

Artículo científico

Determinación de la influencia del agua del Municipio de Tiquipaya en la resistencia a la compresión del hormigón

Water influence determination of Tiquipaya Municipality in the resistance to the concrete compression

Joaquín Humberto Aquino Rocha¹. Sergio Manuel Rodríguez Belmonte².
Luis Felipe Portillo Terán³. Giovanni Galindo Añez⁴.

1. M.Sc. Docente TC del Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Privada del Valle, Cochabamba (Bolivia). jaquinor@univalle.edu
2. M.I. Director del Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Privada del Valle, Cochabamba (Bolivia). srodriguez@univalle.edu
3. C.C. Coordinador de Laboratorios del Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Privada del Valle, Cochabamba (Bolivia). portillot@univalle.edu
4. Estudiante del Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Privada del Valle, Cochabamba (Bolivia). giovgalindo@gmail.com

RESUMEN

Si bien se recomienda el uso de agua potable para la fabricación de hormigón, no siempre se tiene acceso a este recurso, especialmente en aquellos municipios donde se tienen diferentes fuentes de agua con composición desconocida. En este sentido, el objetivo del presente estudio fue determinar la influencia del agua proveniente de diferentes fuentes del municipio de Tiquipaya-Cochabamba, en la resistencia a la compresión del hormigón. La metodología consistió en la fabricación de cilindros de hormigón con tres diferentes fuentes de agua: Campus Univalle, pozo municipal y canal de riego municipal. Se determinó la resistencia a la compresión a los 7, 14, 21 y 28 días de edad. Los resultados muestran que los cilindros fabricados con el agua del Campus Univalle tienen los mejores resultados, con una resistencia a la compresión de 322 kg/cm² a los 28 días, mientras que los cilindros fabricados con las otras fuentes, pozo y canal de riego, 265 y 242 kg/cm², respectivamente. El agua potable del Campus Univalle se presentó adecuada para su uso en la fabricación del hormigón, una vez que los resultados fueron mayores a los proyectados, contrariamente al uso de otras fuentes no potables, las cuales tuvieron influencia negativa en esta propiedad. Es importante que se realicen estudios previos del agua a ser utilizada en la fabricación del hormigón para obtener los resultados esperados, garantizando, de esta forma, calidad y seguridad.

Palabras clave: Hormigón. Resistencia a la compresión. Agua de mezclado.

ABSTRACT

Although the use of potable water for the concrete manufacture is recommended, this resource is not always available, especially in those municipalities where there are different sources of water with unknown composition. In this sense, the objective of the present study was to determine the influence of water from different sources of the municipality of Tiquipaya-Cochabamba, on the compressive strength of concrete. The methodology consisted on the concrete cylinders manufacture with three different water sources: Campus Univalle, municipal well and municipal irrigation canal. Compressive

strength was determined at 7, 14, 21 and 28 days of age. The results show that the cylinders made with the Univalle Campus water have the best results, with a compressive strength of 274 kg/cm² at 28 days, while the cylinders made with the other sources, well and irrigation canal, 234 and 211 kg/cm², respectively. Potable water from Campus Univalle was suitable for use in the concrete manufacture, once the results were greater than those projected, contrary to the use of other non-potable sources, which had a negative influence on this property. It is important that previous studies of the water to be used in the concrete manufacture be carried out to obtain the expected results, thus guaranteeing quality and safety.

Keywords: Concrete. Compressive strength. Mixing water.

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso esencial; pero, debido al acelerado crecimiento poblacional y de industrialización, gran parte de este recurso es consumido y desperdiciado (Babu et al., 2018). En el caso de la industria de la construcción, existe un elevado consumo de agua en sus diferentes actividades, especialmente en la fabricación del hormigón (Mehta & Monteiro, 2014), una vez que es uno de los materiales más importantes en los compuestos con cemento, ocupando aproximadamente entre el 14% y 21% del volumen total (Cornak, 2018).

El agua utilizada en la fabricación del hormigón tiene dos funciones principales: la trabajabilidad y la reacción química del cemento. La cantidad de agua afecta en los productos de hidratación y la estructura del concreto, repercutiendo en la resistencia y durabilidad. El agua necesaria para trabajabilidad se encarga de la adherencia de los agregados con la pasta del cemento, como de su colocado (Mehta & Monteiro, 2014).

