



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

métodos &
materiales

Publicación Anual • Volumen 12 • Diciembre 2022 • ISSN electrónico: 2215-4558

Influencia del aditivo superplastificante en el hormigón con agregado laterítico

Influence of the superplasticizing additive in concrete with lateritic aggregate

Andrea Suárez Ferrufino

Investigadora
Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia
ASF2013P@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-6572-0565>

Jacqueline Aidee Tola Colque

Investigadora
Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia
tolacja@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-7813-8972>

Romina Mendez Torrez

Investigadora
Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia
rominamendezt.cu@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-0963-1362>

Joaquin Humberto Aquino Rocha M.Sc.

Investigador
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil
joaquinaquinorocha@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-3383-6379>

Fecha de recepción: 2 de octubre 2022 / **Fecha de aprobación:** 30 de noviembre 2022

Índices y Bases de Datos:

latindex

UCRIndex

REDIB

Dialnet

DOAJ
DIRECTORY OF
OPEN ACCESS
JOURNALS

PERIÓDICA

biblat
Bibliografía Latinoamericana

ERIH PLUS
EUROPEAN REFERENCE INDEX FOR THE
HUMANITIES AND SOCIAL SCIENCES

Políticas de Uso:



Revista Métodos y Materiales por LanammeUCR se distribuye bajo: Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional. ISSN electrónico: 2215-4558

revistas.ucr.ac.cr/index.php/materiales

lanamme.ucr.ac.cr

metodosymateriales.lanamme@ucr.ac.cr

Influencia del aditivo superplastificante en el hormigón con agregado laterítico

Influence of the superplasticizing additive in concrete with lateritic aggregate

Andrea Suárez Ferrufino

Investigadora
Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia
ASF2013P@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-6572-0565>

Jacqueline Aidee Tola Colque

Investigadora
Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia
tolacja@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-7813-8972>

Romina Mendez Torrez

Investigadora
Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia
rominamendezt.cu@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-0963-1362>

Joaquin Humberto Aquino Rocha M.Sc.

Investigador
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil
joaquinaquinorocha@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-3383-6379>

Fecha de recepción: 2 de octubre 2022 / Fecha de aprobación: 30 de noviembre 2022

RESUMEN

Debido a la escasez y elevados costos de transporte de agregados pétreos en el oriente y noreste de Bolivia, se han buscado diferentes alternativas para su sustitución parcial o completa en la industria de la construcción y, específicamente, para la fabricación de hormigón. La presente investigación tiene como objetivo la evaluación de la trabajabilidad, resistencia a la compresión y velocidad de pulso ultrasónico (VPU) del hormigón producido totalmente con agregados gruesos lateríticos y un aditivo superplastificante comercial. Mediante el método IPT/EPUSP, se dosificó un hormigón con agregado grueso laterítico para 30 MPa (resistencia a la compresión de diseño). Se consideraron cinco diferentes porcentajes de aditivo (en peso del cemento): 0% (referencia), 0.6, 0.8, 1 y 1.2%. El aditivo superplastificante mejora la trabajabilidad a mayores porcentajes, las mezclas con 0.6, 0.8 y 1% presentaron mayor resistencia a la compresión y VPU, cuando se compararon a la referencia (0%). La mezcla con 1.2% de aditivo presentó los menores valores de resistencia a la compresión y VPU. El uso de aditivos, en este caso superplastificante, resulta beneficioso para la trabajabilidad y resistencia a compresión del hormigón laterítico; no obstante, se deben definir los contenidos más adecuados para su utilización. En este sentido, el uso del agregado laterítico y aditivos superplastificantes representan una alternativa técnicamente viable y sostenible en la elaboración de hormigón, una vez que se alcanza la resistencia a la compresión de diseño y se utilizan materiales locales.

Palabras clave: Agregado laterítico, aditivo superplastificante, asentamiento, resistencia a la compresión, velocidad de pulso ultrasónico.

ABSTRACT

Due to the scarcity and high transportation costs of stone aggregates in the east and northeast of Bolivia, different alternatives have been sought for their partial or complete replacement in the construction industry and, specifically, to produce concrete. The objective of this research is to evaluate the workability, compressive strength, and ultrasonic pulse velocity (UPV) of concrete produced entirely with coarse lateritic aggregates and a commercial superplasticizer additive. Using the IPT/EPUSP method, concrete with coarse lateritic aggregate was dosed for 30 MPa (design compressive strength). Five different percentages of additive (by weight of cement) were considered: 0% (reference), 0.6, 0.8, 1 and 1.2%. The superplasticizer additive improves workability at higher percentages, the mixtures with 0.6, 0.8 and 1% presented higher compressive strength and UPV, when compared to the reference (0%). The mixture with 1.2% of additive presented the lowest values of compressive strength and UPV. The use of additives, in this case superplasticizer, is beneficial for the workability and compressive strength of lateritic concrete, but the most appropriate content for its use must be defined. In this sense, the use of lateritic aggregate and superplasticizing additives represent a technically viable and sustainable alternative in the production of concrete, once the design compressive strength is reached and local materials are used.

Key words: Lateritic aggregate, superplasticizer additive, slump, compressive strength, ultrasonic pulse velocity.

1. INTRODUCCIÓN

Las lateritas son producidas por la meteorización de suelos y rocas, proceso que se intensifica con elevadas temperaturas y fuertes precipitaciones. Se ha reportado que, la mayor parte de los depósitos lateríticos se localizan en zonas tropicales, principalmente en el hemisferio sur, donde se presentan condiciones ambientales propicias para la generación de lateritas (Nino y Caldas, 2020; Kaze et al., 2022).

