

Evaluación de concreto elaborado con agregados de canteras de río y de cerro de los Andes del norte de Perú

Evaluation of concrete made with aggregates from river quarries and hill from the Andes in northern Perú

Lorena Uriarte Herrera^{1,*}  Edwar Cieza Sánchez¹ 

¹Universidad Nacional Autónoma de Chota (UNACH), Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Ciudad Universitaria Colpamatara, 06120, Chota, Cajamarca, Perú.

*Autor correspondiente [e-mail: herreralorenau@gmail.com]

RESUMEN

El concreto es un material versátil, y debido a que se encuentra en todo tipo de construcción su demanda ha aumentado, generando así un incremento en la extracción de agregados, los cuales muchas veces no cumplen con las especificaciones técnicas. Se tuvo por objetivo evaluar comparativamente concretos elaborados con canteras de cerro y de río, para diseños con resistencia a la compresión ($f'c$) = 175 kg/cm² y $f'c$ = 210 kg/cm². Se analizó las propiedades de los agregados tanto de cerro como de río, para calcular la dosificación de los componentes, utilizando la metodología del comité 211 del American Concrete Institute (ACI); luego de la elaboración de las probetas se realizó el curado y posteriormente se realizó los ensayos de resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días. Se determinó que el concreto elaborado con agregados de río cumplen con los parámetros mínimos de resistencia a la compresión; sin embargo, los agregados en su mayoría no cumplen con la Norma Técnica Peruana (NTP) 400.037 y esto repercute de forma negativa en la resistencia del concreto. Por lo tanto, se recomienda la utilización de los agregados de cerro teniendo en cuenta las respectivas correcciones en el diseño de mezcla para obtener concretos con resistencias requeridas.

Palabras claves: material fino, resistencia de compresión, durabilidad.

ABSTRACT

Concrete is a versatile material, and because it is found in all types of construction, its demand has increased, thus generating an increase in the extraction of aggregates, which many times do not meet technical specifications. The aim was to comparatively evaluate concretes made with hill and river quarries, for designs with compressive strength ($f'c$) = 175 kg/cm² and $f'c$ = 210 kg/cm². The properties of both hill and river aggregates were analyzed to calculate the dosage of the components, using the methodology of committee 211 of the American Concrete Institute (ACI); after the preparation of the specimens, the curing was carried out and later the compressive strength tests

were carried out at 7, 14 and 28 days. It was determined that the concrete made with river aggregates meets the minimum compressive strength parameters; However, most of the aggregates do not comply with the Peruvian Technical Standard (NTP) 400.037 and this has a negative effect on the strength of the concrete. Therefore, the use of hill aggregates is recommended, taking into account the respective corrections in the mix design to obtain concretes with the required strengths.

Keywords: fine material, compression resistance, durability.

INTRODUCCIÓN

El extenso uso del concreto como material de construcción se debe fundamentalmente a que su elaboración está hecha a base de agregados que se encuentran generalmente cercanos al lugar que se requiere, y por su variabilidad y dureza, ha logrado ser el material más empleado en el planeta (Hernández, 2008); usados en diferentes obras de ingeniería, por su dureza, durabilidad, consistencia, versatilidad y economía. (Calderón, 2015). El concreto al ser un material ampliamente utilizados ha llevado a la búsqueda constante de propuestas que ayuden a mejorar sus características, enfocadas en el cemento, en los agregados y aditivos (Torrado y Serrano, 2013). Pasquel (1998) menciona que el concreto es un material compuesto por la mezcla de cemento, agua, agregados y opcionalmente aditivos. Presenta estructura diversa y compleja, resultando difícil predecir su comportamiento futuro, debido a factores como la pasta de cemento, la zona de transición, la humedad y la temperatura que lo rodean (O'Reilly et al., 2010).