Si bien cuando se menciona la presencia de agua en el hormigón, solo se hace referencia a la relación agua cemento (a/c), esta no es la única utilidad, otros usos comprenden: el curado del hormigón, el lavado de los agregados y equipos usados en el hormigonado, inclusive su utilización se amplía a las fases de servicio y mantenimiento (Neville, 2012). En consecuencia, es importante considerar la calidad y la fuente de extracción, pues puede tener efectos perjudiciales en el desarrollo de la resistencia a la compresión y protección contra la corrosión del acero (Olutoge & Amusan, 2014 y IBNORCA, 1987).

Diferentes estudios, códigos, normas y especificaciones señalan que el agua utilizada en la mezcla del hormigón debe estar libre de aceites, ácidos, álcalis, material orgánico y sustancias nocivas, que puedan afectar las propiedades del hormigón, para lo cual indican algunos límites permisibles para sólidos y sustancias químicas agresivas, siendo lo ideal que el agua utilizada sea potable o apta para el consumo humano, una vez que su composición química es bastante conocida y regulada (ASTM, 2018a; ACI, 2014; AASHTO, 2008; Neville, 2000; IBNORCA, 1987 y BSI, 1980). Sin embargo, no siempre se tiene acceso a este recurso; diferentes investigaciones muestran el potencial y la aplicabilidad del uso de agua no potable o de composición química desconocida en la fabricación de hormigón y morteros (Meena & Luhar, 2019; Babu & Ramana, 2018; Saxena & Tembhurkar, 2018; Asadollahfardi et al., 2016; Noruzman et al., 2012), como el uso de agua de mar (De Weerd; Justnes, 2015; Shi et al., 2015; Fraternali et al., 2014), uso de agua reciclada de diferentes industrias (Al-Harthy et al., 2005; Chatveera et al., 2006; de Paula et al., 2014), agua residual doméstica (Cebeci & Saatci, 1989), entre otros (Babu & Ramana, 2018; Babu et al., 2018).

En Bolivia, la norma CBH-87 (IBNORCA, 1987) establece criterios para el agua a ser usada en la fabricación del hormigón, pero en muchos casos estas especificaciones no son cumplidas debido al lugar donde se emplaza la obra, usando la fuente de agua más cercana que, en muchos casos, no es potable ni ensayada previamente. En este sentido, el objetivo del presente estudio es determinar la influencia de diferentes fuentes de agua, específicamente del municipio de Tiquipaya, en la resistencia a la compresión del hormigón.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para cumplir el objetivo de este estudio, el efecto de diferentes fuentes de agua en la resistencia a compresión de concreto fue examinado. Se confeccionaron cilindros de hormigón (15 x 30 cm) para la determinación de la resistencia a la compresión, utilizando tres diferentes fuentes de agua del municipio de Tiquipaya: Campus Univalle (potable), pozo municipal Tiquipaya y canal de riego Tiquipaya. Para después determinar la influencia de cada una de las fuentes utilizadas en la resistencia a la compresión de los especímenes elaborados.

La dosificación del hormigón en peso fue de 1: 2.1: 3.4 (cemento: arena: grava) con una relación a/c de 0.5 para una resistencia de diseño de 210 kg/cm². La mezcla fue preparada en laboratorio con temperatura controlada, en el rango de 20°C a 24°C.

En esta sección, inicialmente se presenta la caracterización de los materiales utilizados y, posteriormente, los ensayos realizados.

Materiales

Las características más importantes de las fuentes de agua utilizadas en la presente investigación se presentan en el Cuadro 1, además de las tolerancias admisibles de acuerdo con la norma CBH-87 (IBNORCA, 1987).

