

Uso de material reciclado en la fabricación de concreto

Use of recycled material in the manufacture of concrete

¹ Jaime O. Amorós Delgado, ¹ Mauro A. Centurión Vargas y ² Marco W. Hoyos Saucedo

¹ Profesor Principal - Facultad de Ingeniería-Universidad Nacional de Cajamarca. Av. Atahualpa #1050, Cajamarca-Perú.

² Profesor Asociado – Facultad de Ingeniería-Universidad Nacional de Cajamarca. Av. Atahualpa #1050, Cajamarca-Perú.

Recibido: 14-09-18

Aceptado: 10-10-18

Resumen

El uso de material reciclado para la fabricación de concreto se está volviendo una exigencia por motivos como: el cuidado del medio ambiente y la optimización de uso de recursos en la construcción. Por ello utilizar el residuo de ladrillos en reemplazo del agregado grueso se convierte en una alternativa que permite aprovechar este material y disminuir el requerimiento de botaderos de residuos sólidos de construcción. Esta investigación, permite verificar que haciendo uso de un aditivo que puede funcionar como superplastificante o plastificante, se puede superar el problema de la trabajabilidad del concreto (problema que se presenta por el uso de material reciclado), al mismo tiempo se ha observado que la resistencia a la compresión que se obtiene con el uso de residuos de ladrillo y aditivo mantienen o mejoran su performance. Es así que utilizando el aditivo como superplastificante (proporción de 500 ml/bolsa de cemento), se obtiene una mezcla de consistencia fluida que a las veinte semanas de edad alcanza una resistencia a la compresión superior en un 3 % respecto a las probetas patrón. En el caso de utilizar el mismo aditivo como plastificante (en una cantidad de 250 ml/bolsa de cemento), se obtiene una mezcla de consistencia fluida, pero se mejora la resistencia a la compresión a las 20 semanas en un 10% respecto a la muestra patrón. Sin embargo, es necesario efectuar estudios del concreto a mayor edad, así como a otros efectos que podrían afectar el comportamiento del concreto.

Palabras Clave: *residuos de construcción, ladrillo, aditivo, material reciclado.*

Abstract

The use of recycled material for the manufacture of concrete is becoming a requirement for various reasons such as caring for the environment and optimizing the use of resources in construction. For this reason, the use of brick residues to replace the coarse aggregate becomes an alternative that makes it possible to take advantage of this material and reduce the requirement for solid construction waste dumps. This investigation allows to verify that by making use of an additive that can function as a superplasticizer or plasticizer, the problem of the workability of the concrete can be overcome (problem that is presented by the use of recycled material), at the same time it has been observed that the resistance the compression obtained with the use of brick and additive residues maintain or improve their performance. Thus, using the additive as a superplasticizer (proportion of 500 ml / bag of cement), a mixture of fluid consistency is obtained which, at twenty weeks of age, reaches a compressive strength superior by 3% with respect to the standard specimens. In the case of using the same additive as a plasticizer (in an amount of 250 ml / bag of

cement), a mixture of fluid consistency is obtained, but the compressive strength at 20 weeks is improved by 10% with respect to the shows pattern. However, it is necessary to carry out concrete studies at a later age as well as other effects that could affect the behavior of concrete.

Keywords: *construction waste, brick, concrete additive.*

Introducción

El reciclaje de materiales de construcción tiene orígenes relativamente antiguos, un claro ejemplo son los romanos quienes utilizaban residuos de construcción como: la cerámica en el llamado opus caementicium, el hormigón romano o cuando utilizaban escoria triturada de la producción de hierro para la construcción de caminos (Pellegrino y Faleschini 2016). Esta forma de utilizar el material continua con mayor énfasis en la actualidad, con el creciente interés de países desarrollados, así como de aquellos denominados países en vías de desarrollo.