La mezcla de concreto en promedio tiene 12% de cemento, 8% de agua y el 80% de agregados (Ottazzi, 2011). Se creía que los agregados eran elementos pasivos dentro del concreto; sin embargo, son los materiales con mayor porcentaje que influyen activamente en todas las propiedades del concreto tanto en estado fresco y como endurecido (Ferreira y Torres, 2014). Los agregados constituyen la mayor fracción de una

mezcla de concreto, afectando la estructura final, debido a la variabilidad en sus características de explotación, manejo y transporte (Serrano y Pérez, 2011). En ese sentido, Solís et al. (2012) mencionan que la resistencia del concreto está establecida por la calidad de la pasta de cemento y las características de los agregados pétreos; la pasta está controlada por la relación agua-cemento, mientras que los agregados no pueden ser alterados, porque son usados los disponibles cerca de la construcción.

Para realizar una correcta caracterización de los agregados, es necesario determinar sus propiedades físicas, mecánicas y químicas; y así obtener un concreto que cumpla con las especificaciones para el cual va a ser utilizado, como son la resistencia a la compresión o durabilidad (Tejada, 2016). Esto debido a que en la región Cajamarca-Peru, como en el resto del país los agregados de cerro son de baja calidad y no cumplen con los estándares para la fabricación de concreto. En la provincia de Chota-Cajamarca, el crecimiento en el sector de construcción ha conllevado a la busca de materiales para la elaboración de concreto; es por esto que la explotación de cantera de cerro es escasa, siendo reemplazada por agregado de río sin tener en cuenta las variaciones en el diseño de la mezcla. Por su parte, Irigoín et al. (2020), mencionan la existencia de diversas canteras de arena y piedra, utilizadas como materia prima en la elaboración de concreto. Con lo expuesto, se tuvo por objetivo determinar

las propiedades de resistencia y durabilidad de agregados de canteras de cerro y río en la elaboración de concreto, en Chota, región Cajamarca.

La presente investigación se realizó en la provincia de Chota entre los meses de julio del 2019 hasta enero del 2020. En la Figura 1 y Tabla 1 se muestran las coordenadas geográficas y tipo de agregados utilizados de las canteras.

MATERIALES Y MÉTODOS

Tabla 1. Localización de canteras de cerro Conchán (C1), San Juan del Suro (C2) y Los Reyes (C3), y canteras de río Doña Ana (C4) y río Chotano (C5) en Chota, Cajamarca.

Características	Cartera (C)				
	C1	C2	C3	C4	C5
Coordenada E	760472	765151	753240	755280	734033
Coordenada S	9288086	9271338	9279135	9276785	9284193
Tipo de agregado	fino	grueso	grueso	fino + grueso	fino + grueso

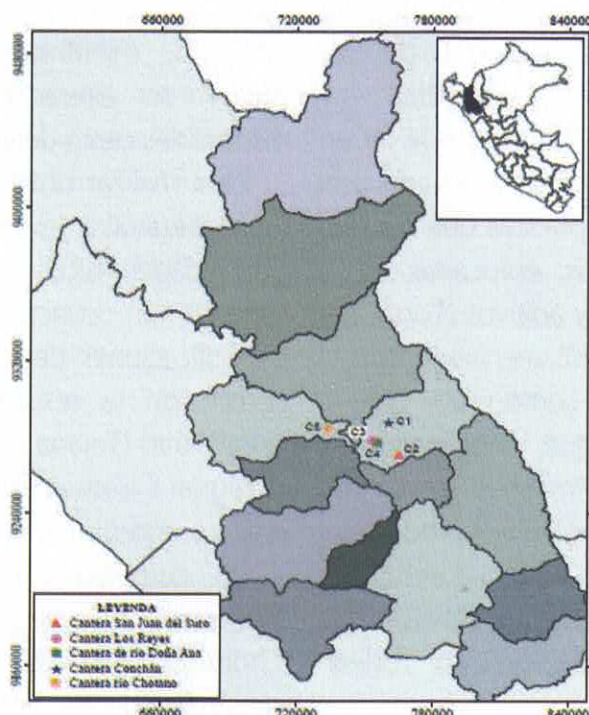


Figura 1. Ubicación de canteras de cerro San Juan del Suro (C2), Los Reyes (C3), Conchán (C1), y canteras de río Doña Ana (C4) y río Chotano (C5), Chota, Cajamarca.