Cuadro Nº 1. Características de las fuentes de agua utilizadas

Características	Agua - Campus Univalle (Potable)	Agua - Pozo Municipal Tiquipaya	Agua - Canal de riego Tiquipaya	Tolerancias admisibles recomendadas en la literatura	
Olor	Inodoro	Inodoro	Ausencia de olores extraños	Inodoro	IBNORCA (2005)
Color	Incoloro	Turbio bajo	Incoloro	Incoloro	IBNORCA (2005)
Turbiedad (UNT*)	4,2	7,6	6,3	5	IBNORCA (2005)
Residuo sólidos (g/1)	4,8	8,6	8,2	50	ASTM (2018b)
Sustancias orgánicas (g/1)	3	7,7	7,6	15	IBNORCA (1987)
Sulfatos, expresados en 504 (g/1)	3	4,2	3,3	3	ASTM (2018b)
Cloruros (g/1)	3,9	4,8	4,5	4,5	BSI (2002)
pH	6,9	9	5,3	6a8	Neville (2012); Cornak (2018).

Fuente: Elaboración propia, 2019.

El cemento Portland utilizado fue el COBOCE IP-30, sus principales características y los ensayos utilizados para su caracterización se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro Nº 2. Características del cemento utilizado

Ensayo	Norma	Resultados	Especificación	Cumplimiento
Determinación de la finura del cemento por medio del tamiz Nº200	CI84-94el	2,20%	10 máximo	Sí
	(ASTM, 1994)			
Determinación del peso específico cemento Tipo IP-30	088-17	2,98g/cm3	2,99	Sí
	(ASTM, 2017a)			
Tiempo de fraguado	CI91-18a	7,15 horas	10 máximo	Sí
	(ASTM, 2018c)			
Resistencia a la compresión - 3 días	CI09 (ASTM, 2016)	170 kg/cm2	<170	Sí
Resistencia a la compresión - 7 días	CI09	248 kg/cm2	2:180	Sí
	(ASTM, 2016)			
Resistencia a la compresión - 28 días	CI09	318 kg/cm2	2:300	Sí

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Los agregados fueron clasificados siguiendo las especificaciones C33 (ASTM, 2018d), los cuales se encuentran dentro de las franjas de tolerancia recomendadas para su uso en hormigón. En el Cuadro 3 se presenta los principales resultados de los ensayos realizados con las respectivas normas utilizadas.

Cuadro Nº 3. Características del agregado utilizado

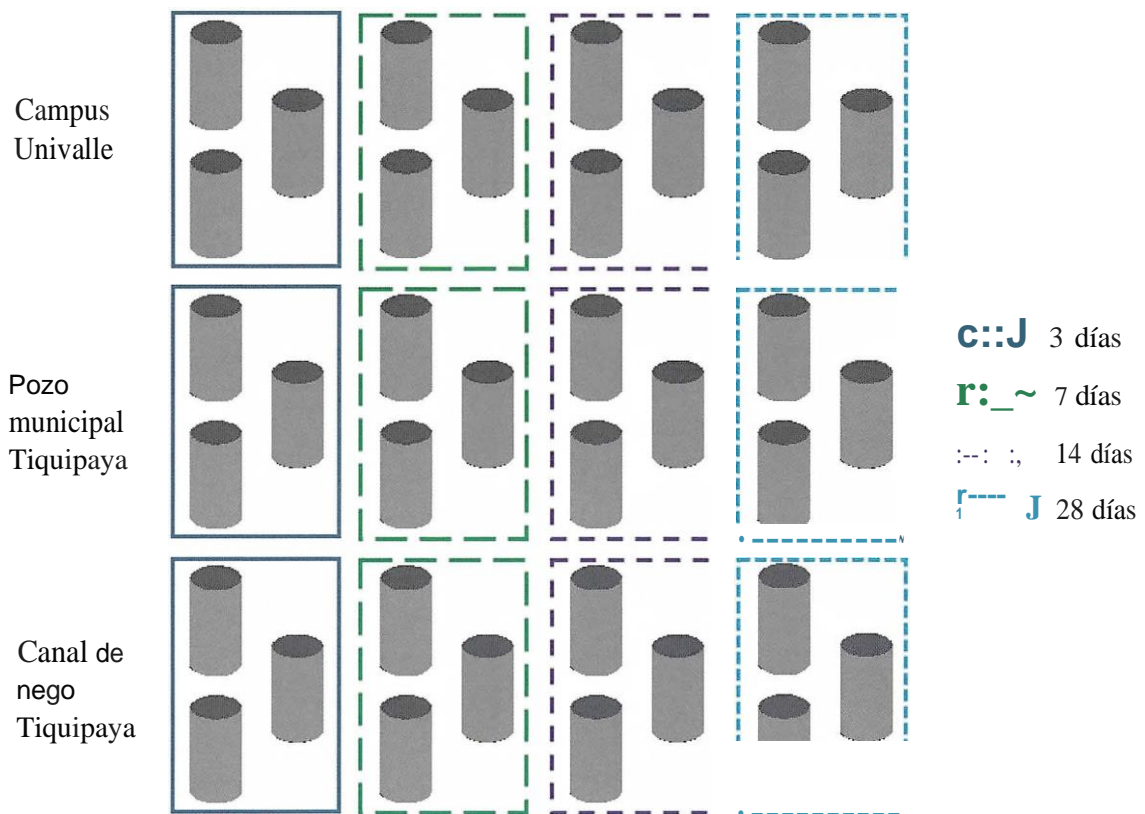
Ensayo	Norma	Resultados	Especificación	Cumplimiento
Gradación de los agregados (Fino y grueso)	(33)	Ingresa en la franja granulométrica (33)	Curvas C33	Sí
	(ASTM, 2018d)			
Suciedad en los áridos fino y grueso(%)	TI17-27	3,6	5 máximo	Sí
	(ASTM, 2017b)			
Peso específico y absorción de los agregados (kg/cm3)	(127-04)	2,63	2.66	Sí
	(ASTM, 2004)			
	CI28-15 (ASTM, 2015a)			
Equivalente arena (%)	(88)	63,3	75 máximo	Sí
	(ASTM, 2018e)			
Solubilidad	(29)	5,5	10 máximo	Sí