La demanda de materiales de construcción ha crecido en las últimas décadas, así como también la producción de los residuos de obras de demolición y rehabilitación. Este proceso "construcción - demolición " ha puesto una enorme presión sobre los recursos naturales, especialmente de áridos naturales (AN), y ha dado lugar a altos niveles de residuos de construcción y demolición (RCD). Ambos aspectos tienen un impacto negativo en el medio ambiente. La cantidad de residuos de demolición en la Unión Europea (UE) es de aproximadamente una tonelada por habitante, y la cantidad total de RCD producido en la UE es más de 450 millones de toneladas al año, lo que lo convierte en el mayor flujo de residuos, aparte de residuos de la minería y la agricultura. Sin los RCD, los desperdicios de excavación del suelo y la construcción de carreteras, que cubre aproximadamente 180 millones de toneladas/año, el volumen de 450 millones de toneladas/año disminuye aproximadamente 270 millones de toneladas/año. De este volumen de RCD, sólo el 28% se reutiliza o se recicla y el otro 72% (130 millones de toneladas) se envía a los vertederos o incinerados. Mitigar

estas tendencias de la industria de la construcción debe ser ambiental y económicamente sostenible (Matías et al. 2013). Esto se puede notar especialmente en las áreas urbanas o en los proyectos de construcción donde se pueden reunir la demolición y la nueva obra, también donde es factible reciclar una gran cantidad de escombros en el mismo lugar de trabajo o en las cercanías. (Bedoya 2003).

El ladrillo uno de los materiales que ocupa un lugar importante como material de construcción, con la consiguiente generación de desperdicios en un alto porcentaje es necesario buscar dar a los desperdicios generados un uso adecuado. En el Perú, de acuerdo a Galarza (2011), el porcentaje de desperdicios de ladrillo utilizados en las construcciones investigadas alcanza un ocho por ciento, los cuales son resultado de residuos del proceso (corte de las unidades), negligencia (rotura de unidades, eliminación por desorden, pedidos en exceso), o por usos provisionales (usos inadecuados, soportes, bancos, etc.), lo cual incrementa el costo de las construcciones.

Materiales y método

Para la presente investigación, se ha diseñado el experimento considerando lo siguiente: los ensayos de compresión, tres repeticiones para cada grupo de trabajo elaborado y además se ha considerado el reemplazo del 30 % del agregado grueso por agregado de ladrillo reciclado. Las probetas se han sometido a pruebas de compresión, considerando edades de: una, cuatro, doce y veinte semanas. Se ha utilizado aditivo superplastificante (Sika 290 N), en proporción de 250 y 500 ml por bolsa de cemento con una relación agua cemento de 0.65.

El cemento utilizado es Portland Tipo I de la marca Pacasmayo, los agregados grueso y fino han sido obtenidos de la cantera del Roca Fuerte del río Chonta, ubicada en los Baños del Inca (Cajamarca-Perú). Las pruebas han sido realizadas en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Nacional de Cajamarca, para las pruebas de compresión se ha utilizado la Máquina Universal de 200 Tn de capacidad.

En primer lugar, se ha efectuado el análisis granulométrico, siguiendo lo establecido en la NTP 400.037, ASTM C 136, así como se ha determinado las propiedades físicas correspondientes. Luego se ha procedido a efectuar el diseño de mezclas, elaborándose 24 probetas con 30% de agregado reciclado en reemplazo de agregado grueso, de las cuales 12 tienen 250 ml/bolsa de aditivo superplastificante y las otras 12 con 500 ml/bolsa, los 12 restantes corresponden a la muestra patrón.

Para el ensayo de trabajabilidad, se ha utilizado el concreto elaborado para fabricar las probetas y del cual se ha tomado la cantidad necesaria para efectuar el ensayo, utilizando el cono de

Abrams de acuerdo a la NTP 339.035 ASTM C143

Resultados y discusión

Con los datos obtenidos de los ensayos de granulometría de los agregados utilizados, se ha elaborado la curva de mezcla de agregados, obteniéndose los resultados mostrados en la figura 1, con lo cual utilizando el método de Faury se ha efectuado el diseño de mezclas para las condiciones indicadas anteriormente, considerando 300 kg de cemento por m³ de concreto. Al momento de la fabricación de las probetas se ha procedido a efectuar el ensayo de trabajabilidad correspondiente, obteniéndose un asentamiento de 8 pulg. para el grupo con 500 ml/bolsa de aditivo, 4 pulg. para el grupo con 250 ml/bolsa de cemento y 2 pulg. para la muestra patrón. Lo que representa 400 % de incremento en el asentamiento para el caso de usar 500 ml/bolsa y de 200 % para el uso de 250 ml/bolsa. Se puede observar que a mayor cantidad de aditivo superplastificante se tiene mayor asentamiento, lo que equivale mayor trabajabilidad del concreto.