Para esta investigación se utilizó agregado proveniente de canteras de los cerros Conchán, San Juan del Suro y Los Reyes; canteras de río Doña Ana y río Chotano; y como aglomerante el cemento Portland Tipo I por ser de uso general. Se realizó visitas a las canteras, para obtener los

agregados; los cuales se trasladó al Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la UNACH, donde se ensayó y comparó los resultados con los requisitos de los agregados para concreto según la NTP 400.037, como se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Ensayos según la Norma Técnica Peruana (NTP), para agregados grueso y fino.

Ensayo	Norma
Determinación de la resistencia a la compresión del concreto endurecido	NTP 339.034 (2008)
Medición del asentamiento del concreto fresco	NTP 339.035 (2009)
Determinación del peso unitario del concreto fresco	NTP 339.046 (2008)
Medición del contenido de aire en mezclas de concreto fresco	NTP 339.083 (2003)
Elaboración y curado de especímenes de concreto	NTP 339.183 (2013)
Medición de la temperatura en concreto fresco	NTP 339.184 (2002)
Contenido de humedad para agregado fino y grueso	NTP 339.185 (2013)
Análisis granulométrico para agregado fino y grueso	NTP 400.012 (2013)
Densidad de masa suelto y compactado para agregado fino y grueso	NTP 400.017 (2011)
Materiales finos que pasan por el tamiz N °200	NTP 400.018 (2013)
Densidad relativa y absorción para agregado grueso	NTP 400.021 (2013)
Densidad relativa y absorción para agregado fino	NTP 400.022 (2013)
Resistencia al desgaste por abrasión	NTP 400.19 (2014)
Requisitos de agregados para concreto	NTP 400.037 (2018)

Antes del llenado de probetas se evaluó las propiedades de asentamiento con el uso del cono de Abrams (NTP 339.035), para evaluar el peso unitario se siguió el procedimiento de la NTP 339.046, para la evaluación del contenido de aire se utilizó la Olla Washington según la NTP 339.083 y finalmente se determinó la temperatura con un termómetro que cumple las especificaciones de la NTP 339.184. Para el llenado de probetas se siguió el procedimiento

de la NTP 339.183 utilizándose moldes estándar de 6" de diámetro y 12" de altura. Se colocó el material en tres capas, cada capa fue compactada con 25 golpes al finalizar se enraso para tener un borde uniforme. Pasadas las 24 horas de llenado fueron desencofradas y colocadas en la poza de curado, donde permanecieron hasta ser ensayadas según tiempo.

Tabla 3. Cantidades de cemento, agregados fino y grueso utilizado para cada diseño.

f _c	Diseño	Cemento	Agregado fino	Agregado grueso	Agua
		...bolsa...		m ³	
175 kg/cm ²	d1	0.434	0.017	0.024	0.011
	d2	0.434	0.017	0.024	0.012
	d3	0.434	0.015	0.026	0.009
	d4	0.434	0.020	0.021	0.009
210 kg/cm ²	d1	0.488	0.017	0.024	0.011
	d2	0.488	0.017	0.024	0.012
	d3	0.488	0.015	0.026	0.010
	d4	0.488	0.020	0.021	0.009

d1- diseño para C1 y C2; d2- diseño para C1 y C3; d3- diseño para C4; d4- diseño para C5

Para evaluar las propiedades del concreto en estado endurecido se evaluaron 72 muestras a compresión distribuidos en 8 diseños diferentes (Tabla 3). Una vez obtenido las propiedades

físicas de los agregados se realizó el diseño de mezcla según metodología del comité ACI-211 para resistencia de 175 y 210 kg/cm². Se determinó las cantidades de cemento, agregado fino, agregado grueso y agua; para tandas de 0.060 m³, equivalentes a 9 probetas circulares las cuales tenían diámetro de 0.15 m y 0.30 m de alto. Para la elaboración de especímenes se mezcló las cantidades de materiales. La

información de los ensayos de laboratorio y la toma de datos, se organizó en el software Microsoft Office Excel 2019; con el cual se calculó la estadística no paramétrica y elaboró cuadros y gráficos porcentuales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis granulométrico

