



Arcilla cocida como agregado fino para mejorar las propiedades mecánicas del hormigón estructural

Baked clay as a fine aggregate to improve the mechanical properties of structural concrete

LILIANA CHAVARRÍA REYES¹, CARLOS CHAVARRÍA VALLEJOS², ANDRÉS VALENCIA GUTIÉRREZ³, ENRIQUETA PEREYRA SALARDI¹ Y CHRISTIAN HURTADO IGLESIAS¹

RESUMEN

En el estudio se tuvo en consideración relaciones agua/cemento entre 0,55 y 0,65 para una resistencia a la compresión axial de $f'c = 210$ kg/cm². En la presente investigación se tuvo en cuenta que este material es afectado por la presencia de altas concentraciones de cloruros y sulfatos, por su alta porosidad y permeabilidad que lo vuelven frágil y débil no recomendable para estructuras con refuerzo armado. Se sustituyó el agregado natural fino por arcilla cocida en diferentes proporciones (0, 15, 20 y 25%) analizando las propiedades químicas de la arcilla, así como las propiedades mecánicas del hormigón endurecido (flexión, tensión y compresión a los 28 días). Los resultados de los ensayos indican la viabilidad de utilizar arcilla cocida molida como agregado fino para la elaboración de hormigón estructural, siempre y cuando no supere el 25% del agregado natural fino; además las resistencias aumentaron en un 1,5% a la flexión, 3,2% tensión y un 8,6% a la compresión axial.

Palabras claves: Hormigón estructural; arcilla cocida; agregado fino; agregado grueso; propiedades mecánicas; asentamiento del hormigón.

¹Universidad Ricardo Palma. Lima Perú.

²Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Lima, Perú

³Universidad San Martín de Porres. Lima, Perú

©Los autores. Este artículo es publicado por la Revista Aporte Santiaguino de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite: Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato, Adaptar — remezclar, transformar y construir a partir del material para cualquier propósito, incluso comercialmente.

ABSTRACT

In this research it was taken into consideration the relations water/concrete between 0.55 and 0.65 for a resistance to the axial compression of $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$. In the present investigation it was taken into account that the material is affected by the presence of high concentrations of chlorides and sulfates, because of its high porosity and permeability that make it fragile and weak not recommendable for structures with armed reinforcement. The natural fine aggregate was replaced by baked clay on different proportions (0, 15, 20 and 25%) analyzing the clay chemical properties, as well as the hardened concrete mechanical properties (flexion, tension and compression at 28 days). The outcomes of the trials indicate the viability of using ground baked clay as a fine aggregate in the elaboration of structural concrete, as long as does not exceed 25% of the natural fine aggregate; also the resistances to the flex increased in a 1,5%, to the tension in a 3,2% and a 8,6% to the axial compression.

Key Words: structural concrete; baked clay; fine aggregate; heavy aggregate; mechanical properties; concrete settlement.

INTRODUCCIÓN

En el reemplazo del agregado grueso es una práctica usual la arcilla cocida pero muy pocos estudios se refieren a la arcilla cocida como reemplazo del agregado fino para mejorar las propiedades físico-mecánicas del hormigón estructural, la elección de usar la arcilla cocida como agregado fino en el hormigón proviene de la investigación de [Pineda y Quintero \(2018\)](#) en donde se menciona que mientras más fina sea la arcilla cocida, mejor reacción tiene con el cemento y esto mejorará la resistencia. [Debieb y Kenai \(2008\)](#), examinan la posibilidad de usar el triturado de bloque de arcilla como agregado fino y grueso usando diferentes porcentajes de reemplazos (25, 50, 75 y 100%) a los agregados tradicionales. Los resultados muestran que es factible desarrollar hormigones con triturado de ladrillo de arcilla cocida con características similares a los hormigones tradicionales mientras se limite a un 25% y 50% la cantidad de agregado grueso y fino respectivamente relación agua/cemento el porcentaje de caída de resistencia a la compresión es menor.