En Bolivia el material laterítico no ha sido un amplio objeto de estudio, lo que conlleva al no aprovechamiento de este recurso en las regiones tropicales, especialmente como material de construcción (Párraga, 2013). Por ejemplo, la producción de hormigón con agregado laterítico sería ventajosa en el aspecto económico, minimizando el costo de transporte, especialmente de agregados pétreos, y presentando una fuente alternativa a los materiales convencionales (Asiedu, 2017).

El uso de material laterítico para producir hormigón ha sido reportado en la literatura (Atoyebi et al., 2018; Fanijo et al., 2020). Madu (1980) reporta que el material laterítico es adecuado para elaborar hormigón, a pesar de dar resultados de resistencia a la compresión ligeramente menores al hormigón con agregados convencionales. Muthusamy y Kamaruzaman (2012) indicaron que el reemplazar agregado natural por agregado laterítico en hasta el 30% es adecuado para la producción de un hormigón trabajable sin comprometer la resistencia mecánica. Asiedu (2017) encontró que, a medida que aumenta el reemplazo de agregado grueso por material laterítico, la resistencia a compresión disminuye; sin embargo, el autor indica que la grava laterítica puede ser usada para reemplazar totalmente el agregado grueso convencional para producir un hormigón no estructural.

Por otro lado, Awoyera et al. (2016) señalan que el hormigón con agregado laterítico tiene menor trabajabilidad que un hormigón con áridos naturales. Fanijo et al. (2020) indican que la adición de agregados lateríticos disminuye la trabajabilidad del hormigón, atribuyendo este comportamiento a dos motivos: la presencia de caolinitas e ilitas en el material laterítico requiere más agua para mejorar la plasticidad, y la naturaleza absorbente del material laterítico demanda mayor cantidad de agua. En este mismo sentido, Raja y Vijayan (2021) reportan que la utilización del agregado laterítico en el hormigón conduce a una considerable disminución de la trabajabilidad, lo que se debe a la elevada absorción del

agregado laterítico. Estos estudios demuestran la necesidad de mejorar la trabajabilidad del hormigón con agregado laterítico, sea mediante adiciones minerales y/o aditivos plastificantes.

A pesar de los diversos estudios sobre el uso del agregado laterítico en hormigón, no es un material consolidado en la industria de la construcción. Todavía es necesaria una mayor caracterización de sus propiedades con relación al uso de otros materiales, como aditivos superplastificantes comerciales, ampliamente utilizados en el sector. Por tanto, el presente estudio tiene por objetivo evaluar la trabajabilidad, resistencia a la compresión y velocidad de pulso ultrasónico (VPU) de un hormigón laterítico con la incorporación de un aditivo superplastificante. Para esto se consideró un hormigón con 100% de agregados lateríticos, a fin de demostrar la aplicabilidad de este material.

2. METODOLOGÍA

2.1 Materiales

Se utilizó un cemento Portland puzolánico de acuerdo con la ASTM C595 (ASTM, 2021), denominado IP-30, presentando una resistencia a la compresión de 30 MPa a 28 días para un mortero normalizado (IBNORCA, 2012). El peso específico del cemento es 3.03 g/cm³. El cemento IP-30 fue escogido debido a su libre comercialización y disponibilidad local (Cochabamba, Bolivia).

El agregado laterítico fue obtenido de Riberalta, Beni, Bolivia (Figura 1), sector caracterizado por presentar extensos depósitos de material laterítico. La Tabla 1 y Figura 2 presentan el análisis granulométrico de la grava laterítica mediante la norma ASTM C136 (ASTM, 2019). El porcentaje de absorción del agregado laterítico se determinó en 6.13% por medio de la ASTM C127 (ASTM, 2015).



Figura 1. Agregado laterítico utilizado en la investigación

Tabla 1. Análisis granulométrico de la grava laterítica					
Tamiz					
Nominal	mm	Peso retenido (g)	Peso retenido acumulado (g)	(%)	Peso que pasa (%)
2"	50	0	0	0	100
1 1/2"	38.1	0	0	0	100
1"	25	0	0	0	100
3/4"	19	0	0	0	100
1/2"	12.5	187	187	6.3	93.7
3/8"	9.5	558	745	24.9	75.1
Nº4	4.75	2113	2858	95.6	4.4
Peso de la muestra			1000 g		