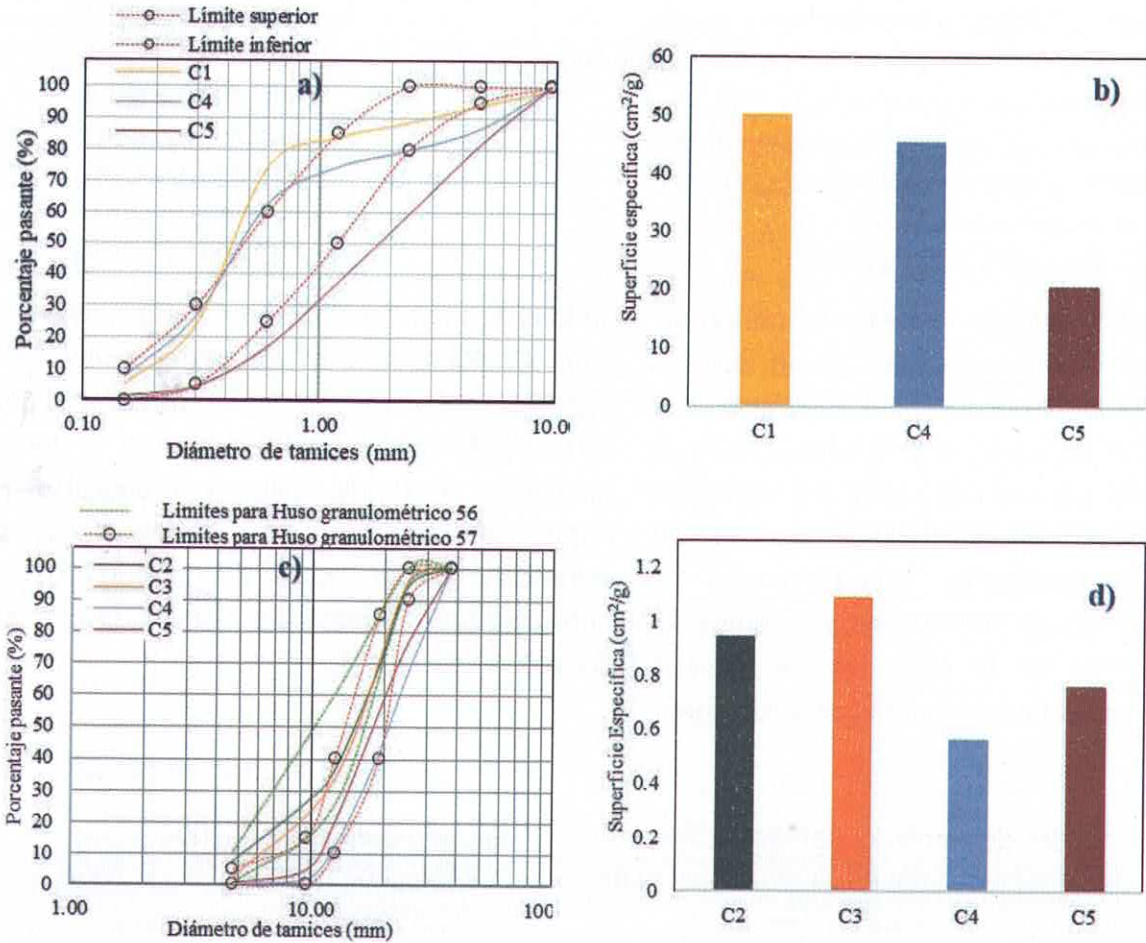


Figura 2. Análisis granulométrico. a y b) curvas granulométricas y superficie específica para agregado fino de las canteras de cerro Conchán (C1), canteras de río Doña Ana (C4) y río Chotano (C5); c y d) curvas granulométricas y superficie específica para agregado grueso de las canteras de cerro San Juan del Suro (C2), Los Reyes (C3) canteras de río Doña Ana (C4) y río Chotano (C5).