[Pérez \(2012\)](#), usó el triturado de ladrillo reciclado de arcilla cocida como agregado grueso en la elaboración de hormigón como sustituto del agregado natural grueso en proporciones de 0%, 10%, 20% y 30%; de acuerdo con su investigación no se debe

superar el 30% de reemplazo del agregado por arcilla cocida ya que a partir de ese porcentaje empieza a caer representativamente la resistencia del hormigón. Por su parte, [Khalaf y DeVenny \(2005\)](#), mencionan que los agregados de arcilla reciclada pese a pasar por un proceso de limpieza siguen presentando un pequeño porcentaje de impurezas que puede ser perjudicial para la producción de hormigón.

Es preciso conocer con precisión la mejora que la arcilla cocida nueva le puede otorgar al hormigón estructural; se conoce que la arcilla cocida presenta menor densidad que los agregados típicos de construcción lo que ayuda a reducir el peso del hormigón y además aportar mejoras en la resistencia del hormigón. Se va a diseñar una mezcla con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ usando arcilla cocida como agregado fino, con lo que se pretende determinar el porcentaje de arcilla cocida como agregado fino para mejorar el asentamiento del hormigón; y determinar la relación a/c para mejorar la resistencia del hormigón estructural.

Se desarrollan cuatro módulos donde se muestran gradualmente los materiales y el método de la investigación, las bases teóricas utilizadas para el desarrollo de la misma, y se presentan los resultados obtenidos luego de las pruebas correspondientes a la arcilla cocida como agregado fino para mejorar las propiedades mecánicas del hormigón estructural, posteriormente se analizan e interpretan los resultados obtenidos y se presentan las conclusiones.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación desarrollada es experimental en donde se utilizó el método deductivo, enfoque cuantitativo, orientación aplicada e instrumento de recolección de datos retrolectiva. De tipo descriptivo, correlacional y explicativo y de nivel descriptivo. El diseño experimental, longitudinal, prospectivo y estudio de cohorte (causa-efecto).

La investigación es descriptiva – correlacional – explicativa ya que indica el comportamiento mecánico del hormigón durante el proceso del desarrollo de las pruebas en el laboratorio indicando la causa (porcentaje de arcilla cocida) y el efecto (propiedades físico-mecánicas), para especificar si hay mejoras en las propiedades físico - mecánicas del hormigón estructural.

Población y muestra

Se usaron 4 diseños de mezcla con diferente dosificación de arcilla cocida en 15%, 20% y 25%. Por cada mezcla se elaboraron 27 muestras que fueron ensayadas a compresión, tracción y flexión a los 7, 14 y 28 días. El total de muestras ensayadas fueron 108, de los cuales 72 estuvieron en probetas cilíndricas de 15cm (6 pulgadas) de diámetro y 30 cm (12 pulgadas) de altura; 36 fueron muestras de vigas de 6"x 6" x 20".

Se utilizaron formatos, de autoría propia, con datos obtenidos del laboratorio MTL Geotecnia SAC para los análisis de los agregados, así como las máquinas para los ensayos de rotura, balanza, tamices, horno y otros. La mezcladora, las probetas cilíndricas metálicas, molde de vigas de madera, cono de abrams metálico son propios, entre otros para realizar la mezcla. Todos los ensayos realizados para la obtención de datos siguen las normativas técnicas peruanas NTP.

Los métodos y técnicas utilizados fueron: relación agua y cemento (RNE E.060); ensayo de asentamiento (NTP 339.045 - NTP 400.012); curado de hormigón (NTP 334.077); ensayo de resistencia a la compresión axial (NTP 339.034); ensayo de resistencia a la tracción por compresión diametral (NTP 339.084); ensayo de resistencia a la flexión (NTP 339.078); diseño de mezclas usando el método del Instituto Americano de Hormigón ACI (2015).