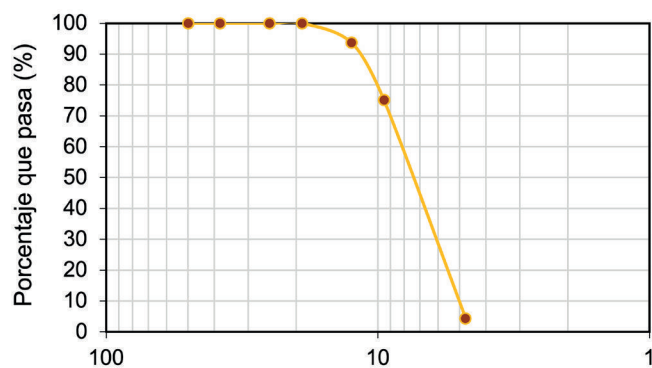


Figura 2. Curva granulométrica de la grava laterítica

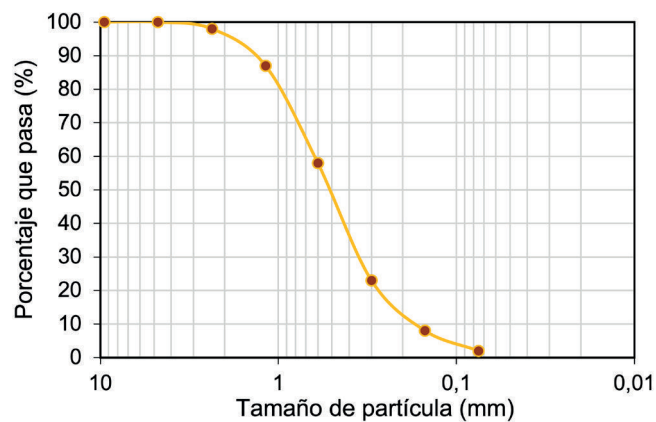


Figura 3. Curva granulométrica de la arena residual

La arena utilizada fue natural, extraída de Riberalta, Beni, Bolivia. La Tabla 2 y Figura 3 presentan el análisis granulométrico de la arena, siguiendo la norma ASTM C136 (ASTM, 2019).

Tabla 2. Análisis granulométrico de la arena					
Tamiz					
Nominal	mm	Peso retenido (g)	Peso retenido (%)	Peso retenido acumulado (%)	Peso que pasa (%)
3/8"	9.500	0	0	0	100
Nº4	4.750	2	0	0	100
Nº8	2.360	29	2	2	98
Nº16	1.180	159	11	13	87
Nº30	0.600	433	29	42	58
Nº50	0.300	527	35	77	23
Nº100	0.150	224	15	92	8
Nº200	0.075	98	7	98	2
Fondo		24	2	100	0
Peso de la muestra		1500 g			

Se utilizó agua potable, provista en las instalaciones de la Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia, lugar donde fue realizada la presente investigación.

Se utilizó un aditivo superplastificante, reductor de agua de medio rango y retardador para el hormigón. La elección de aditivo superplastificante fue basada en su disponibilidad local y comercial. El aditivo no contiene cloruros y tiene un aspecto liquido color café oscuro, cumpliendo las especificaciones de ASTM C494 Tipo G (ASTM, 2019), NB 1000 (IBNORCA, 2015), NB 1001 (IBNORCA, 2015) y NB 1225001 (IBNORCA, 2017). El fabricante recomienda un uso de 0.6 a 1.2 % respecto al peso del cemento. La Tabla 3 presenta características adicionales del aditivo superplastificante.

Tabla 3. Datos técnicos del aditivo superplastificante	
Propiedad	Aditivo superplastificante
Densidad	1.22 kg/L $\pm$ 0.03 a 25° C
pH	7.5-9.5 a 25° C
Permanencia del efecto de fluidez	Entre 60 y 90 min
Reducción de agua	10 a 18%

2.2 Composición de las mezclas

La dosificación del hormigón de referencia se realizó mediante el método IPT/EPUSP para una resistencia a la compresión de 30 MPa. La relación de agua y cemento fue 0.42 y se consideró 55/45 como la proporción de los agregados gruesos/finos.

Se consideraron cinco mezclas de hormigón con agregado laterítico en función de la cantidad del aditivo superplastificante: 0 (referencia), 0.6, 0.8, 1 y 1.2% en peso del cemento, rango recomendado por el fabricante. Siete cuerpos de prueba cilíndricos (10x20 cm) por cada mezcla fueron elaborados. La cantidad de materiales por metro cúbico de hormigón fueron: 533.33 kg de cemento, 766.67 kg de arena y 1100 kg de agregado grueso.

2.3 Métodos de ensayo

2.3.1 Asentamiento

La determinación del asentamiento por el método de cono de Abrams fue realizada según la norma ASTM C143 (ASTM, 2012). Se utilizó un molde metálico sin fondo de forma troncocónica con una altura de 30 cm y un diámetro de 20 y 10 cm, en la base y la parte superior, respectivamente. Se utilizó una barra de acero de 16 mm de diámetro y 600 mm de longitud con un extremo hemisférico.

2.3.2 Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión fue realizada según la norma ASTM C39 (ASTM, 2014) a la edad de 7 y 28 días, considerando tres muestras por mezcla y edad. La norma ASTM C39 (ASTM, 2014) indica que los cuerpos de prueba se ensayan en condiciones húmedas; sin embargo, para la presente investigación se siguieron las recomendaciones de Chagas (2011) y Celestino (2018), donde se recomienda que, debido al elevado porcentaje de absorción de los agregados lateríticos, los especímenes sean retirados de la cura 24 horas antes del ensayo. En ese período las superficies, superior e inferior, fueron invertidas para que estén igualmente expuestas al ambiente atmosférico. Este procedimiento se justifica por la elevada absorción de agua por parte del agregado laterítico, humedad que podría implicar una posible disminución de la resistencia a la compresión. Adicionalmente, la ASTM C597 (ASTM, 2016) menciona que la saturación de los cuerpos de prueba de hormigón puede afectar la VPU.

Para la rotura se utilizó una prensa de marca AUTOMAX del laboratorio de la Universidad Mayor de San Simón, la cual consta de dos elementos: consola computarizada y la prensa de compresión, los cuales se calibraron para la realización del ensayo según la ASTM C39 (ASTM, 2014). La Figura 4 presenta el resultado de la rotura de los cuerpos de prueba cilíndricos.

