



INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE NANOSÍLICE EN LA PERMEABILIDAD DEL CONCRETO



INFLUENCE OF NANOSILICA ADDITION ON CONCRETE PERMEABILITY

Paula Nicole Dongo Gómez, Orlando Javier Saavedra Pérez

Universidad Católica de Santa María – Arequipa – Perú

KEYWORDS:

Nanosilica, nanoparticles, concrete permeability coefficient, water to cement ratio, axial compressive strength.

PALABRAS CLAVE:

Nanosilice, nanopartículas, coeficiente de permeabilidad del hormigón, proporción de agua a cemento, fuerza compresiva axial.

DOI: <https://doi.org/10.35286/veritas.v22i1.292>

RESUMEN

En la presente investigación, se estudió la influencia de la adición de nanosilice en la permeabilidad del concreto con el fin de demostrar que su uso es conveniente considerando las condiciones presentes en la ciudad de Arequipa. Se elaboraron testigos cilíndricos de concreto de 15x30 cm, considerando relaciones agua/cemento de 0.60, 0.55 y 0.50, y dosis de nanosilice de 0.5% y 0.7%, en los cuales se analizó su coeficiente de permeabilidad (a los 28 días de elaboración) y resistencia a la compresión axial (a los 3, 7 y 28 días de elaboración). Los resultados evidencian que, para una dosis de 0.5% de aditivo, se generará una reducción de la permeabilidad del concreto conforme la relación agua/cemento disminuya, mientras que para una dosis de 0.7%, la permeabilidad se reducirá hasta cierto punto para luego incrementarse. En ambos casos se concluye que, mientras más cemento tenga la mezcla, menor es el efecto del aditivo. Las mezclas de concreto presentaron coeficientes de permeabilidad en el orden de 10^{-12} m/s y resistencias en el rango de 300 a 485 kgf/cm².

ABSTRACT

In the present investigation, the influence of nanosilica addition on concrete permeability was analyzed in order to demonstrate that its use is convenient considering the present conditions in the city of Arequipa. Cylindrical concrete specimens of 15x30 cm were prepared, considering water/cement ratios of 0.60, 0.55 and 0.50, and nanosilica doses of 0.5% and 0.7%, in which the permeability coefficient (at 28 days of preparation) and the axial compressive strength (at 3, 7 and 28 days of preparation) were analyzed. The results evidence that, for a dosage of 0.5% additive, a reduction in the permeability of the concrete will be generated as the water/cement ratio decreases, while for a dosage of 0.7%, the permeability will be reduced up to a certain point and then increase. For both cases it is concluded that the more cement in the mix, the lesser the effect of the additive. The concrete mixes presented permeability coefficients in the order of 10^{-12} m/s and compressive strengths in the range of 300 to 485 kgf/cm².

INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción presenta avances tecnológicos de manera constante, los cuales vienen solucionando problemas que surgen con el desarrollo de nuevas necesidades, el uso de nanotecnología es un claro ejemplo. Según Gonzáles (2016) "La nanotecnología es el estudio, creación, síntesis, manipulación y aplicación de materiales, aparatos y sistemas funcionales a través del control de la materia, explotación de fenómenos y propiedades de materia a nano escala". La nanosilice es un aditivo utilizado en el concreto, el cual modifica de manera positiva sus propiedades. Considerando un concreto en estado fresco, está comprobado que este material actúa como superplastificante, mejorando la fluidez y trabajabilidad de la mezcla. Analizando el concreto endurecido, la nanosilice actúa juntamente con

el cemento logrando que la permeabilidad se reduzca y adicionalmente la resistencia a la compresión aumente, ambos efectos dependerán de la dosificación utilizada. A pesar de los beneficios que presenta este aditivo, su utilización en la ciudad de Arequipa es escasa debido a que no existen investigaciones que nos brinden resultados certeros de su comportamiento en concretos elaborados bajo las condiciones de esta ciudad.

Es por esto que la presente investigación tiene como objetivo realizar el análisis de la influencia de la adición de nanosilice en el coeficiente de permeabilidad del concreto, con el fin de conocer el efecto que produce la incorporación de este en diferentes dosificaciones para concretos considerando materiales propios de la ciudad de Arequipa.

* Paula Nicole Dongo Gómez, Orlando Javier Saavedra Pérez, Correspondencia: paulanicole33@gmail.com.

OBJETIVOS

Analizar la influencia de la adición de nanosílice en la permeabilidad del concreto así como la resistencia a la compresión de los testigos elaborados.