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Ensayos realizados en el hormigón

- Para cada fuente de agua utilizada se fabricaron 12 probetas de hormigón, totalizando 36, para lo cual fueron utilizados moldes cilíndricos de acero de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura.
- Para la determinación del asentamiento del hormigón en estado fresco fueron utilizadas las recomendaciones dispuestas en la norma C143 (ASTM, 2015b).
- Posteriormente, los cilindros de hormigón pasaron por un proceso de cura a temperatura ambiente, 21 °C, hasta el momento de su rotura según especifica la norma (192 (ASTM, 2018f).
- Los ensayos de resistencia a la compresión se realizaron siguiendo las recomendaciones establecidas por la norma C39 (ASTM, 2018g), a la edad de 3, 7, 14 y 28 días. La Figura 1 presenta el detalle de los cilindros elaborados y la disposición para el ensayo de resistencia a la compresión.

Figura Nº 1. Cantidad de probetas para el ensayo de resistencia a la compresión

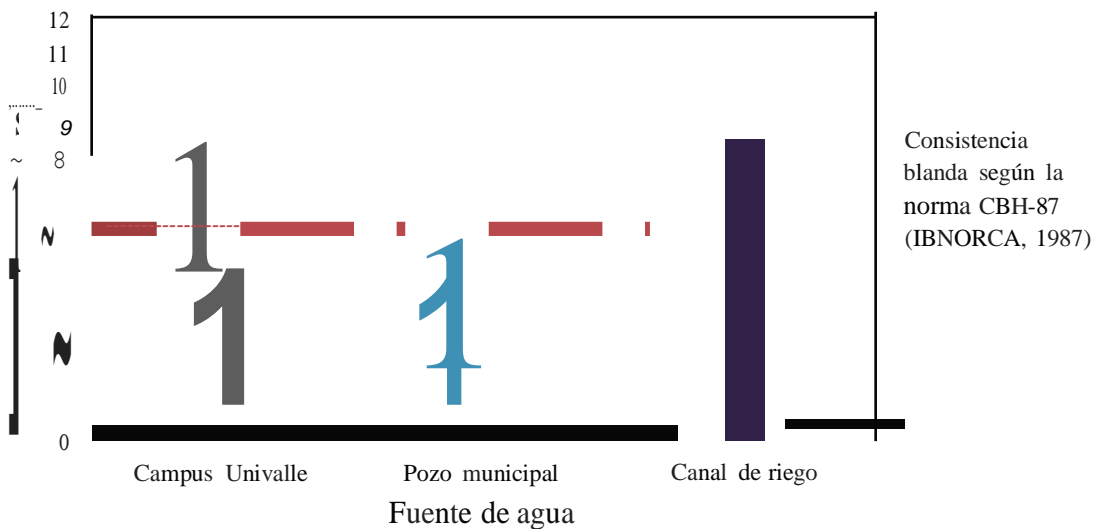


Fuente: Elaboración propia, 2019.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