Tanto los resultados de resistencia a la compresión y asentamiento fueron analizados por ANOVA (ANalysis Of VAriance) a fin de comparar las varianzas entre los promedios de los diferentes grupos para un α de 0.05, lo que permitirá determinar si existen diferencias estadísticamente significativas.



Figura 4. Ensayo de resistencia a la compresión del hormigón con agregado laterítico

2.3.3 Velocidad de pulso ultrasónico (VPU)

La VPU fue determinada por medio del equipo PULSONIC 58-E4900 de la marca CONTROLS, el cual presentaba frecuencias de los transductores de 50 kHz, con una precisión de 0.1 μ s. El equipo cumple con las normativas EN 12504-4 (Comité Técnico CEN, 2021) y ASTM C597 (ASTM, 2016).

Antes de que los cuerpos cilíndricos de prueba fueran ensayados a la resistencia a la compresión, se determinó la VPU para 7 y 28 días. Se obtuvieron tres lecturas de tiempo para cada espécimen y el método de medición fue el directo (Figura 5), a fin de obtener resultados más precisos.

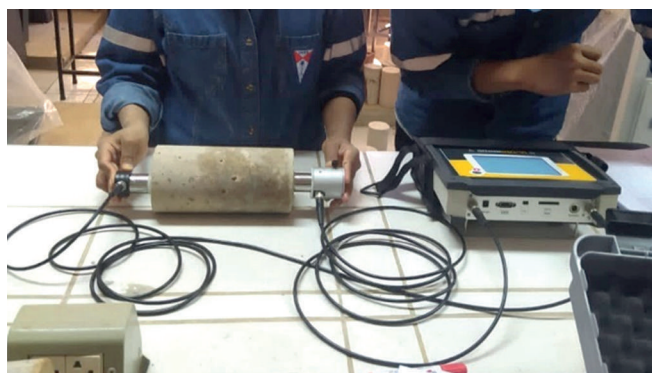


Figura 5. Ensayo de VPU por medición directa

Para asegurar que la transferencia de energía fuera eficiente durante el ensayo, se colocó vaselina en las caras de los transductores. Se ubicaron los transductores en los extremos superior e inferior de los especímenes, presionando ligeramente sobre la superficie, de tal manera que los transductores estén alineados. Finalmente, se procedió a la lectura de los tiempos de recorrido del pulso ultrasónico, considerando que el tiempo provisto por el equipo se mantenga constante.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Asentamiento por el cono de Abrams

Los valores de asentamiento para las mezclas con aditivo son elevados cuando se comparan a la referencia (Figura 6), todos por encima de 20 cm, esto debido a que el aditivo es un reductor de agua y retardante, lo que provoca que la mezcla presente fluidez durante el ensayo. Se puede observar que los datos presentan un comportamiento ascendente con el aumento del porcentaje de aditivo hasta 1%, asentamiento de 22.33 cm; sin embargo, cuando el porcentaje de aditivo es el máximo (1.2%), la mezcla presentó menor asentamiento comparado a la mezcla con 1% de aditivo.

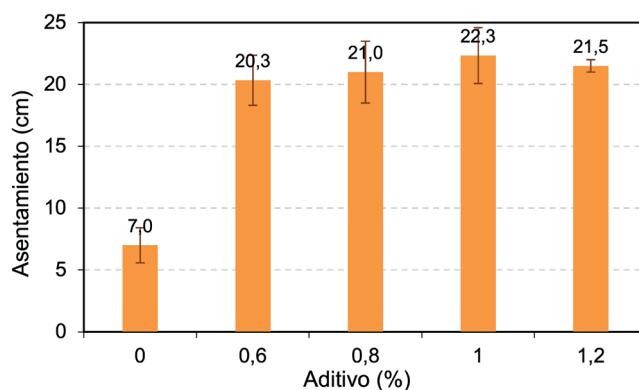


Figura 6. Asentamiento de las mezclas

Para un análisis más detallado se utilizó el análisis de varianza (ANOVA) para un α de 0.05, donde el p-value fue 7.99E-05 ($<\alpha$), por tanto, existen diferencias significativas entre las medias del asentamiento de las mezclas. Mediante la prueba Tukey (Tabla 4) se puede observar que las medias obtenidas en las mezclas sin aditivo (0%) presentan diferencias significativas en comparación con las mezclas con aditivo (0.6, 0.8, 1 y 1.2%), ya que $p\text{-value} < \alpha$. Pero no existen diferencias en el asentamiento de todas muestras que tienen aditivo, $p\text{-value} > \alpha$, esto indica que efecto del aditivo permite obtener fluidez en las mezclas, provocando que los asentamientos sean mayores, por encima de 20 cm, indistintamente del porcentaje de aditivo utilizado, 0.6-1.2%, rango recomendado por el fabricante.

Tabla 4. Prueba Tukey para asentamiento			
Comparación de mezclas		p-value	Diferencia
Group 1	Group 2		
0	0.6	0.0002	Si
0	0.8	0.0002	Si
0	1	0.0001	Si
0	1.2	0.0001	Si
0.6	0.8	0.9920	No
0.6	1	0.7129	No
0.6	1.2	0.9407	No
0.8	1	0.9084	No
0.8	1.2	0.9973	No
1	1.2	0.9818	No

3.2 Resistencia a la compresión

Los resultados de la resistencia a la compresión para 7 y 28 días se presentan en la Tabla 5 y Figura 7.