Los ensayos que se realizaron a los agregados fino y grueso siguen la normativa [ASTM C136](#), [ASTM C128](#), [ASTM C29](#) y [ASTM C127](#) según lo menciona los formatos del Laboratorio MTL Geotecnia SAC, con esos datos obtenidos se procedió a realizar el diseño de mezcla usando método ACI. Se realizaron cuatro diseños de mezcla usando cemento Tipo I con adiciones de arcilla cocida en proporciones de 15%, 20% y 25% y un hormigón patrón para Lima Metropolitana, estas mezclas para hormigón estructural fueron ensayadas a 7 días, 14 días y 28 días. En hormigón fresco se realizó el ensayo de asentamiento por cada diseño de mezcla, se usó el cono de abrams metálico y se siguió la normativa técnica peruana NTP 339.045; se usaron moldes metálicos para las probetas cilíndricas y los moldes para vigas fueron hechos de madera ya que estos no están disponibles en el mercado. Para el correcto curado de las probetas se siguió la NTP 333.077. Llegado los días a ser ensayados, se procedió con el ensayo de compresión axial NTP 339.034 para 36 probetas, ensayo de tracción

por compresión diametral NTP 339.084 para 36 probetas y ensayo de resistencia a la flexión NTP 339.078 para 36 vigas, se tomó registro de cada una de las resistencias de acuerdo al formato del laboratorio. Con los datos obtenidos se hizo una base de datos en excel, luego fueron procesados usando software spss para mostrar la comparación de resistencias de los diferentes diseños de mezclas realizados.

RESULTADOS

Arcilla cocida en las propiedades físico-mecánicas del hormigón estructural.

Se puede apreciar que adicionando porcentaje de arcilla disminuye el asentamiento, según los valores del asentamiento (cm) vs el porcentaje de arcilla usado en reemplazo del agregado fino usado en cada diseño de mezcla

- 0%: Hormigón patrón sin adición de arcilla cocida
- 15%: Hormigón con adición del 15% de arcilla cocida en reemplazo del fino
- 20%: Hormigón con adición del 20% de arcilla cocida en reemplazo del fino
- 25%: Hormigón con adición del 25% de arcilla cocida en reemplazo del fino

Relación agua/cemento en las propiedades mecánicas

Para realizar el análisis estadístico se utilizaron los resultados obtenidos del ensayo a compresión axial de 28 días de acuerdo con la siguiente tabla.

Tabla 1: Valores Obtenidos del Ensayo de Compresión Axial a los 28 Días

Tipo de Diseño de Mezcla	a/c	Resistencia f'c (kg/cm ²)
Hormigón Patrón	0,558	409,8
Hormigón Patrón	0,558	407,3
Hormigón Patrón	0,558	454,4
Hormigón con 15 % de Arcilla Cocida	0,558	432,8
Hormigón con 15 % de Arcilla Cocida	0,558	444,6
Hormigón con 15 % de Arcilla Cocida	0,558	438,3
Hormigón con 20% de Arcilla Cocida	0,558	442,0
Hormigón con 20% de Arcilla Cocida	0,558	463,1
Hormigón con 20% de Arcilla Cocida	0,558	443,3
Hormigón con 25% de Arcilla Cocida	0,558	437,0
Hormigón con 25% de Arcilla Cocida	0,558	477,7
Hormigón con 25% de Arcilla Cocida	0,558	465,7

La tabla 1, muestra los coeficientes referidos al asentamiento. Para realizar el análisis estadístico se utilizó los resultados obtenidos del ensayo de tracción por compresión diametral de 28 días de acuerdo con la tabla 2.

Tabla 2: Valores Obtenidos del Ensayo de tracción a los 28 Días

Tipo de Diseño de Mezcla	a/c	Resistencia $f'c$ (kg/cm ²)
Descripción		28 días
Hormigón Patrón	0,558	39
Hormigón Patrón	0,558	40
Hormigón Patrón	0,558	45
Hormigón con 15 % de Arcilla Cocida	0,558	29
Hormigón con 15 % de Arcilla Cocida	0,558	29
Hormigón con 15 % de Arcilla Cocida	0,558	33
Hormigón con 20% de Arcilla Cocida	0,558	27
Hormigón con 20% de Arcilla Cocida	0,558	34
Hormigón con 20% de Arcilla Cocida	0,558	35
Hormigón con 25% de Arcilla Cocida	0,558	38
Hormigón con 25% de Arcilla Cocida	0,558	30
Hormigón con 25% de Arcilla Cocida	0,558	34

Relación agua/cemento en las propiedades de resistencia a la tracción

Análisis estadístico de resistencia a la flexión:

Para realizar el análisis estadístico se utilizaron los resultados obtenidos del ensayo de flexión a los 28 días de acuerdo con la tabla 3.