Material y métodos

Para la elaboración de las mezclas de concreto se usaron materiales disponibles en la ciudad de Arequipa, los cuales cumplen con las normas peruanas vigentes y se mencionarán a continuación:

Agregados: Piedra chancada TMN1/2" y arena gruesa provenientes de la cantera "La Poderosa" ubicada en el distrito de Uchumayo.

Cemento: Marca Yura, tipo I.

El método utilizado consistió en la experimentación en laboratorio, puesto que el análisis se realizó en base a datos recopilados mediante ensayos a las mezclas elaboradas, tanto en estado fresco y como endurecido.

DESARROLLO

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES.

PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS.

Tabla 1 : Propiedades de los agregados.

Propiedades	Piedra chancada	Arena gruesa
Peso específico (gf/cm ³)	2.685	2.427
Peso unitario suelto (kgf/m ³)	1508.61	1412.94
Peso unitario compactado (kgf/m ³)	1637.38	1611.15
Absorción (%)	1.05	3.15
Contenido de humedad (%)	0.10	0.40

Fuente: Elaboración propia.

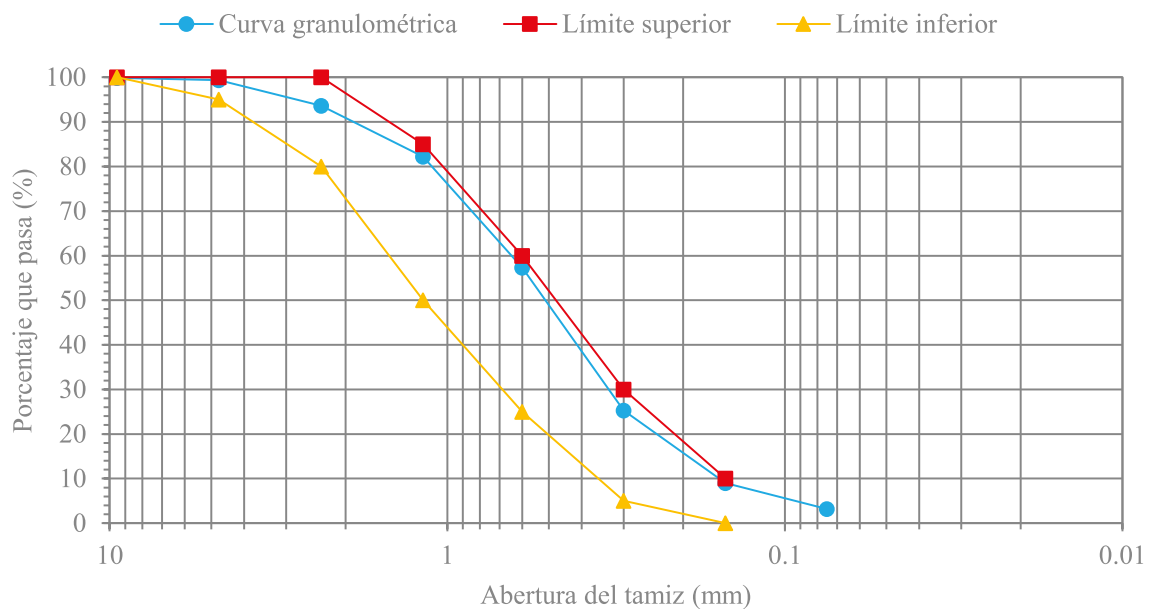


Figura 1: Curva granulométrica del agregado fino. Fuente: Elaboración propia.