Tabla 5. Detalle de la resistencia a la compresión de las mezclas

Aditivo (%)	Resistencia a la compresión (MPa) - 7 días			Resistencia a la compresión (MPa) - 28 días		
	Cuerpo cilíndrico	Promedio	Desviación Estandar	Cuerpo cilíndrico	Promedio	Desviación Estandar
0	30.94	31.42	1.21	36.46	36.90	0.40
	32.79			37.02		
	30.52			37.23		
0.6	35.33	35.00	1.10	40.13	39.91	0.39
	35.9			40.15		
	33.78			39.46		
0.8	36.02	36.20	0.16	39.92	39.85	0.16
	36.28			39.97		
	36.30			39.67		
1	35.58	35.00	1.70	40.16	39.23	0.88
	36.33			39.12		
	33.08			38.41		
1.2	31.77	31.01	0.83	33.57	33.94	0.46
	30.12			34.45		
	31.13			33.79		

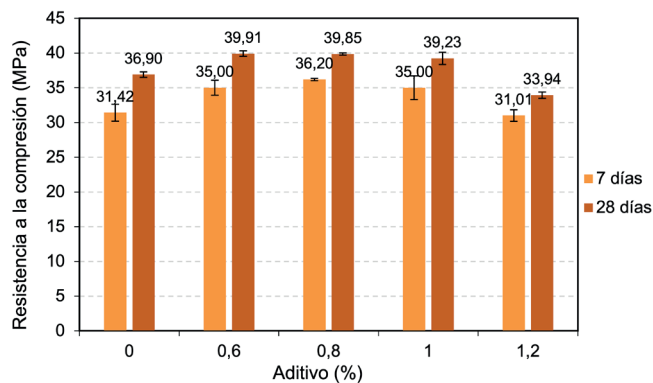


Figura 7. Resistencia a la compresión de las mezclas con aditivo

De la Figura 7 se puede observar un comportamiento en forma de campana, existe una tendencia ascendente hasta a un punto máximo, 0.8% de aditivo, para luego presentar un descenso cuando el porcentaje de aditivo es el máximo (1.2%), lo que indicaría que ese porcentaje de aditivo es adverso a la resistencia a la compresión, ya que, tanto para 7 y 28 días, los valores son menores a la referencia (Tabla 5). Cabe resaltar que los aditivos plastificantes tienden a incorporar aire cuando es utilizado en altas concentraciones, en este sentido, se podría atribuir que la cantidad de aire incorporado para 1.2% de aditivo fue superior al de las otras mezclas. El aire incorporado en el hormigón en estado fluido produce la formación de burbujas de aire generando vacíos en la matriz de cemento del hormigón. También este comportamiento (disminución de la resistencia a la compresión) podría explicarse por la

exudación y segregación (Silva et al., 2020); sin embargo, en las mezclas no se observaron estos efectos.

Por otro lado, existe una concentración de aditivo que forma el llamado punto de saturación, que representa la concentración necesaria para obtener el máximo efecto dispersante que, a partir de esta concentración se pueden producir efectos negativos en el hormigón, siendo 0.8% en el presente estudio. La cantidad de aditivo absorbido depende de la composición química del cemento, punto de adición del aditivo, relación a/c y, en este caso, del tipo de agregado, una vez que se utilizó un agregado laterítico con una elevada absorción de agua (6.13%). El aumento en la resistencia a la compresión para contenidos de 0.6 a 1% de aditivo puede asociarse al mejor empaquetamiento de las partículas, promoviendo la hidratación de cemento y aumentando la densificación de la matriz (Fernández et al., 2013; Keulen et al., 2018).

Cuando se comparan las medias de la resistencia a la compresión mediante ANOVA, se obtiene p-value de 5.32E-04 y 2.093E-07, para 7 y 28 días, respectivamente. Estos valores indican que existen diferencias significativas entre las medias por edad ($p\text{-value} < \alpha$).

Por medio de la prueba Tukey a 7 días (Tabla 6), se observa que se presentan diferencias entre la referencia (0%) y mezclas con aditivo de 0.6, 0.8 y 1% ($p\text{-value} < \alpha$). El efecto del aditivo permitiría aumentar la resistencia mecánica hasta un 1%, pero porcentajes mayores (1.2%) resultan en un valor similar a la

referencia. Las mezclas con 0.6 y 0.8% de aditivo tampoco presentan una diferencia significativa, porcentajes donde se tienen los mejores valores de resistencia a la compresión a los 7 días. Para 0.6% y 1% tampoco existe diferencia, indicando que, pese a adicionar una mayor cantidad de aditivo, se obtiene una resistencia parecida a la de 0.6%, misma situación presentada para 0.8% y 1%. Existen diferencias de las mezclas con 0.6, 0.8 y 1% con la de 1.2%, señalando que este último porcentaje genera las resistencias más bajas.

Para 28 días las mezclas sin aditivo (0%) presentan diferencias comparadas con las mezclas con aditivo (0.6%, 0.8%, 1% y 1.2%), $p\text{-value} < \alpha$. Estos resultados indican que el efecto superplastificante del aditivo permitiría aumentar las resistencias mecánicas, a excepción de 1.2%, donde la resistencia a la compresión es menor que la referencia en 3 MPa, aproximadamente.