Tabla 3: Valores Obtenidos del Ensayo de Flexión a los 28 Días

Tipo de Diseño de Mezcla	Resistencia a la Flexión	
	a/c diseño	Resistencia $f'c$ (kg/cm ²)
Descripción		28 días
Hormigón Patrón	0,558	44
Hormigón Patrón	0,558	44
Hormigón Patrón	0,558	50
Hormigón con 15 % de Arcilla Cocida	0,558	38
Hormigón con 15 % de Arcilla Cocida	0,558	40
Hormigón con 15 % de Arcilla Cocida	0,558	33
Hormigón con 20% de Arcilla Cocida	0,558	41
Hormigón con 20% de Arcilla Cocida	0,558	43
Hormigón con 20% de Arcilla Cocida	0,558	38
Hormigón con 25% de Arcilla Cocida	0,558	40
Hormigón con 25% de Arcilla Cocida	0,558	50
Hormigón con 25% de Arcilla Cocida	0,558	50

Resumen de los resultados de los ensayos realizados en laboratorio

La tabla 4, muestra los resultados del ensayo de asentamiento en hormigón fresco; resultados del ensayo de compresión axial, tracción y flexión a los 7, 14 y 28 días; el modelo de tabla de resultados fue adaptado de “Hormigón reforzado con vidrio molido para controlar grietas y fisuras por contracción plástica”, por [Chavarry et al., \(2020\)](#). resultados de la investigación.

Tabla 4: Resultados de Asentamiento, Resistencia Axial, Tracción y Flexión

Objetivo General	Indicador	Identificación				
		Asentamiento (cm)				
		Descripción	Patrón	% Arcilla cocida		
15%	20%			25%		
Determinar el porcentaje de arcilla cocida como agregado fino para mejorar el estructural.	Asentamiento del hormigón estructural	Slump	11,60	10,80	9,50	8,00

		Compresión Axial (kg/cm ²)			
		% Arcilla cocida			
Edad (días)	Diseño Patrón a/c=0,508	15% a/c=0,594	20% a/c=0,598	25% a/c=0,603	
7	340,33	313,50	322,70	317,10	
14	366,80	373,87	383,13	379,63	
28	423,83	438,57	449,47	460,13	
		Tracción (kg/cm ²)			
		% Arcilla cocida			
Edad (días)	Patrón a/c=0,508	15% a/c=0,594	20% a/c=0,598	25% a/c=0,603	
7	33,67	27,33	29,67	30,00	
14	36,33	30,00	31,33	32,67	
28	41,33	30,33	32,00	34,00	
		Flexión (kg/cm ²)			
		% Arcilla cocida			
Edad (días)	Patrón a/c=0,508	15% a/c=0,594	20% a/c=0,598	25% a/c=0,603	
7	36,33	32,67	33,33	34,67	
14	41,33	36,00	36,67	37,00	
28	46,00	37,00	40,67	46,67	

Determinar la relación agua/cemento para mejorar la resistencia

Resistencia del hormigón estructural

Objetivo General	Indicador	Identificación
Diseñar una mezcla con arcilla cocida como agregado fino para mejorar las propiedades físico – mecánicas del hormigón estructural	Porcentaje de arcilla cocida como agregado fino Relación a/c	Se diseñó mezclas con distintas dosificaciones de arcilla cocida molida para mejorar la resistencia mecánica del hormigón adoptando 4 tipos de mezclas, la primera es el hormigón patrón sin adición de arcilla, y las otras 3 con arcilla cocida molida (15%, 20% y 20% en relación con el volumen del agregado fino) con edades de 7, 14 y 28 días, con un diseño de hormigón $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$, que se ensayaron a compresión, flexión y tracción

Resultados del asentamiento

De los resultados del ensayo de asentamiento, a mayor adición de arcilla cocida molida (25%) se reduce el asentamiento a diferencia de las mezclas con menor adición (15% y 20%) debido a la capacidad de absorción de la arcilla que reduce el asentamiento y se ve reflejado en los resultados.

