas. Esto demuestra su potencial como sustituto natural de espumantes químicos, combinando reducción de densidad con un adecuado desempeño mecánico.

En relación con el ensayo de durabilidad, las muestras presentaron un comportamiento favorable. Los resultados evidenciaron que la incorporación del aditivo natural no perjudica de gran manera el desempeño del concreto frente a ciclos de congelamiento, teniendo que la muestra de 2% alcanzó una resistencia promedio de 219.31 kg/cm², la de 4% obtuvo 171.64 kg/cm², con 6% de aditivo natural llegó a 134.08 kg/cm², por último las muestras comunes alcanzaron 223.88 kg/cm². El resultado de que las probetas de concreto ligero tras ciclos de congelamiento no se aleje tanto de su resistencia en condiciones normales se debe a que en ambientes fríos el concreto normal presenta una estructura capilar densa y, al no tener aire incorporado intencionalmente, su resistencia es limitada a bajas temperaturas, ya que al congelarse el agua en los poros capilares el material tiende a expandirse, generando presiones internas que provocan fisuración y pérdida de masa. Según [27], el deterioro del concreto frente a ciclos de congelamiento y deshielo está asociado a la formación de microfisuras internas y a la reducción de su rigidez cuando no se cuenta con aire incorporado. Por otro lado, el concreto con adición del espumante natural genera un sistema de vacíos de aire dentro de la mezcla, el cual actúa como espacio de alivio de presión, permitiendo disipar las tensiones internas producidas por la congelación del agua y mejorando así su comportamiento frente a estos ciclos, en concordancia con lo señalado por [27]. Además, el uso de extractos naturales como el Aloe vera, ricos en compuestos tipo saponinas, contribuye a la formación y estabilidad de estas microburbujas. Las saponinas actúan como agentes tensoactivos que permiten generar y estabilizar burbujas de aire dentro de la mezcla, formando una estructura de poros más uniforme y con menor conectividad, lo que favorece el comportamiento mecánico del material [26]. Para los especímenes sometidos a condiciones frías, también se evaluaron las variaciones de peso y dimensiones de las probetas. En cuanto a la pérdida de masa, la muestra patrón sin aditivo (0%) presentó la mayor disminución de peso, evidenciando una menor resistencia frente a este tipo de sollicitación. En contraste, la muestra con 2% de aditivo registró la menor pérdida de masa, mostrando un mejor desempeño. Las muestras con 4% y 6% también presentaron pérdidas inferiores a la muestra convencional, aunque mayores en comparación con la de 2%, manteniendo un comportamiento intermedio.

Respecto a la variación del diámetro, la muestra sin aditivo (0%) presentó la mayor expansión, alcanzando un incremento de 2.5 mm. Por otro lado, las muestras con 2% y 4%

mostraron la menor variación, con incrementos de 1.5 mm, mientras que la muestra con 6% presentó una expansión de 1.8 mm.

En relación con la variación de altura, la muestra convencional (0%) experimentó la mayor reducción, con una disminución de -2.2 mm. En cambio, la muestra con 2% de aditivo presentó la menor pérdida de altura, con un valor de -0.65 mm, lo que evidencia una mayor estabilidad dimensional frente a los ciclos de congelamiento y deshielo.

No obstante, es importante señalar que, para obtener resultados más representativos y generalizables, se recomienda ampliar la investigación con un número mayor de muestras.

En conjunto, los resultados confirman parcialmente la hipótesis planteada: el Aloe vera contribuye efectivamente a reducir la densidad del concreto, manteniendo valores de resistencia viables para aplicaciones de concreto liviano. Sin embargo, dosis superiores al 4% provocan una disminución significativa en la capacidad resistente. Por lo tanto, se determina que el porcentaje óptimo se encuentra entre 2% y 4%, donde se logra un equilibrio adecuado entre la reducción del peso propio y la resistencia a la compresión. Asimismo, el empleo de Aloe vera como agente espumante natural representa una alternativa sostenible y ecológica.

V. CONCLUSIONES

La incorporación del extracto de Aloe vera como agente espumante natural influyó directamente en las propiedades físico-mecánicas del concreto, modificando su trabajabilidad, densidad y resistencia a la compresión. En primer lugar, se evidenció que el Aloe vera actúa como un aditivo formador de microburbujas, generando una estructura interna más ligera y, por tanto, alterando la consistencia del material. A medida que aumentó la dosificación del aditivo, se observó una disminución progresiva del asentamiento, pasando de una consistencia fluida en la muestra sin aditivo (16.5 cm) a una consistencia plástica en la mezcla con 6% (9.6 cm). Este comportamiento indica que el Aloe vera reduce la trabajabilidad del concreto al incrementar la cantidad de aire atrapado y modificar la cohesión de la mezcla.