La Figura 2 muestra los resultados obtenidos con relación al asentamiento del hormigón en estado fresco por medio del cono de Abrams, donde es posible observar que los valores de asentamiento son parecidos y se encuentran dentro de la clasificación de consistencia blanda, 6 a 9 cm, de acuerdo con la norma CBH-87 (IBNORCA, 1987).

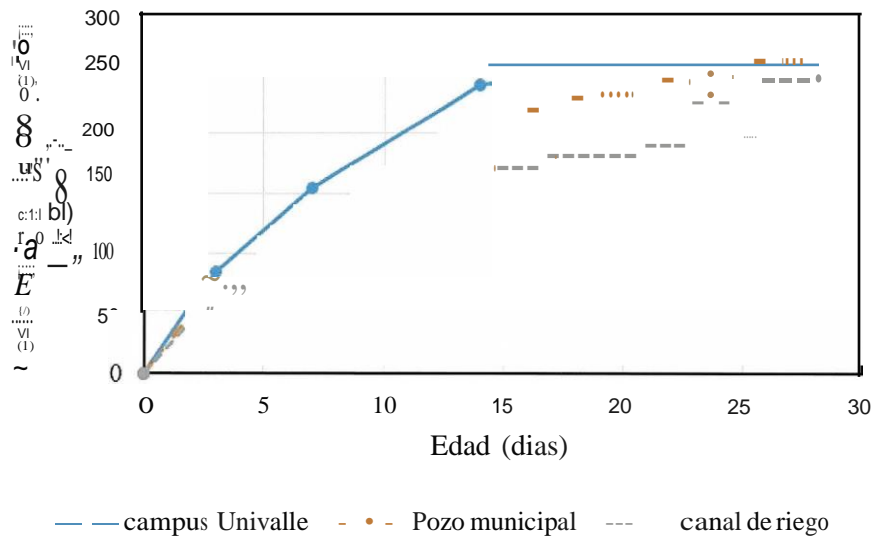
Figura N° 2. Asentamiento de las mezclas del hormigón elaborado



Fuente: Elaboración propia, 2019.

La Figura 3 presenta los resultados de la resistencia a la compresión del hormigón para las tres fuentes de agua utilizada. Se puede observar que a la edad de 3 días la resistencia a la compresión de los cilindros fabricados con agua potable es mayor, con un valor 85 kg/cm², seguidos por los cilindros fabricados con agua del pozo municipal y canal de riego. A la edad de 7 días la tendencia permanece igual. No obstante, para la edad de 14 días, la diferencia entre la resistencia a la compresión de los cilindros fabricados con agua potable y las otras fuentes es mayor. Finalmente, la resistencia a la compresión para la edad de 28 días es 274 kg/cm² en las probetas fabricadas con agua del Campus Univalle, 234 y 211 kg/cm² para las probetas elaboradas con el agua del pozo municipal y canal de riego, respectivamente.