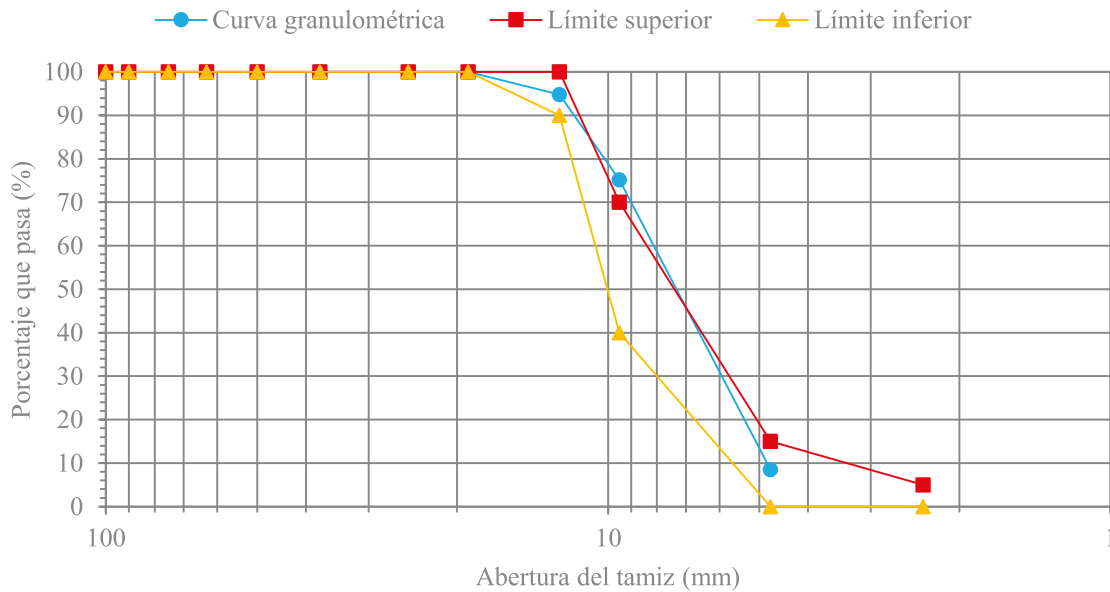


Figura 2: Curva granulométrica del agregado grueso. Fuente: Elaboración propia.

ANÁLISIS CRÍTICO:

Como se puede observar en la Figura 1, el agregado fino cumple totalmente con los límites establecidos por norma. En el caso del agregado grueso (Figura 2), se tiene un valor que sale de los límites, sin embargo, al estar la mayor parte de la curva dentro de estos, se puede considerar que el material es apto para su uso.

PROPIEDADES DEL CEMENTO.

Tabla 2 Propiedades del cemento Yura tipo I (Yura, 2012).

Propiedades	
Peso específico (gf/cm ³)	3.05
MgO (%)	2.55
SO ₃ (%)	2.10
Superficie específica (cm ² /g)	3150

Fuente: Elaboración propia.

DISEÑOS DE MEZCLA.

Diseños de mezcla patrón.

La mezcla considerando la relación agua/cemento 0.60 fue diseñada tomando en cuenta el método ACI 211.1-91, del comité ACI 211, el cual nos indica un procedimiento dependiente del $f'c$, del slump requerido y de las propiedades de los materiales a utilizar.

Se varió el valor de $f'c$ hasta que el diseño resultante tenga una relación agua/cemento de 0.60. Esta mezcla fue modificada posteriormente con la finalidad de alcanzar

un slump en el rango de 4 a 6 pulgadas, para lo cual se realizó una serie de mezclas de prueba, obteniendo finalmente un diseño patrón.

Las mezclas con relaciones agua/cemento 0.55 y 0.50 fueron elaboradas en base a la mezcla patrón (0.60). Se intentó mantener constante la cantidad de agua de mezcla del diseño base, para lo cual en las relaciones agua/cemento 0.55 y 0.50 se quitó una cantidad de arena igual en peso a la cantidad de cemento que aumentaba con respecto al diseño patrón. Luego de realizar esta modificación, se recalculó la cantidad de agregados de tal forma que el volumen absoluto de la mezcla siga siendo 1 m³. De esta manera, al hacer las mezclas de prueba, estas tendrían un slump en el rango de 4 a 6 pulgadas, y en caso esto no se cumpliera, la cantidad de agua a variar sería la mínima.

Diseños de mezcla con adición de nanosílice.

Para elaborar estos diseños se consideraron dosificaciones de 0.5% y 0.7% de nanosílice en las mezclas patrón.

Las dosificaciones usadas fueron las siguientes:

Tabla 3

Diseños de mezcla y valores de slump obtenidos.

Relación a/c	Cemento (kgf/m ³)	Agua (L/m ³)	Piedra chancada (kgf/m ³)	Arena gruesa (kgf/m ³)	Nanosílice		Slump (pulg.)
					Dosis (%)	Cantidad (kgf/m ³)	
0.60	323.33	194.0	1029.78	707.38	-	1.62	4.25
					0.50	1.62	7.25
					0.70	2.26	9.25
0.55	353.64	194.5	1047.38	666.13	-	-	4.00
					0.50	1.77	8.25
					0.70	2.48	9.50
0.50	390.00	195.0	1068.66	616.75	-	-	4.75
					0.50	1.95	8.25
					0.70	2.73	9.25

Fuente: Elaboración propia.