Asimismo, respecto a la densidad, se comprobó que el uso del extracto natural permitió reducir los valores de 2307.16 kg/m³ (sin aditivo) a 1988.36 kg/m³, 1974.00 kg/m³ y 1969.07 kg/m³ para las dosificaciones del 2%, 4% y 6%, respectivamente. Estos resultados confirman que el Aloe vera genera una matriz más ligera sin alterar de forma drástica la integridad del material, lo que lo posiciona como un agente espumante eficaz y sostenible.

Por otro lado, en cuanto a la resistencia a la compresión, se registró una disminución progresiva desde 234.86 kg/cm² (sin aditivo) hasta 232.44 kg/cm² (2%), 162.72 kg/cm² (4%) y 136.73 kg/cm² (6%). Sin embargo, se identificó que la dosificación del 2% mantiene una resistencia muy cercana a la

del concreto convencional, lo que demuestra que esta proporción afecta mínimamente su capacidad resistente.

De igual manera, en el ensayo adicional de ciclos de congelamiento y deshielo, se obtuvieron resultados de resistencia que mantienen una tendencia similar a la observada en las probetas evaluadas en condiciones normales. En este sentido, las mezclas con incorporación de aditivo en proporciones de 2% y 4% continúan presentando el mejor desempeño, evidenciando no solo una adecuada resistencia mecánica, sino también una mayor estabilidad frente a condiciones adversas. Estos resultados refuerzan la viabilidad del uso del aditivo en dichos porcentajes.

En consecuencia, los resultados obtenidos permiten concluir que las dosificaciones entre 2% y 4% representan el punto óptimo de aplicación, al equilibrar la reducción de densidad con una resistencia mecánica adecuada. De esta manera, se confirma parcialmente la hipótesis planteada, ya que el Aloe vera permite obtener concretos más ligeros y sostenibles, aunque dosis superiores al 4% reducen significativamente la capacidad resistente.

Finalmente, se concluye que el uso del extracto de Aloe vera como agente espumante natural constituye una alternativa ecológica viable frente a los aditivos sintéticos, promoviendo el desarrollo de concretos sostenibles sin comprometer sus propiedades esenciales.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a la Universidad Privada del Norte por impulsar nuestra formación académica a través de la motivación constante hacia la investigación científica, así como por brindarnos los recursos, equipos e implementos necesarios para el desarrollo adecuado de este trabajo.

Extendemos también nuestro agradecimiento a la docente, cuyo acompañamiento, dedicación y orientación continua fueron fundamentales para guiarnos en cada etapa del curso y en la elaboración de este proyecto.

REFERENCIAS

- [1] Ali, A. W., & Fawzi, N. M. (2021). Production of light weight foam concrete with sustainable materials. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 11(5), 7567–7571. <https://doi.org/10.48084/etasr.4377>
- [2] Esquivel Alvarado, C. A. (2024). Propiedades físicas y mecánicas del concreto celular como unidad de albañilería no portante, añadiendo un aditivo incorporador de aire como agente espumante en 8%, 11% y 13%, Cajamarca 2023 (Tesis de licenciatura). Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú. <https://hdl.handle.net/11537/39692>
- [3] Ortiz Paredes, A. A., & Rojas Medina, F. A. (2025). Propiedades del concreto ligero autocompactante f'c 210 kg/cm² con adición de aditivos espumantes, Trujillo 2024 (Tesis de licenciatura). Universidad Privada del Norte, Trujillo, Perú. <https://hdl.handle.net/11537/43435>
- [4] Avilés Antezana, A. A., & Carrera Salas, A. K. (2023). Aditivos espumantes para mejorar las propiedades físico-mecánicas del concreto celular (Tesis de grado). Universidad Ricardo Palma. <https://hdl.handle.net/20.500.14138/6779>
- [5] Borbor Yagual, J. J., & Ramos González, E. T. (2023). Estudio comparativo de 3 tipos de espumantes para la fabricación de un hormigón celular de densidad de 400 kg/m³ (D400) (Trabajo de integración curricular). Universidad Estatal Península de Santa Elena, La Libertad, Ecuador. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/10572>