Las mezclas con 0.6% y 0.8% de aditivo no presentan diferencia significativa ($p\text{-value} > \alpha$), porcentajes donde se tienen los máximos valores de resistencia a la compresión. Por otro lado, también no se presentan diferencias entre 1% con 0.6 y 0.8% ($p\text{-value} > \alpha$), esto indicaría que, un aumento de aditivo hasta 1% tiene similar resistencia a la compresión de porcentajes de aditivos más bajo (0.6 y 0.8%). Finalmente, se confirma el efecto negativo de 1.2% sobre la resistencia a la compresión, una vez que presenta diferencias significativas con 0, 0.6, 0.8 y 1% de aditivo ($p\text{-value} < \alpha$).

3.3 Velocidad de pulso ultrasónico (VPU)

Los resultados de VPU son detallados en la Tabla 7, comparando el promedio de las tres mediciones de VPU con la resistencia a la compresión del respectivo cuerpo de prueba cilíndrico.

Los resultados de VPU son similares, el máximo valor es de 3609 m/s para la mezcla de referencia; mientras que, el valor más bajo (3473 m/s) se presenta para la mezcla de 1.2% de aditivo, existiendo una diferencia de solo 136 m/s en la VPU. Para verificar si los resultados siguen una tendencia lineal con la resistencia a la compresión se realizó un análisis de regresión lineal por edad y para cada porcentaje de aditivo (Tabla 8). Solo la referencia (0%) y la mezcla con 1% de aditivo presentan modelos lineales con un coeficiente de correlación (R) alto. El R obtenido de la referencia es 0.9998 y 1, para 7 y 28 días, respectivamente. En el caso de 1% de aditivo el R es 0.970 y 0.939, para 7 y 28 días, respectivamente. Awoyera et al. (2017) encontraron similitud entre los valores de resistencia a la compresión y UPV de morteros con material laterítico y residuos de cerámica, a mayor resistencia a la compresión se tiene mayor VPU, debido a que la compacidad de los materiales afecta el tiempo de tránsito del pulso ultrasónico.

Tabla 6. Prueba Tukey de resistencia a la compresión para 7 y 28 días

Resistencia a la compresión - 7 días				Resistencia a la compresión - 28 días			
Group 1	Group 2	p-value	Diferencia	Group 1	Group 2	p-value	Diferencia
0	0.6	0.0189	Si	0	0.6	0.0189	Si
0	0.8	0.0027	Si	0	0.8	0.0027	Si
0	1	0.0191	Si	0	1	0.0191	Si
0	1.2	0.9903	No	0	1.2	0.9903	Si
0.6	0.8	0.6927	No	0.6	0.8	0.6927	No
0.6	1	1.0000	No	0.6	1	1.0000	No
0.6	1.2	0.0096	Si	0.6	1.2	0.0096	Si
0.8	1	0.6886	No	0.8	1	0.6886	No
0.8	1.2	0.0015	Si	0.8	1.2	0.0015	Si
1	1.2	0.0097	Si	1	1.2	0.0097	Si

Tabla 7. VPU y resistencia a compresión para 7 y 28 días.

Aditivo (%)	7 días		28 días	
	VPU (m/s)	Resistencia a la compresión (MPa)	VPU (m/s)	Resistencia a la compresión (MPa)
0	3605	30.94	3720	36.46
	3585	32.79	3764	37.02
	3609	30.52	3780	37.23
0.6	3578	35.33	3708	40.13
	3518	35.90	3684	40.15
	3543	33.78	3675	39.46
0.8	3541	36.02	3637	39.92
	3500	36.28	3709	39.97
	3575	36.30	3593	39.67
1.0	3553	35.58	3646	40.16
	3570	36.33	3626	39.12
	3533	33.08	3624	38.41
1.2	3512	31.77	3583	33.57
	3486	30.12	3591	34.45
	3473	31.13	3564	33.79

Tabla 8. Parámetros del modelo lineal para las mezclas a los 7 y 28 días

Edad (días)	Parámetro	Mezclas con aditivo (%)				
		0	0.60	0.80	1	1.20
7	Coefficiente de correlación (R)	0.998	0.170	0.008	0.970	0.544
	R ²	0.999	0.029	0.001	0.940	0.296
	Error estándar	0.314	1.536	0.223	0.620	1.026
28	Coefficiente de correlación (R)	1	0.689	0.876	0.939	0.525
	R ²	1	0.475	0.767	0.882	0.276
	Error estándar	0.146	0.405	0.114	0.531	0.553

La VPU presenta una tendencia a disminuir con el aumento del porcentaje del aditivo superplastificante, esto cuando se compara con la referencia, comportamiento reportado para ambas edades, 7 y 28 días (Figura 8). Los menores valores de VPU se presentan para las mezclas con 1.2% de aditivo; mientras que, la referencia tiene los máximos valores de VPU, lo que indica que existe una incorporación de aire con el uso de aditivo superplastificante, especialmente a mayores porcentajes, influyendo en la VPU.