La mezcla se elaboró siguiendo el procedimiento descrito a continuación: Se mezcló el agregado grueso con un porcentaje mínimo de agua, luego se incorporó el agregado fino, se mezcló hasta que el producto se uniformice, después se insertó el cemento y el agua restante. Cabe mencionar que el agua fue previamente mezclada con el aditivo.

Posteriormente se elaboraron testigos cilíndricos de concreto de 15 cm de diámetro por 30 cm de altura, conforme a lo indicado en la Norma NTP 339.183, los cuales fueron curados en agua saturada con hidróxido de calcio.

ENSAYOS.

Ensayo de permeabilidad al agua del concreto.

Debido a que la normativa técnica peruana no contempla este ensayo, se tomó en cuenta normas extranjeras.

Este ensayo se basa en el de profundidad de penetración de agua bajo presión propuesto en la norma UNE-EN 12390-8, posteriormente modificado por el comité ACI 212 en su documento "Report on Chemical Admixtures for Concrete" (ACI 212.3R, 2010) para calcular el coeficiente de permeabilidad "K".

El ensayo considera la fórmula propuesta por Valenta (Neville, 2013) basada en la ley de Darcy y dependiente de variables como la porosidad, tiempo de ensayo, presión de agua aplicada y penetración media.

A los 28 días de elaboración, los testigos cilíndricos de concreto fueron secados al horno durante 24 horas, para posteriormente ser ensayados.

Ensayo de compresión axial.

El procedimiento de ensayo está descrito en la norma NTP 339.034.

Los testigos cilíndricos de concreto fueron ensayados a los 3, 7 y 28 días de elaborados.

Resultados.

Ensayo de permeabilidad.

Valenta (Neville, 2013) propuso la siguiente expresión.

$$K = \frac{e^2 v}{2ht}$$

En la cual:

e = Profundidad media de penetración de agua medida en el concreto (m).

v = Porosidad del concreto.

h = Presión de agua (m.c.a).

t = Tiempo de ensayo (s).

La profundidad de penetración media se calcula a partir del área mojada y la base de esta.

El valor de la porosidad fue calculado según la norma NTP 339.187.

Todas las muestras fueron ensayadas un tiempo de 96 horas a una presión constante de 1MPa.

Tabla 4

Resultados de coeficientes de permeabilidad.

Relación agua/cemento	Dosis de nanosílice (%)	Profundidad media (cm)	Porosidad (%)	Coefficiente de permeabilidad (m/s)
0.60	-	3.870	16.78	3.57 E-12
	0.50	3.710	15.66	3.08 E-12
	0.70	3.650	14.05	2.66 E-12
0.55	-	4.000	14.60	3.32 E-12
	0.50	3.780	13.56	2.75 E-12
	0.70	4.140	12.00	2.92 E-12
0.50	-	3.870	11.93	2.54 E-12
	0.50	3.740	11.49	2.30 E-12
	0.70	4.320	11.19	2.96 E-12

Fuente: Elaboración propia.



Figura 3: Porosidad de los concretos elaborados. Fuente: Elaboración propia.

ANÁLISIS CRÍTICO:

Como se puede observar en la Figura 3, la porosidad de las mezclas de concreto elaboradas con nanosílice, es menor a la porosidad de los diseños que no presentan este aditivo. Con la dosis de 0.7% de nanosílice se obtuvo una mayor reducción de la porosidad en comparación con la dosis de 0.5% para todas las relaciones agua/

cemento consideradas. Además, se puede observar una disminución de la efectividad de las dosis de aditivo conforme lo hace también la relación agua/cemento, obteniendo reducciones de porosidad mínimas en la relación agua/cemento de 0.50.

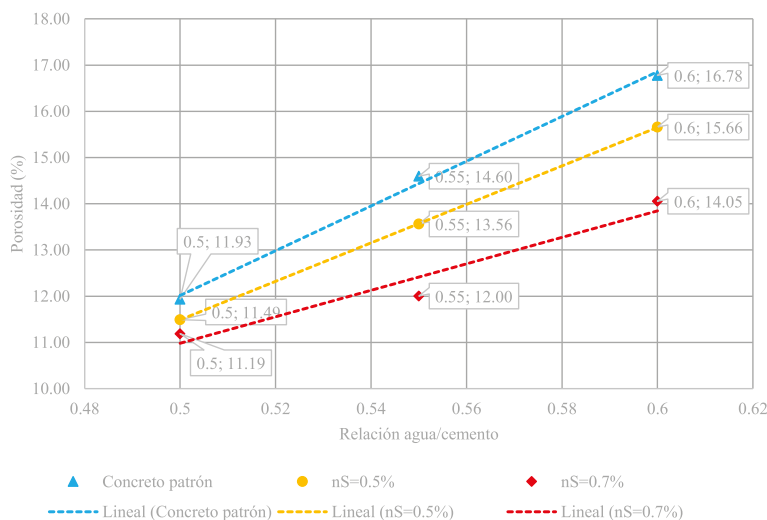


Figura 4: Relación agua/cemento vs Porosidad. Fuente: Elaboración propia.