- [6] Santa Cruz Pesantes, F. G., & Adanaque Richarte, J. A. (2024). Análisis comparativo de concreto ligero elaborado con agente espumante o la espuma de poliestireno sobre sus propiedades físico-mecánicas (Tesis de grado). Universidad Privada Antenor Orrego, Perú. Repositorio UPAO. <https://hdl.handle.net/20.500.12759/19191>
- [7] Carrion Rabanal, K. N., Carrero Llatas, M. N., Goicochea Huamán, H. J., Quiroz Infante, F. Y., & Gaona Abanto, E. A. E. (2024). Analysis of the Compressive Strength of Concrete Adding Foam with a density of 55 kg/m³ based on Sodium Lauryl Sulfate. En *Proceedings of the 22nd LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology*, San José, Costa Rica. <https://laccei.org/LACCEI2024-CostaRica/meta/FP472.html>
- [8] Shill, S. K., Garcez, E. O., Al-Deen, S., & Subhani, M. (2024). Influence of foam content and concentration on the physical and mechanical properties of foam concrete. *Applied Sciences*, 14(18), 8385. MDPI. <https://doi.org/10.3390/app14188385>
- [9] Al-Assadi, G., Casati, M. J., Fernández, J., & Gálvez, J. C. (2008). Estudio de los efectos del hielo-deshielo en hormigones para tableros de puentes. Universidad Politécnica de Madrid. https://oa.upm.es/3757/1/INVE_MEM_2008_57077.pdf
- [10] Compaore, A., Toure, J.-Y. N. K., Klenam, D. E. P., Merenga, A. S., Asumadu, T. K., Obayemi, J. D., Rahbar, N., Migwi, C., & Soboyejo, W. O. (2025). Foam concrete with mineral additives: From microstructure to mechanical/physical properties, workability and durability. *Open Ceramics*, 23, 100812. <https://doi.org/10.1016/j.oceram.2025.100812>
- [11] Zhang, J., Su, Y., Xiong, Y., He, J., Xu, Q., & Gao, H. (2025). Influence of foam content on mechanical properties and thermal conductivity of ceramsite foam concrete. *Scientific Reports*, 15(1), 16860. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-00389-5>
- [12] Abdellatif, M., Hassanien, A. E., Mortagi, M., & Hamouda, H. (2025). Geopolymer foam concrete: A review of pore characteristics, compressive strength and artificial intelligence in GFC strength simulations. *Discover Concrete and Cement*, 1, 4. <https://doi.org/10.1007/s44416-025-00003-x>
- [13] Yang, X., Xu, S., Zhao, Z., & Lv, Y. (2022). Strength, durability, and microstructure of foamed concrete prepared using special soil and slag. *Sustainability*, 14(22), 14952. <https://doi.org/10.3390/su142214952>
- [14] Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2018, 30 de enero). NTP 400.037: Agregados para concreto. Requisitos.
- [15] Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2021, 29 de octubre). NTP 339.185: Determinación del contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. Método de ensayo.
- [16] Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2002, 16 de mayo). NTP 400.018: Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75 µm (Nº 200) por lavado en agregados.
- [17] Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2011). NTP 400.017: Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad y los vacíos en los agregados.
- [18] Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2014, 16 de enero). NTP 400.022: Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa y absorción del agregado.
- [19] Compañía de Cementos Pacasmayo S.A.A. (2025, mayo). Ficha informativa: Cemento Extrafuerte. https://storage.googleapis.com/pacasmayo-profesional/documents/FICHA_INFORMATIVA_EXTRAFORTE_MAY_O_2025.pdf
- [20] Diseño de mezclas de concreto por el metodo ACI. <https://studylib.net/doc/27600764/15.dise%C3%B1o-de-mezclas-por-el-m%C3%A9todo-aci-ebook>
- [21] Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2018). NTP 339.034: Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas.
- [22] Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2008). NTP 339.046: Hormigón (concreto). Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del hormigón (concreto).
- [23] Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2015 diciembre 31). NTP 339.035: Concreto. Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto.

- [24]ASTM International. (1984). ASTM C666-84: Standard test method for resistance of concrete to rapid freezing and thawing.
- [25]Mayhoub, O., Ahmed, M., Hossam, M., Mohamed, B., Sherif, M., & Sayed, S. (2025). A Review on Sustainable Lightweight Foamed Concrete. *Advanced Sciences And Technology Journal.*, 2(1), 1-12. <https://doi.org/10.21608/astj.2025.345092.1026>
- [26]Wang, X., Wu, Y., Li, X., Li, Y., Tang, W., Dan, J., Hong, C., Wang, J., & Yang, X. (2024). *Effect of triterpenoid saponins as foaming agent on mechanical properties of geopolymer foam concrete*. *Materials*, 17(16), 3921. <https://doi.org/10.3390/ma17163921>
- [27]Shang, H.-S., & Yi, T.-H. (2013). Freeze–thaw durability of air-entrained concrete. *The Scientific World Journal*, 2013, 650791. <https://doi.org/10.1155/2013/650791>