Al elaborar la curva granulométrica para el agregado fino (Figura 2a) se tuvo que la distribución granulométrica de la cantera

Conchán (C1), la cantera del río Doña Ana (C4), cantera del río Chotano (C5), no cumple con los límites establecidos por la NTP 400.037. El

módulo de finura para la C1 fue de 2.30; para la C4 fue 2.63 estos resultados son menores a los obtenidos por (Sánchez, 2017; Solís et al., 2012; Fernández et al., 2016; León & Ramírez, 2010), pero si se encuentran dentro del rango establecido por la NTP 400.037. Caso diferente sucede con el agregado fino de la C5 el en la cual tiene un módulo de finura de 4.00 y además no se encuentra dentro del rango establecido por la NTP 400.037. Para el caso de la superficie específica (Figura 2b) se obtuvo que los agregados finos de la C4 y C5 tuvieron menor cantidad que los agregados de la C1.

Para el agregado grueso se tuvo que la distribución granulométrica de la cantera San

Juan del Suro (C2), la cantera Los Reyes (C3) cumplen con los husos granulométricos 56 y 57 respectivamente, según la NTP 400.037. Para el caso de los agregados gruesos de las canteras de río C4 Y C5, no cumplen en su totalidad con el huso granulométrico 57. El tamaño máximo nominal para las canteras C2, C3, C4 y C5 es de 1" estos resultados son iguales a los obtenidos por (Fernández et al., 2016; Tejada, 2016). Para el caso de la superficie específica (Figura 2c) se obtuvo que los agregados gruesos de río C4 y C5 tuvieron menor cantidad que los agregados de cerro C2 y C3

Densidad relativa y absorción

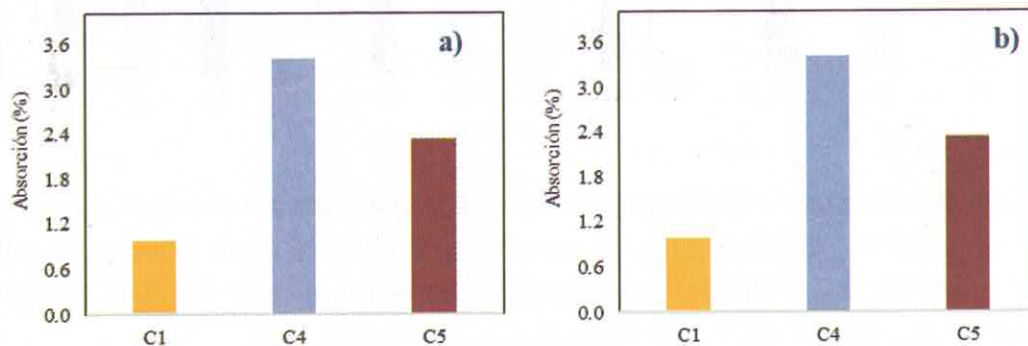


Figura 3. Absorción. a) agregado fino de las canteras de cerro Conchán (C1), canteras de río Doña Ana (C4) y río Chotano (C5); b) agregado grueso de las canteras de cerro San Juan del Suro (C2), Los Reyes (C3), canteras de río Doña Ana (C4) y río Chotano (C5)

Se tuvo que los agregados finos de río alcanzan una absorción máxima de 3.42% según se muestra en la Figura 3a, estos resultados son mayores a los obtenidos por (Tejada, 2016) en Cajamarca, pero menores a los obtenidos por (Ferreira & Torres, 2014) los cuales afectan en menor cantidad a la relación agua-cemento. Para el caso de los agregados gruesos de río presentaron absorciones máximas de 1.45%, estos resultados son mayores a los obtenidos por

(Tejada, 2016) en Cajamarca. Estos resultados obtenidos indican que la relación agua-cemento será afectada.