ANÁLISIS CRÍTICO:

Como se puede observar en la Figura 4, la porosidad es directamente proporcional a la relación agua/cemento de la mezcla. En general, las mezclas con aditivo tuvieron menor porosidad a mayor dosis de este.

Tabla 5 Variación de la porosidad de los concretos con nanosílice respecto a los patrones.

Concreto	a/c 0.60	a/c 0.55	a/c 0.50
Patrón	-	-	-
nS=0.5%	-6.67%	-7.12%	-3.69%
nS=0.7%	-16.27%	-17.81%	-8.38%

Fuente: Elaboración propia.

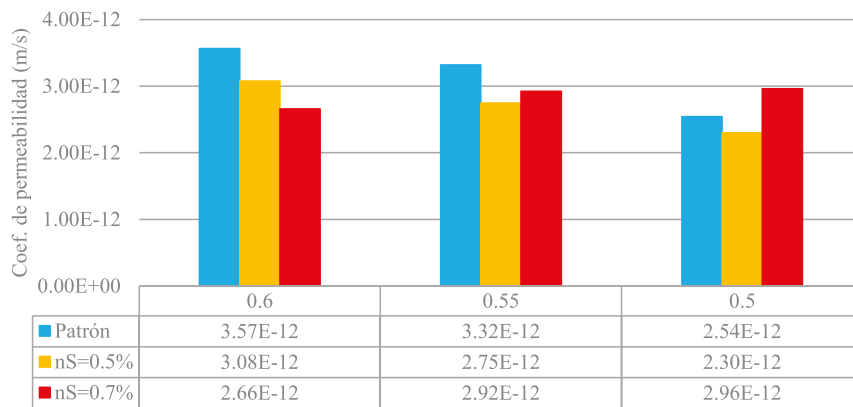


Figura 5: Coeficientes de permeabilidad de los concretos elaborados. Fuente: Elaboración propia.

ANÁLISIS CRÍTICO:

Como se puede observar en la Figura 5, la adición de 0.5% de nanosílice causa un impacto positivo reduciendo el coeficiente de permeabilidad en las tres relaciones agua/cemento consideradas. Sin embargo, al aumentar la dosis a 0.7%, este coeficiente se reduce únicamente cuando la relación agua/cemento es 0.60, mientras que en mezclas con relaciones agua/cemento menores, la permeabilidad tiende a aumentar con respecto al coeficiente de permeabilidad obtenido con dosis de 0.5%.

Además, la mezcla realizada con una relación agua/cemento de 0.50, supera la permeabilidad de la mezcla patrón. Esto demuestra que, al usar este aditivo, la porosidad no es el único factor que predomina en el coeficiente de permeabilidad.

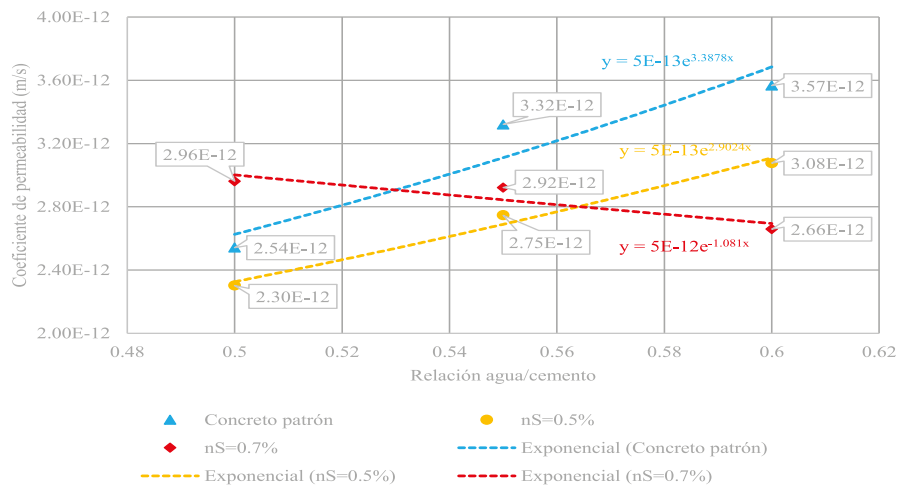


Figura 6: Relación agua/cemento vs Coeficiente de permeabilidad. Elaboración propia.