Resultados de la resistencia mecánica del hormigón

Los resultados del ensayo de compresión axial muestran que a medida que se adiciona mayor porcentaje de arcilla cocida molida (25%) aumenta la resistencia del hormigón a comparación de los menores porcentajes (15% y 20), siendo la coloración marrón de este hormigón ($f'c=317,10$ kg/cm² a $f'c=460,13$ kg/cm²). Los resultados del ensayo de tracción la arcilla cocida molida ($f'c=30,00$ kg/cm² a $f'c=34,00$ kg/cm²) a mayor proporción (25%) aumenta la resistencia del diseño con respecto a menores proporciones (15% y 20%). Los resultados de los ensayos a flexión, la arcilla cocida molida ($f'c=34,67$ kg/cm² a $f'c=46,67$ kg/cm²) a mayor proporción (25%) aumenta la resistencia de diseño con respecto a la menor proporción (15% y 20%) siendo la coloración marrón más adherente cuando es sometido a flexión.

DISCUSIONES

[Pérez \(2012\)](#), sustituye agregado natural por adiciones de arcilla cocida en proporciones (0%, 10%, 20% y 30%) con una relación a/c = 0,5, en el ensayo de asentamiento obteniendo 7,4 cm para la mezcla patrón y a medida que se le adicionaba arcilla cocida el asentamiento se reducía en 0%, 1%, 2% y 3%. Para [Ssein y Zayia \(2017\)](#), la resistencia a la flexión del hormigón con agregado de ladrillo triturado es aproximadamente el 70% del hormigón con agregado natural, esto significa que el rendimiento del hormigón producido con arcilla triturada reciclada es mejor en flexión. La mayor tasa de desarrollo de resistencia entre 28 y 90 días del hormigón que contiene arcilla reciclada molida se atribuye a la reacción puzolánica causada por el contenido de sílice y alúmina de la arcilla cocida y el producto de la hidratación del cemento (es decir, Portlandita). En la investigación realizada por [Pérez \(2012\)](#), demuestra que el hormigón reciclado puede ser utilizado como cualquier otro hormigón convencional, siempre y cuando el porcentaje de agregado triturado de ladrillo reciclado no exceda el 30% y siempre que se desee emplear hormigón elaborado con agregado triturado de ladrillo como sustituto parcial del agregado natural es necesario realizar los análisis respectivos debido a que las propiedades del ladrillo varían según la calidad y origen. [Rosas \(2018\)](#), de acuerdo a su estudio de investigación usando arcilla reciclada en reemplazo (20%,20%, 25%, 30 %, 35%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 100%), comprueba que con la incorporación del 20% al 35%, este rango podría mejorar enormemente la resistencia del hormigón.

CONCLUSIONES

Se realizó el diseño de mezcla con adiciones de arcilla cocida para el hormigón estructural, demostrando que con 25% de arcilla cocida en remplazo del agregado fino se mejora el comportamiento tanto en la resistencia axial (8,6% por encima de la muestra patrón), como en la resistencia a flexión (1,5% por encima de la muestra patrón), pero en el asentamiento del hormigón no se logra un buen comportamiento ya que este decae un 31% con respecto al hormigón patrón. Se determinaron tres porcentajes de arcilla cocida como adición en el hormigón, del cual se concluye que todas las mezclas con arcilla cocida no lograron mejorar el asentamiento porque a medida que se le adiciona mayor porcentaje de arcilla cocida, este se reduce según lo siguiente: adicionando 15% de arcilla cocida se reduce 7% y al adicionar 25% de arcilla cocida se reduce 35% con respecto al asentamiento de la mezcla al patrón.