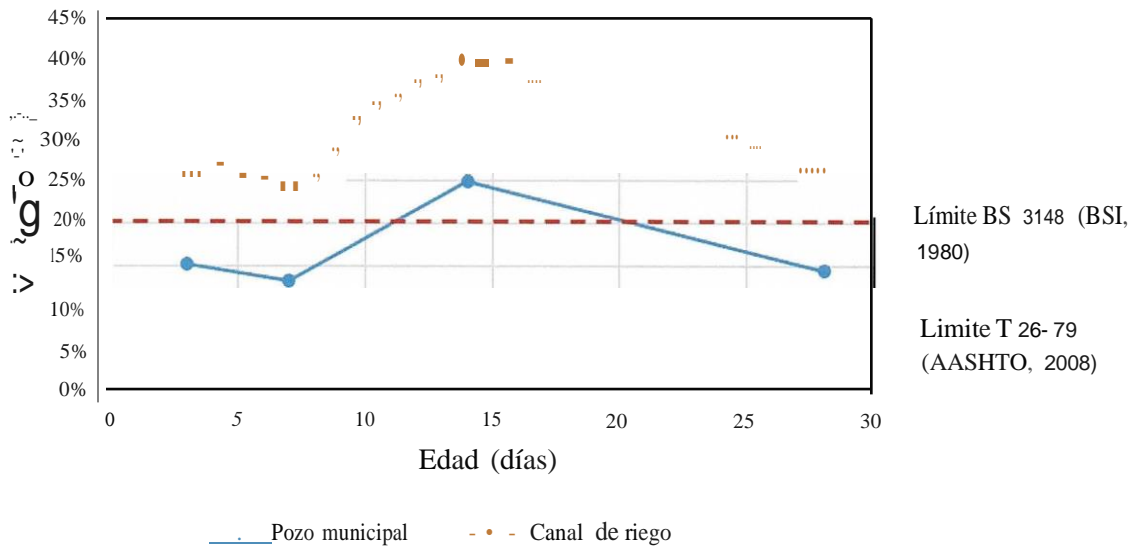
Figura N° 3. Resistencia a la compresión al hormigón de acuerdo con las fuentes de agua utilizadas



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Para entender mejor este aspecto, en la Figura 4 se presenta la variación de la resistencia a la compresión (en porcentaje) de los cilindros elaborados con agua del pozo y del canal de riego en relación con los cilindros fabricados con agua potable, Campus Univalle.

Figura N°4. Variación de la resistencia a la compresión con relación a la fuente del Campus Tiquipaya



Límite BS 3148 (BSI, 1980)

Límite T 26- 79 (AASHTO, 2008)

Existen algunas recomendaciones con respecto a la resistencia a la compresión del hormigón cuando se utiliza agua no potable. La norma T 26-79 (AASHTO, 2008) indica que la resistencia a la compresión de cubos de hormigón hechos con agua de composición química desconocida no debe ser menor al 90% a la de los especímenes hechos con agua potable, mientras que la norma británica BS 3148 (BSI, 1980) señala que una reducción de 20% en la resistencia a la compresión es aceptable. En este sentido, de la Figura 4 se observa que el hormigón fabricado con agua del pozo municipal y del canal del riego no cumplen las especificaciones de la norma T 26-79 (AASHTO, 2008), puesto que en todos los casos las variaciones porcentajes son mayores al 10% respecto a la resistencia a la compresión de los cilindros elaborados con agua potable. No obstante, para las recomendaciones de la BS 3148 (BSI, 1980), solo los cilindros elaborados con el agua del pozo municipal cumplen para todos los días ensayados excepto para la edad de 14 días, aun así, el uso de esta agua podría ser considerada para la fabricación de hormigón.

Otro aspecto importante, es el valor del pH del agua usada en la fabricación del hormigón. Se recomienda que este valor varíe en torno de 6 y 8, sin material orgánico, se ha demostrado que valores menores a 5,5 tienen fuertes impactos negativos (Cornak, 2018), lo cual es corroborado en esta investigación, puesto que el agua del canal de riego, pH de 5,3; tiene el mayor efecto perjudicial en la resistencia a la compresión del hormigón, con valores superiores al 25% con relación a los cilindros elaborados con agua potable. Del mismo modo, el agua de pozo, de naturaleza alcalina, pH de 9,0; también se presenta una pérdida porcentual, pero menor, aproximadamente 20%. Demostrando que el agua de pH neutro tiene los mejores resultados en cuanto a la resistencia a la compresión.

En general, todas las aguas potables son adecuadas para su uso en concreto. Sin embargo, no es indispensable utilizar agua potable en la producción de concreto (Cornak, 2018), si es que se cumplen con las propiedades requeridas. De hecho, se pueden producir hormigones de alta calidad utilizando aguas no potables después de algunas pruebas de aceptación preliminares, como en este caso, el agua del pozo municipal podría ser utilizada de acuerdo con los requerimientos exigidos de resistencia. Ya en el caso del agua de los canales de riego, no se recomendaría su utilización por presentar los resultados más desfavorables debido a la elevada reducción porcentual de resistencia a la compresión, indicando la presencia de contaminantes como de compuestos de hidrógeno.