ANÁLISIS CRÍTICO:

Como se puede observar en la Figura 6, los concretos patrones y los concretos con adición de nanosílice en un 0.5% presentan coeficientes de permeabilidad que siguen una tendencia exponencial creciente conforme aumenta la relación agua/cemento, mientras con las mezclas con dosis de 0.7% de aditivo, muestran una tendencia decreciente.

Tabla 6 Variación del coeficiente de permeabilidad de los concretos con nanosílice respecto a los patrones.

Concreto	a/c 0.60	a/c 0.55	a/c 0.50
Patrón	-	-	-
nS=0.5%	-13.73%	-17.17%	-9.45%
nS=0.7%	-25.49%	-12.05%	+16.54%

Fuente: Elaboración propia.

Ensayo de compresión axial.

Tabla 7 Resultados de resistencia a la compresión.

Relación agua/cemento	Resistencia a la compresión (kgf/cm ²)		
	3 días	7 días	28 días
0.60	139.83	210.39	298.67
0.60 nS=0.5%	155.60	240.99	309.38
0.60 nS=0.7%	145.20	218.66	303.89
0.55	166.64	255.18	365.12
0.55 nS=0.5%	186.27	274.40	378.01
0.55 nS=0.7%	203.31	287.55	391.06
0.50	205.15	290.09	404.40
0.50 nS=0.5%	245.84	364.87	451.41
0.50 nS=0.7%	274.38	386.00	485.75

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8 Variación de resistencia a la compresión de los concretos con nanosílice respecto a los patrones.

Relación agua/cemento	Resistencia a la compresión (kgf/cm ²)		
	3 días	7 días	28 días
0.60	-	-	-
0.60 nS=0.5%	+11.28%	+14.54%	+3.59%
0.60 nS=0.7%	+3.84%	+3.93%	+1.75%
0.55	-	-	-
0.55 nS=0.5%	+11.78%	+7.53%	+3.53%
0.55 nS=0.7%	+22.01%	+12.69%	+7.10%
0.50	-	-	-
0.50 nS=0.5%	+19.83%	+25.78%	+11.62%
0.50 nS=0.7%	+33.75%	+33.06%	+20.12

Fuente: Elaboración propia.

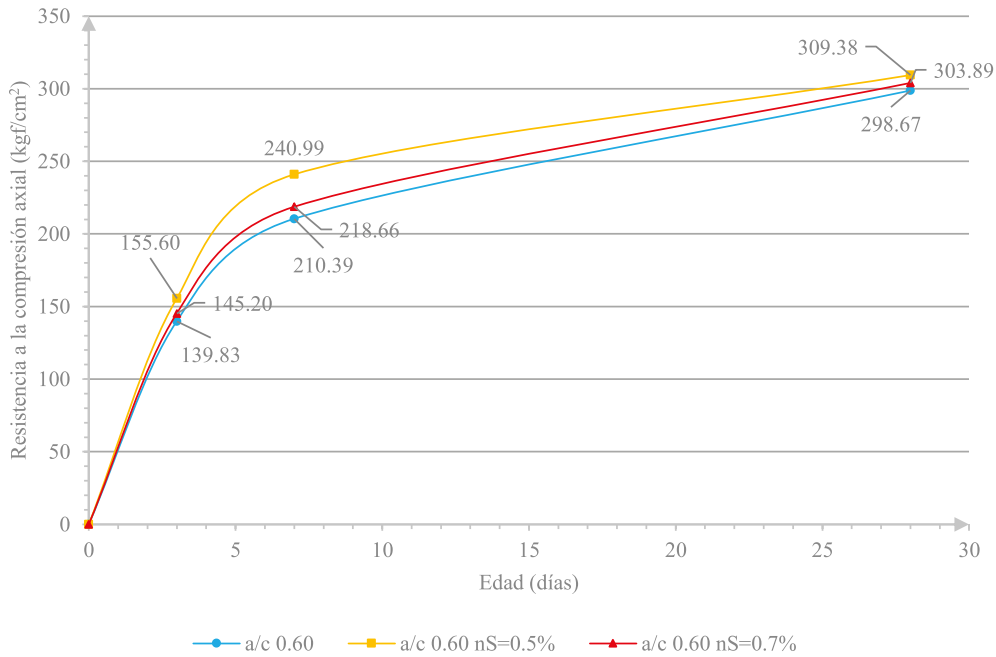


Figura 7: Resistencia a la compresión vs Relación agua/cemento a/c 0.60. Fuente: Elaboración propia.