Al determinar la relación agua/cemento efectiva adecuada para la resistencia a la compresión de $f'c=210$ kg/cm², la mezcla patrón (a/c efectiva 0,580) obtiene una resistencia de 423,83 kg/cm², y añadiéndole el 15% de arcilla cocida (a/c efectiva 0,594), 20% de adición de arcilla cocida (a/c efectiva 0,598) y 25% de arcilla cocida (a/c efectiva 0,603) se obtienen resistencias de 438,57 kg/cm², 449,47 kg/cm² y 460,13 kg/cm² respectivamente, por lo que se concluye que la mejor relación a/c efectiva fue de 0,603, ya que se obtuvo mayor resistencia a la compresión en comparación de todas las mezclas. Por otro lado, el ensayo a la tracción $f'c=210$ kg/cm², la mezcla patrón obtiene una resistencia 41,33 kg/cm² y adicionándole arcilla cocida en 15% (a/c efectivo 0,594), 20% (a/c efectivo 0,598) y 25% (a/c efectivo 0,603) se obtienen resistencias de: 30,33 kg/cm², 32,00 kg/cm² y 34,00 kg/cm² respectivamente, la mezcla patrón con a/c efectiva 0,580 fue la más adecuada por presentar mayor resistencia a la tracción. Para una resistencia de flexión de $f'c=210$ kg/cm², la mezcla patrón obtiene 46 kg/cm² y al adicionar arcilla cocida en 15% (a/c efectivo 0,594), 20% (a/c efectivo 0,598) y 25% (a/c efectivo 0,603) de arcilla cocida se obtiene resistencias de: 37,00 kg/cm², 40,67 kg/cm² y 46,67 kg/cm² respectivamente, de acuerdo con estos resultados la relación a/c efectiva 0,603 mostró mejora en la resistencia a la flexión. Se puede decir que la arcilla cocida aporta significativamente en la resistencia de compresión axial y flexión, por consiguiente, se mejora las propiedades mecánicas del hormigón estructural.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTM. 2014. C-128, Método de ensayo normalizado para determinar densidad, densidad relativa (peso específico) y la absorción de los aridos finos. EE.UU. <https://es.scribd.com/doc/225951276/ASTM-C-128>
- ASTM. 2017. Método de prueba estándar para determinación de la resistencia a la tracción por compresión diametral de especímenes cilíndricos de hormigón. EE.UU. <https://www.astm.org/Standards/C496C496M-SP.htm>
- Chavarry, C.; Chavarría, L.; Arieta, J.; Pereyra, E.; Rengifo, C. 2020. Hormigón reforzado con vidrio molido para controlar grietas y fisuras por contracción plástica. Lima, Perú: Pro Sciences. Artículo Científico. <http://journalprosciences.com/index.php/ps/article/view/230/320>
- Debied, F.; Kenai, S. 2008. The use of coarse and fine crushed bricks as aggregate in concrete. ScienceDirect. Artículo Científico. https://www.academia.edu/23710315/The_use_of_coarse_and_fine_crushed_bricks_as_aggregate_in_concrete
- Khalaf, F.; DeVenny, A. 2005. Properties of New and Recycled Clay Brick Aggregates for Use in Concrete. Journal of Materials in Civil Engineering. Artículo Científico. https://www.researchgate.net/publication/245308233_Properties_of_New_and_Recycled_Clay_Brick_Aggregates_for_Use_in_Concrete
- Pérez, A. 2012. Triturado de ladrillo reciclado como agregado grueso en la elaboración de hormigón. Artículo Científico. Colombia: Ingenium. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5038429>
- Pineda, J; Quintero, G. 2018. Evaluación de la adición de polvo de ladrillo en mezcla de cemento, para la producción de prefabricados de hormigón en la empresa reciclados industriales de Colombia. Tesis para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad de América. Colombia. <https://repository.uamerica.edu.co/>

Liliana Chavarría Reyes, Carlos Chavarry Vallejos, Andrés Valencia Gutiérrez, Enriqueta Pereyra Salardi y Christian Hurtado Iglesias

Rosas, H. 2018. Uso de ladrillo de arcilla con exceso de cocción como agregado grueso en hormigóns hidráulicos. Tesis para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad de Piura. <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/3512>

Ssein, G.; Zayia, Y. 2017. Performance of concrete made with crushed clay bricks as coarse aggregate. Artículo Científico. Journal of University of Duhok. https://www.researchgate.net/publication/319217747_performance_of_c

Recepción: 14/04/21

Aceptación: 16/08/21

Correspondencia:

Liliana Chavarría Reyes:

liliana.chavarria@urp.edu.pe