Entre otros aspectos, también es importante considerar el contenido máximo de cloruros, expresados en ion cloro, como una medida preventiva para evitar el desarrollo de procesos corrosivos en el acero, que pueden llegar a producir fisuras, delaminaciones y desprendimientos en el hormigón armado (IBNORCA, 1987).

CONCLUSIONES

El estudio se enfocó en la influencia de la fuente de agua en el municipio de Tiquipaya (Bolivia) en la resistencia a la compresión del hormigón. Los resultados mostraron que, las fuentes recomendadas de agua (potable), tienen influencia positiva en la resistencia a la compresión del hormigón, mientras que otro tipo de fuentes (no potables) presentan una influencia negativa, llegando a tener reducciones considerables de la resistencia a la compresión, hasta un 35%, aproximadamente.

El pH adecuado es el neutro, según también se recomienda en la literatura. Además, se deben considerar otras características como los sulfatos y cloruros en el momento de escoger la fuente de agua para evitar el deterioro o procesos de corrosión posteriores.

Si bien la reducción de la resistencia a compresión es significativa utilizando algunas fuentes, pozo municipal y canal de riego, estas pueden llegar a ser utilizadas, considerando la realización de ensayos previos, de forma de garantizar la resistencia proyectada.

Aunque solo la influencia de la fuente de agua en la resistencia a la compresión del hormigón fue analizada, investigaciones posteriores pueden utilizar diferentes fuentes de agua para otros usos en el fabricado del hormigón como el curado, por ejemplo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO - American Association of State Highway and Transportation Officials (2008). T 26-79: Standard method of test for quality of water to be used in concrete. Washington D. C.: AASHTO.
- ACI - American Concrete Institute (2014). 318-14: Building Code Requirements for Structural Concrete. Detroit: ACI.
- Al-Harthy, A.S., Taha, R., Abu-Ashour, J., Al-Jabri, K. y Al-Oraimi, S. (2005). Effect of water quality on the strength of flowable fill mixtures. *Cement and Concrete Composites*. 27: 33-39. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2004.01.005>
- Asadollahfardi, G., Delnavaz, M., Rashnoiee, V. y Ghonabadi, N. (2016). Use of treated domestic wastewater before chlorination to produce and cure concrete. *Construction and Building Materials*. 105: 253-261. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.039>
- ASTM - American society for testing and materials (2018a). C1602/C1602M-18: Standard Specification for Mixing Water Used in the Production of Hydraulic Cement Concrete. West Conshohocken: ASTM International.
- ASTM (1994). C184-94e1 - Standard Test Method for Fineness of Hydraulic Cement by the 150- μ m (No. 100) and 75- μ m (No. 200) Sieves (Withdrawn 2002). West Conshohocken: ASTM International.
- ASTM (2004). C127-04: Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate. West Conshohocken: ASTM International.
- ASTM (2015a). (128-15: Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate. West Conshohocken: ASTM International.
- ASTM (2015b). C143/C143M-15a: Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete. West Conshohocken: ASTM International.
- ASTM (2016). C109/C109M-16a: Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens). West Conshohocken: ASTM International.
- ASTM (2017a). (188-17: Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement. West Conshohocken: ASTM International.
- ASTM (2017b). C117-17: Standard Test Method for Materials Finer than 75- μ m (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing. West Conshohocken: ASTM International.
- ASTM (2017c). C29/C29M-17a: Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate. West Conshohocken: ASTM International.
- ASTM (2018b). ASTM C94/C94M -18: Standard Specification for Ready-Mixed Concrete. West Conshohocken: ASTM International.