ANÁLISIS CRÍTICO:

Como se puede observar en la Figura 7, la adición de nanosílice incrementó la resistencia a la compresión, siendo la dosis de aditivo al 0.5% la más efectiva para esta relación agua/cemento. El mayor incremento de resistencia se da a los 7 días de elaboración con aditivo al 0.5% (+14% con respecto a la mezcla patrón).

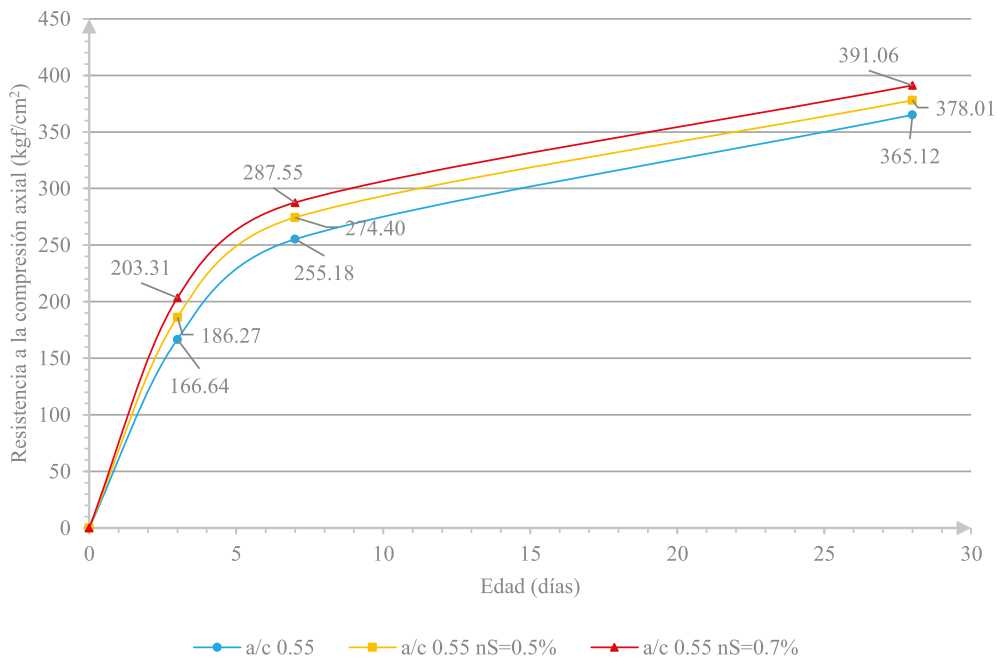


Figura 8: Resistencia a la compresión vs Relación agua/cemento a/c 0.55. Fuente: Elaboración propia.

ANÁLISIS CRÍTICO:

Como se puede observar en la Figura 8, la adición de nanosílice incrementó la resistencia a la compresión, siendo la dosis de aditivo al 0.7% la más efectiva para esta relación agua/cemento. En este caso, el mayor incremento se dio a los 3 días de elaboración con aditivo al 0.7% (+22% con respecto a la mezcla patrón).