Material fino del tamiz N° 200 y resistencia al desgaste por abrasión

El agregado fino de cerro presenta menor cantidad de materiales más finos que pasan por el tamiz N° 200 que el agregado de río (Véase Figura 4a), estos resultados difieren a los

obtenidos por (Sánchez, 2017) en Cajamarca donde menciona que los agregados de cerro presentan mayor cantidad de finos que los agregados de río. Según la NTP 400.037 menciona que el agregado fino debe tener materiales más finos que pasan por el tamiz N° 200 menores a 3% para los casos de concretos expuestos a abrasión y 5% para concretos normales.

Para el agregado grueso, se tuvo que el agregado de la cantera de río Chotano (C5) presenta mayor cantidad de material fino. La NTP 400.037 menciona que el agregado grueso debe tener materiales más finos que pasan por el tamiz N° 200 menores a 1%, para todos los casos cumplen con los requisitos establecidos por la norma (Figura 4).

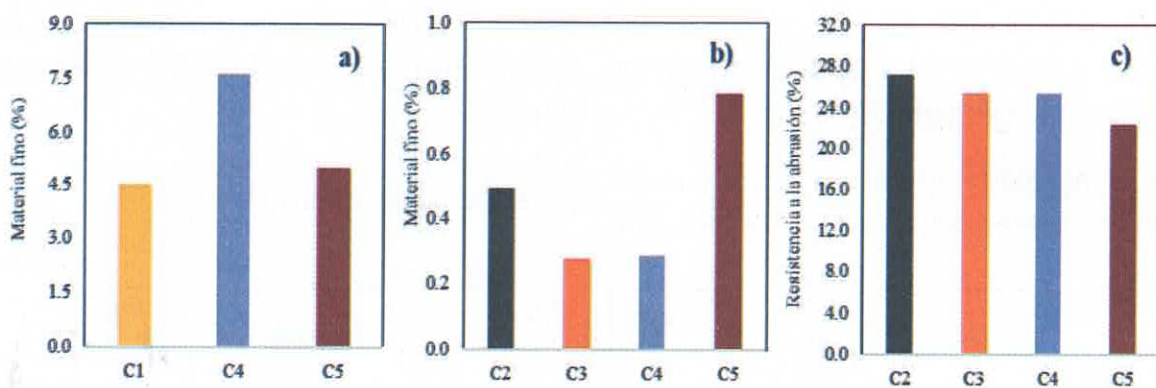


Figura 4. Material fino de tamiz N° 200 y resistencias al desgaste por abrasión para agregado grueso. a) agregado fino de las canteras de cerro Conchán (C1), canteras de río Doña Ana (C4) y río Chotano (C5); b y c) agregado grueso de las canteras de cerro San Juan del Suro (C2), Los Reyes (C3), canteras de río Doña Ana (C4) y río Chotano (C5).

Según los ensayos realizados, se obtuvo que los agregados de río presentan resistencias mecánicas mayores que los agregados de cerro. Estos resultados difieren a los obtenidos por (Benel et al., 2015) en Cajamarca debido a los agregados de cerro tuvieron mayor desgaste que los agregados de río. Según la NTP 400.037 menciona que el porcentaje de desgaste por abrasión en el agregado grueso debe ser menor al 50%. Los resultados obtenidos para todos los agregados gruesos cumplen, al igual que los obtenidos por (Calderón, 2015), (Ferreira & Torres, 2014), (Torrado & Serrano, 2013) en Bolivia y (León & Ramírez, 2010) en Colombia (Figura 4c).