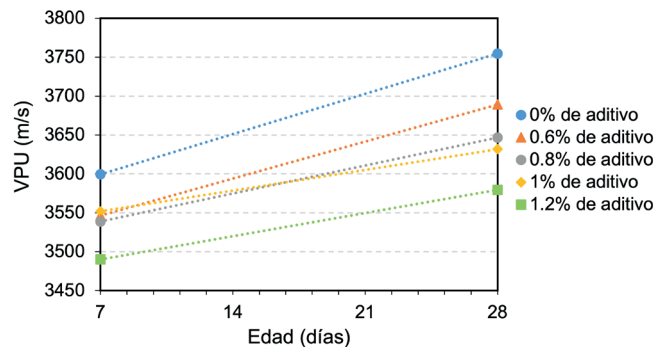


Figura 8. VPU para las mezclas estudiadas

La Figura 9a presenta la relación entre la resistencia a la compresión y la VPU para las mezclas a 7 días. Se observa que las mezclas de referencia y 1.2% de aditivo presentan una resistencia a la compresión en el rango de 30-33 MPa, pero la VPU es diferente, para la referencia y 1.2% de aditivo, el rango es 3585-3609 m/s (valores altos) y 3473-3512 m/s (valores bajos), respectivamente. Ya las otras mezclas (0.6, 0.8 y 1%) tienen una resistencia a la compresión y VPU en el rango de 33-37 MPa y 3500-3578 m/s, indicando que estas mezclas no presentaron una tendencia clara sobre la influencia del aditivo en la resistencia a la compresión y VPU.

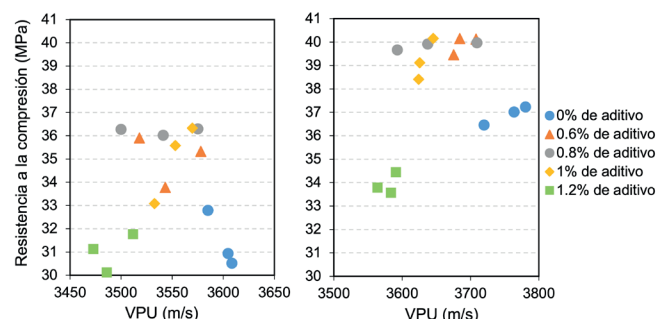


Figura 9. VPU y resistencia a la compresión para a) 7 y b) 28 días

El mismo comportamiento anteriormente descrito se presenta para las mezclas a 28 días (Figura 9b). Para las mezclas de 0.6, 0.8 y 1% de aditivo la resistencia a la compresión y VPU varía de 38-40 MPa y 3593-3709 m/s, respectivamente, indicando que para este rango no se distingue una influencia de aditivo en estas propiedades. La referencia y 1.2% comparten el mismo rango de resistencia a la compresión, pero diferentes rangos de VPU, presentando los mayores valores para la referencia; mientras que, 1.2% presentó el menor rango de VPU.

4. CONCLUSIONES

En la presente investigación se realizó un análisis de la influencia de un aditivo superplastificante en diferentes porcentajes (0, 0.6, 0.8, 1 y 1.2%) en las propiedades de un hormigón con agregado laterítico: trabajabilidad, resistencia a la compresión y VPU.

Los resultados del asentamiento mostraron que, evidentemente la trabajabilidad aumenta con el incremento porcentual del aditivo superplastificante (hasta 1.2%). Por el lado de la resistencia a la compresión, se comprobó que los porcentajes de 0.6, 0.8 y 1% del aditivo superplastificante fueron beneficiosos, tanto para 7 como 28 días, todos los resultados fueron mayores a la referencia; sin embargo, 1.2% fue adverso para esta propiedad.

En la correlación entre la resistencia a la compresión y la VPU, solo para el 1% de aditivo superplastificante (a excepción de la referencia), se presentan coeficientes de correlación elevados, 0.97 y 0.94 para 7 y 28 días, respectivamente. Se evidenció que la VPU aumenta para contenidos de aditivo de 0.6, 0.8 y 1%, todos con VPU mayor a la referencia, pero 1.2% presenta menores valores de VPU.

El aditivo superplastificante tiene efectos positivos en la trabajabilidad y resistencia a la compresión del hormigón laterítico para porcentajes en el rango de 0.6-1%, incluso presentado correlaciones significativas con VPU para 1% de aditivo superplastificante. No obstante, mayores proporciones del aditivo, si bien pueden mejorar la trabajabilidad afectan su resistencia a la compresión y VPU, por tanto, son necesarios estudios previos del efecto de los aditivos en el cemento para luego ser utilizados en el hormigón laterítico, incluso porcentajes menores a los recomendados por el fabricante (<0.6%).

El hormigón con agregado grueso laterítico es técnicamente viable, una vez que se alcanzaron resistencias a la compresión mayores a 30 MPa, lo que indicaría su uso para fines estructurales. Desde el punto de vista sostenible, se incentiva la utilización de materiales locales, evitando costos de transporte, consumo de energía y emisión de dióxido de carbono. Sin embargo, es necesaria mayor investigación acerca de su comportamiento a largo plazo y durabilidad. Por otro lado, en la literatura se ha reportado que el agregado laterítico disminuye la trabajabilidad del hormigón, el uso de aditivos superplastificantes puede mitigar este efecto negativo sin afectar significativamente la resistencia a la compresión ni la VPU del hormigón.

Futuros estudios pueden considerar el uso de otros aditivos y su influencia en las propiedades físicas y mecánicas del hormigón laterítico, siendo que la mayoría de los aditivos son recomendados para hormigones con agregados áridos.