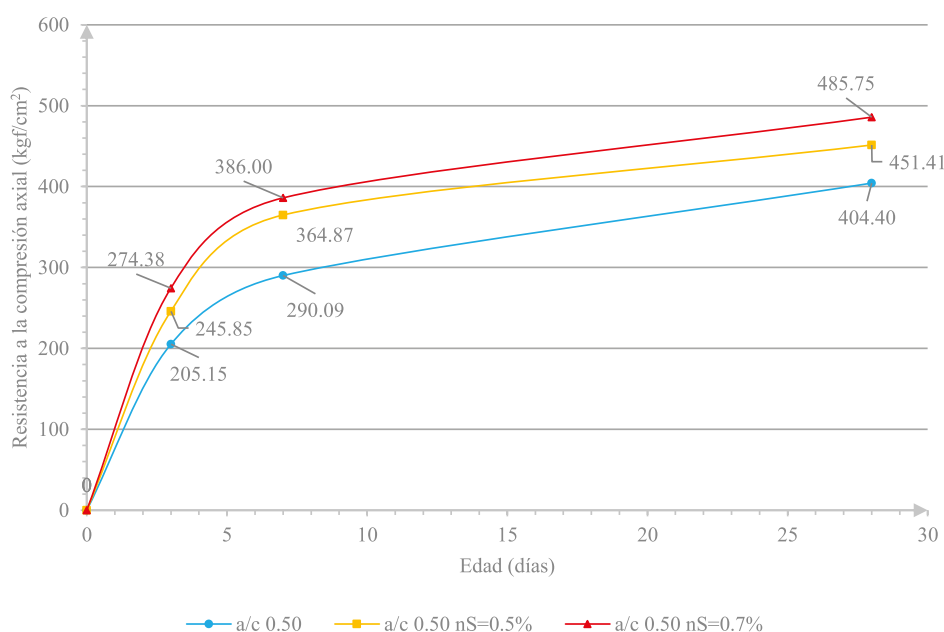


Figura 9: Resistencia a la compresión vs Relación agua/cemento a/c 0.50. Fuente: Elaboración propia.

ANÁLISIS CRÍTICO:

Como se puede observar en la Figura 9, la adición de nanosílice incrementó la resistencia a la compresión, siendo también la dosis de aditivo al 0.7% la más efectiva para esta relación agua/cemento. En este caso, el incremento de resistencia con respecto al patrón es más notoria.

CONCLUSIONES

La porosidad y el coeficiente de permeabilidad de los concretos patrones se reduce a medida que lo hace la relación agua/cemento.

El coeficiente de permeabilidad puede ser reducido, para las relaciones agua/cemento 0.60, 0.55 y 0.50, aplicando una dosis de 0.5% de nanosílice. El incremento de esta dosis a 0.7% no siempre producirá una reducción del coeficiente de permeabilidad, esto se ve reflejado en concretos con relaciones agua/cemento de 0.55 y 0.50, teniendo este último un coeficiente de permeabilidad mayor que el concreto patrón. Esto demuestra que la porosidad, en este caso, no es el factor que predomina en la permeabilidad.

La porosidad de los concretos con nanosílice fue menor, en todos los casos, a la del concreto patrón. A medida que la relación agua/cemento se reduce, las dosis de 0.5% y 0.7% de nanosílice pierden su efectividad.

La adición de nanosílice incrementó la resistencia a la compresión de los concretos elaborados. Una dosis de nanosílice de 0.5% ofreció un mayor incremento de resistencia para la relación agua/cemento 0.60, mientras que para las relaciones agua/cemento 0.55 y 0.50, la dosis de 0.7% fue más efectiva. Esto puede indicar que a medida que se reduce la relación agua/cemento, el aumento de dosis de nanosílice podría resultar más conveniente.

RECOMENDACIONES

Se recomienda analizar la permeabilidad de concretos con nanosílice usando dosis mayores a las presentadas y relaciones agua/cemento menores,

Se recomienda analizar la permeabilidad de concretos con adiciones minerales y fibras.

Se recomienda estudiar la relación de otros factores que pueden influir en la permeabilidad del concreto, tales como: el curado, el tipo de cemento y el tipo, procedencia y proporciones de agregado.

Se recomienda realizar una investigación acerca de la evolución de la permeabilidad en el tiempo.

AGRADECIMIENTOS

Al Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Católica de Santa María, ya que parte del financiamiento de esta investigación se realizó gracias a los fondos del concurso "Fomento e incentivo a la formación de semilleros de investigación".

A los ingenieros Angel Apaza y Dania Espinoza, que fueron piezas importantes en la investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ACI 211.1-91. (1991). Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete. Comité ACI 211.
2. ACI 212.3R-10. (2010). Report on chemical admixtures for concrete. Comité ACI 212.
3. Gonzáles, J. G. (Abril de 2016). Nanotecnología y concreto. CONSTRUCCIÓN Y TECNOLOGÍA EN CONCRETO, 6(2), pp. 16-21.

4. Neville, A. M. (2013). Tecnología del concreto. Mexico: M. en A. Soledad Moliné Venanzi.
5. NTP 339.034. (2015). CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas. Dirección de Normalización – INACAL.
6. NTP 339.183. (2013). CONCRETO. Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio. Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales no Arancelarias – INDECOPI.
7. NTP 339.187. (2018). CONCRETO. Método de ensayo para determinar la densidad, absorción y porcentaje de vacíos en concreto endurecido. Dirección de Normalización – INACAL.
8. UNE-EN 12390-8. (2001). Ensayos de hormigón endurecido. Parte 8: Profundidad de penetración de agua bajo presión. Asociación Española de Normalización y Certificación.
9. Yura. (2012). Ficha técnica - Cemento Portland Yura tipo I. Perú.