Ensayos para el concreto en estado fresco

En los ensayos de concreto fresco se obtuvieron los resultados que observan en la Figura 5. Los asentamientos para los diseños estuvieron entre 3"- 4", los pesos unitarios hacen referencia a que los concretos elaborados con agregados de río presentan mayores pesos unitarios frente a los agregados de cerro. Su contenido de aire varía entre 0.8% - 1.7%. Se tuvo que los diseños con agregados de cerro tanto para resistencias de 175 y 210 kg/cm², a 28 días no alcanzan las resistencias de diseño. Además, se obtuvo que los concretos elaborados con

agregados de río Chotano alcanzan resistencias a la compresión superiores a las de diseño.

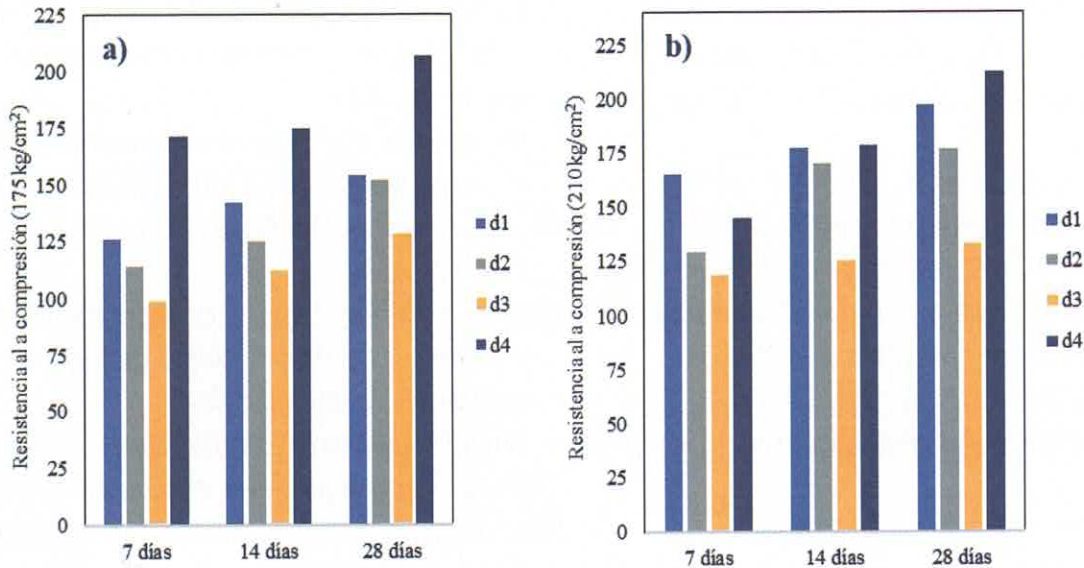


Figura 5. Ensayos para el concreto endurecido. a) Resistencia de $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$, d1-diseño para canteras de cerro C1 y C2; d2- diseño para canteras de cerro C1 y C3; d3- diseño para canteras de río C4; d4- diseño para canteras de río; b) Resistencia de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, d1-diseño para canteras de cerro C1 y C2; d2- diseño para canteras de cerro C1 y C3; d3- diseño para canteras de río C4; d4- diseño para canteras de río C5.

CONCLUSIONES

Los agregados de las canteras de cerro al presentar forma irregular, angular y superficie específica elevada generan un aumento en el agua de diseño, por lo tanto, alteran la relación agua-cemento y en consecuencia la resistencia. Caso contrario sucede con los agregados de río ya que presentan formas redondeadas y superficies específicas bajas.

El concreto elaborado con agregados del río Chotano alcanza al tiempo de 28 días una resistencia mayor o igual para los diseños $f'c = 175$ y 210 kg/cm^2 , mientras que los concretos elaborados con canteras de cerro a los 28 días alcanzan una resistencia máxima del 88% y 94%

para diseños de 175 y 210 kg/cm^2 respectivamente.

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Ingeniería, por permitir el desarrollo de la investigación en el Laboratorio de Ensayo de Materiales y a la Vicepresidencia de Investigación-UNACH, por el financiamiento.

REFERENCIAS

- Benel, S., Marquina, L., Mosquera, L., & Soto, E. (2015). Desgaste del agregado grueso de río y cerro, Cajamarca. Revista de Formación en Investigación-UPN, 3(2), 2-6.