REFERENCIAS

- Asiedu, R. O. (2017). Using lateritic gravel as all-in aggregate for concrete production. *Journal of Engineering, Design and Technology*. <https://doi.org/10.1108/JEDT-01-2016-0001>
- Atoyebi, O. D., Modupe, A. E., Aladegboye, O. J., & Odeyemi, S. V. (2018). Dataset of the density, water absorption and compressive strength of lateritic earth moist concrete. *Data in brief*, 19, 2340-2343. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2018.07.032>
- Awoyera, P. O., Akinmusuru, J. O., & Ndambuki, J. M. (2016). Green concrete production with ceramic wastes and laterite. *Construction and Building Materials*, 117, 29-36. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.04.108>

- Awoyera, P. O., Dawson, A. R., Thom, N. H., & Akinmusuru, J. O. (2017). Suitability of mortars produced using laterite and ceramic wastes: Mechanical and microscale analysis. *Construction and Building Materials*, 148, 195-203. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.031>
- ASTM. (2012). Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete. *ASTM C143 / C143M – 12*. West Conshohocken, PA: ASTM. https://doi.org/10.1520/C0143_C0143M-12
- ASTM. (2014). Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. *ASTM C39 / C39M – 14*. West Conshohocken, PA: ASTM. https://doi.org/10.1520/C0039_C0039M-14
- ASTM. (2015). Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate. *ASTM C127-15*. West Conshohocken, PA: ASTM. <https://doi.org/10.1520/C0127-15>
- ASTM. (2016). Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete. *ASTM C597 – 16*. West Conshohocken, PA: ASTM. <https://doi.org/10.1520/C0597-16>
- ASTM. (2019). Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete. *ASTM C494/ C494 M -19*. West Conshohocken, PA: ASTM. https://doi.org/10.1520/C0494_C0494M-17
- ASTM. (2019). Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. *ASTM C136-19*. West Conshohocken, PA: ASTM. <https://doi.org/10.1520/C0136-06>
- ASTM. (2021). Standard Specification for Blended Hydraulic Cements. *ASTM C595 / C595M-21*. West Conshohocken, PA: ASTM. https://doi.org/10.1520/C0595_C0595M-21
- CEN. (2021). Testing concrete in structures - Part 4: Determination of ultrasonic pulse velocity. *EN 12504-4:2021*.
- Celestino, M. A. D. S. (2018). *Análise da curva tensão versus deformação do concreto laterítico*. Tesis de licenciatura. Universidade Federal de Campina Grande.
- Chagas, R. M. P. (2011). *Estudo do concreto laterítico dosado com aditivo plastificante à base de lignosulfonato*. Tesis de maestría. Universidade Federal de Campina Grande.
- Fanijo, E., Babafemi, A. J., & Arowojolu, O. (2020). Performance of laterized concrete made with palm kernel shell as replacement for coarse aggregate. *Construction and Building Materials*, 250, 118829. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118829>
- Fernández, J. M., Duran, A., Navarro-Blasco, I., Lanas, J., Sirera, R., & Alvarez, J. I. (2013). Influence of nanosilica and a polycarboxylate ether superplasticizer on the performance of lime mortars. *Cement and Concrete Research*, 43, 12-24. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2012.10.007>
- IBNORCA. (2012). Cemento - Definiciones, clasificación y especificaciones (Tercera revisión). *NB 011:2012*. Bolivia.
- IBNORCA. (2015). Aditivos para la construcción - Definiciones y clasificación. *NB 1000:2015*. Bolivia.
- IBNORCA. (2015). Aditivos para la construcción - Requisitos. *NB 1001:2015*. Bolivia.
- IBNORCA. (2017). Hormigón estructural – Parte 1: Especificaciones. *NB 1225001-1:2017*. Bolivia.
- Kaze, R. C., Naghizadeh, A., Tchadjie, L., Adesina, A., Djobo, J. N. Y., Nemaleu, J. G. D., ... & Tayeh, B. A. (2022). Lateritic soils based geopolymer materials: A review. *Construction and Building Materials*, 344, 128157. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128157>
- Keulen, A., Yu, Q. L., Zhang, S., & Grünewald, S. (2018). Effect of admixture on the pore structure refinement and enhanced performance of alkali-activated fly ash-slag concrete. *Construction and Building Materials*, 162, 27-36. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.11.136>
- Madu, R. M. (1980). The performance of lateritic stones as concrete aggregates and road chippings. *Matériaux et Construction*, 13(6), 403-411. <https://doi.org/10.1007/BF02473899>
- Muthusamy, K., & Kamaruzaman, N. W. (2012). Assessment of Malaysian laterite aggregate in concrete. *International journal of civil and environmental engineering*, 12(4), 83-86.
- Nino, H. I. G., & Caldas, H. S. (2020) Propiedades geotécnicas de laterita y su comportamiento como sustituto del agregado grueso en mezclas de concreto.
- Párraga, D. (2013). Implementación de la metodología MCT, aplicada al estudio geotécnico de suelos tropicales para su uso en pavimentos. Cochabamba - Bolivia: *Universidad Mayor de San Simón*.
- Raja, R., & Vijayan, P. (2021). Investigations on mechanical characteristics and microstructural behavior of laterized high strength concrete mix. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 46(11), 10901-10916. <https://doi.org/10.1007/s13369-021-05606-7>
- Silva, G. C., Christ, R., Pacheco, F., de Souza, C. F., Gil, A. M., & Tutikian, B. F. (2020). Evaluating steel fiber-reinforced self-consolidating concrete performance. *Structural Concrete*, 21(1), 448-457. <https://doi.org/10.1002/suco.201900141>