- ASTM (2018c). C191-18a: Standard Test Methods for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle. West Conshohocken: ASTM International.
- ASTM (2018d). C33/C33M-18: Standard Specification for Concrete Aggregates. West Conshohocken: ASTM International.
- ASTM (2018e). C88/C88M-18: Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate. West Conshohocken: ASTM International.
- ASTM (2018f). C192/C192M-18: Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory. West Conshohocken: ASTM International.
- ASTM (2018g). C39/C39M-18: Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. West Conshohocken: ASTM International.
- Babu, G.R. y Ramana, N.V. (2018). Feasibility of wastewater as mixing water in cement. *Materials today: Proceedings*. 5(1) Part 1: 1607-1614. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.253>
- Babu, G.R., Reddy, B.M. y Ramana, N.V. (2018). Quality of mixing water in cement concrete "a review". *Materials today: Proceedings*. 5(1) Part 1: 1313-1320. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.216>
- BSI - British Standard Institute (1980). BS 3148-1980: Method for test for water for making concrete. London: British standard institute.
- BSI (2002). BS EN 1008:2002 - Mixing water for concrete. Specification for sampling, testing and assessing the suitability of water, including water recovered from processes in the concrete industry, as mixing water for concrete. London: British standard institute.
- Cebeci, Z. y Saatci, M. (1989). Domestic Sewage as Mixing Water in Concrete. *Materials Journal*. 5: 503-506.
- Chatveera, B., Lertwattanaruk, P. y Makul, N. (2006). Effect of sludge water from ready-mixed concrete plant on properties and durability of concrete. *Cement and Concrete Composites*. 28:441-450. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2006.01.001>
- Cornak, B. (2018). Effects of use of alkaline mixing waters on engineering properties of cement mortars. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*. 22(6): 736-754. <https://doi.org/10.1080/19648189.2016.1217794>
- De Paula, H.M., De Oliveira Ilha, M.S., Andrade, L.S. (2014). Concrete plant wastewater treatment process by coagulation combining aluminum sulfate and Moringa oleifera powder. *Journal of Cleaner Production*, 76: 125-130. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.04.031>
- De Weerd, K. y Justnes, H. (2015). The effect of sea water on the phase assemblage of hydrated cement paste. *Cement and Concrete Composites*. 55: 215-222. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2014.09.006>
- Fraternali, F., Spadea, S. y Berardi, V.P. (2014). Effects of recycled PET fibres on the mechanical properties and seawater curing of Portland cement-based concretes. *Construction and Building Materials*. 61: 293-302. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.03.019>
- IBNORCA - Instituto Boliviano de Normalización y Calidad. (1987). Norma Boliviana CBH 87. La Paz: IBNORCA, 293p.
- IBNORCA (2005). Reglamento Nacional para el Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano NB 512. La Paz: IBNORCA, 55p.
- Meena, K. y Luhan, S. (2019). Effect of wastewater on properties of concrete. *Journal of Building Engineering*. 21:106-112. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.10.003>
- Mehta, K.P. y Monteiro, P. (2014). *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials*. 4th ed. New York: McGraw-Hill. 704p. ISBN: 978-9-339-20476-1.

NEVILLE, A.M. (2000). Water Cinderella Ingredient of Concrete. *Concrete International*. 22(9): 66-71.

Neville, A.M. (2012). 5th ed. *Properties of concrete*. Harlow: Pearson Education. 872p. ISBN: 978-0-273-75580-7.

Noruzman, A.H., Muhammad, B., Ismail, M. y Abdul-Majid, Z. (2012). Characteristics of treated effluents and their potential applications for producing concrete. *Journal of Environmental Management*. 110: 27-32. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.05.019>

Olutoge, F.A. y Amusan, G.M. (2014). The effect of sea water on compressive strength of concrete. *International Journal of Engineering Science Invention*. 3(7): 23-31.

Saxena, S. y Tembhurkar, A.R. (2018). Impact of use of steel slag as coarse aggregate and wastewater on fresh and hardened properties of concrete. *Construction and Building Materials*. v.165: 126-237. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.030>

Shi, Z., Shui, Z., Li, Q. y Geng, H. (2015). Combined effect of metakaolin and sea water on performance and microstructures of concrete. *Construction and Building Materials*. 74: 57-64. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.10.023>

Fuentes de financiamiento: Esta investigación fue financiada con fondos de los autores. **Declaración de conflicto de intereses:** Los autores declaran que no tiene ningún conflicto de interés.

Copyright (c) 2019 Joaquín Humberto Aquino Rocha; Sergio Manuel Rodríguez Belmonte; Luis Felipe Portillo Terán; Giovanni Galindo Añez



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Usted es libre para Compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumendelicencia](#) - [Textocompletodelalicencia](#)