- <https://revistas.upn.edu.pe/index.php/refi/article/view/51/88>
- Calderón, E. (2015). Diseño de hormigón con cantos rodados provenientes del río Chanchan a través de los métodos ACI y O'REILLY. [Tesis de postgrado, Universidad de Guayaquil]. Repositorio Institucional UG. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/7847>
- Fernández, A., Morales, J., & Soto, F. (2016). Evaluación del comportamiento de la resistencia a compresión del concreto con la aplicación del aditivo superplastificante PSP NLS, para edades mayores que 28 días. *Revista INGENIERÍA UC*, 23(2), 197-203. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=70746634010>
- Ferreira, D. A., & Torres, K. M. (2014). Caracterización Física de agregados pétreos para concretos casos: Vista Hermosa (Mosquera) Y Mina Cemex (Apulo). *Revista de Investigación de la Universidad Católica de Colombia*, 1-9. <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1655/3/ARTICULO.pdf>
- Hernández, M. S. (2008). Diseño sustentable de materiales de construcción; caso del concreto de matriz de cemento Pórtland. *Ciencia Ergo Sum*, 15(3), 306-310. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=104/10415308>
- Irigoín, R., Burga, J., Ramos, Í., & Silva, J. L. (2020). Características físicas de la cantera de arcilla en Lascan, Conchán, Chota. *Revista Ciencia Nor@ndina*, 2(2), 106-114. DOI: <https://doi.org/10.37518/2663-6360X2020v2n2p106>
- León, M. P., & Ramírez, F. (2010). Caracterización morfológica de agregados para concreto mediante el análisis de imágenes. *Revista ingeniería de construcción*, 25(2), 215-240. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732010000200003>
- O'Reilly, V. A., Bancrofft, R. A., & Ruiz, L. (2010). Las tecnologías del concreto en su ciclo de vida. *Concreto y cemento. Investigación y desarrollo*, 1(2). http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-30112010000200004
- Ottazzi, G. (2011). *Diseño en Concreto Armado*. EDIGRAFASA
- Pasquel, E. (1998). *Tópicos de tecnología del concreto en el Perú*. Colegio de Ingenieros del Perú, Consejo Nacional. https://es.slideshare.net/cmanuel_locky/topicos-de-tecnologia-del-concreto-en-el-peru
- Sánchez, A. A. (2017). Optimización del diseño de morteros cemento –arena mediante un método gráfico en la ciudad de Cajamarca. [Tesis de postgrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional UNC. <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/1916/Tesis%20Maestr%C3%ADa%20Arturo%20S%C3%A1nchez%20Paniagua.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Serrano, M. F., & Pérez, D. D. (2011). Concreto preparado con residuos industriales: resultado de alianza empresa universidad. *Educación en Ingeniería*, 6(11), 1-11. DOI: <https://doi.org/10.26507/rei.v6n11.116>
- Solís, R. G., Moreno, E. I., & Arjona, E. (2012). Resistencia de concreto con agregado de alta absorción y baja relación a/c. *Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción*, 2(1), 21-29. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=427639586004>

Uriarte y Cieza (2021). Evaluación de concreto elaborado...

Tejada, L. M. (2016). Efectividad del curado interno del concreto mediante la saturación del agregado grueso en comparación a otros tipos de curado. [Tesis de postgrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional UNC. <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/1295/TESIS%20MAESTRIA%20%20L>

[UIS%20TEJADA%20ARIAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/1295/UIS%20TEJADA%20ARIAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Torrado, L. M., & Serrano, M. F. (enero-julio de 2013). Propiedades Mecánicas de los Agregados Ante Variaciones Climáticas: Reporte de caso en Bucaramanga. *Prospectiva*, 11(1), 30-39. DOI: <https://doi.org/10.15665/rp.v11i1.25>

Recibido: 16-05-2021 Aceptado: 30-06-2021 Publicado: 22-09-2021