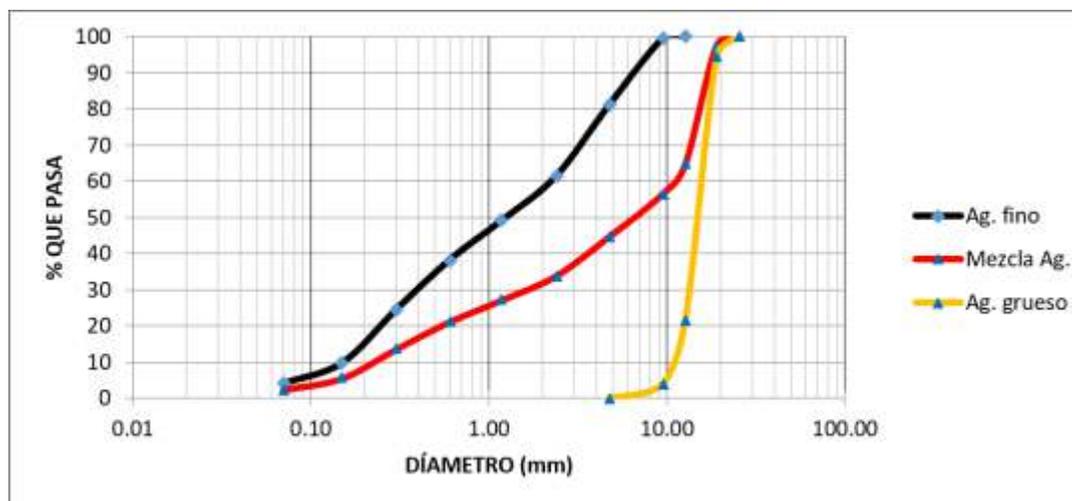


Figura 1. Curva granulométrica de combinación de agregados (Método de Faury).

Los Ensayos a compresión.

Presentamos resultados de los tres grupos ensayados.

Tabla 1. Resultados ensayos a compresión por grupo

| Grupo sin aditivo ni agregado reciclado | | | | | | | | | |
|---|----------------------|----------------|--------------------------------|---------------|--------------------------------|-------------|--------------------------------|---------------|--------------------------------|
| Ensayo N° | Área cm ² | primera semana | | cuarta semana | | semana doce | | semana veinte | |
| | | Carga 1 kg | Resistencia kg/cm ² | Carga 2 kg | Resistencia kg/cm ² | Carga 3 kg | Resistencia kg/cm ² | Carga 4 kg | Resistencia kg/cm ² |
| Repet. 1 | 181.45 | 27500 | 151.56 | 41500 | 228.71 | 53000 | 292.09 | 54000 | 297.60 |
| 2 | 181.45 | 24500 | 135.02 | 40500 | 223.20 | 52000 | 286.58 | 53500 | 294.85 |
| 3 | 181.45 | 25000 | 137.78 | 47500 | 261.78 | 51000 | 281.07 | 52500 | 289.34 |
| Promedio | | | 141.45 | | 237.90 | | 286.58 | | 293.93 |
| Grupo aditivo 500 ml/bolsa cemento, 30 % de agregado reciclado reemplazo de agregado grueso | | | | | | | | | |
| 1 | 181,45 | 20000 | 110,22 | 40000 | 220,45 | 53000 | 292,09 | 56500 | 311,38 |
| 2 | 181,45 | 18000 | 99,20 | 41000 | 225,96 | 52000 | 286,58 | 54000 | 297,60 |
| 3 | 181,45 | 19000 | 104,71 | 43000 | 236,98 | 51500 | 283,82 | 55000 | 303,11 |
| Promedio | | | 104,71 | | 227,79 | | 288,42 | | 304,03 |
| Grupo aditivo 250 ml/bolsa cemento, 30 % de agregado reciclado reemplazo de agregado grueso | | | | | | | | | |
| 1 | 181,45 | 22000 | 121,25 | 45000 | 248,00 | 54000 | 297,60 | 57500 | 316,89 |
| 2 | 181,45 | 21000 | 115,73 | 45000 | 248,00 | 51000 | 281,07 | 58500 | 322,40 |
| 3 | 181,45 | 21500 | 118,49 | 46500 | 256,27 | 53000 | 292,09 | 60500 | 333,43 |
| Promedio | | | 118,49 | | 250,76 | | 290,25 | | 324,24 |

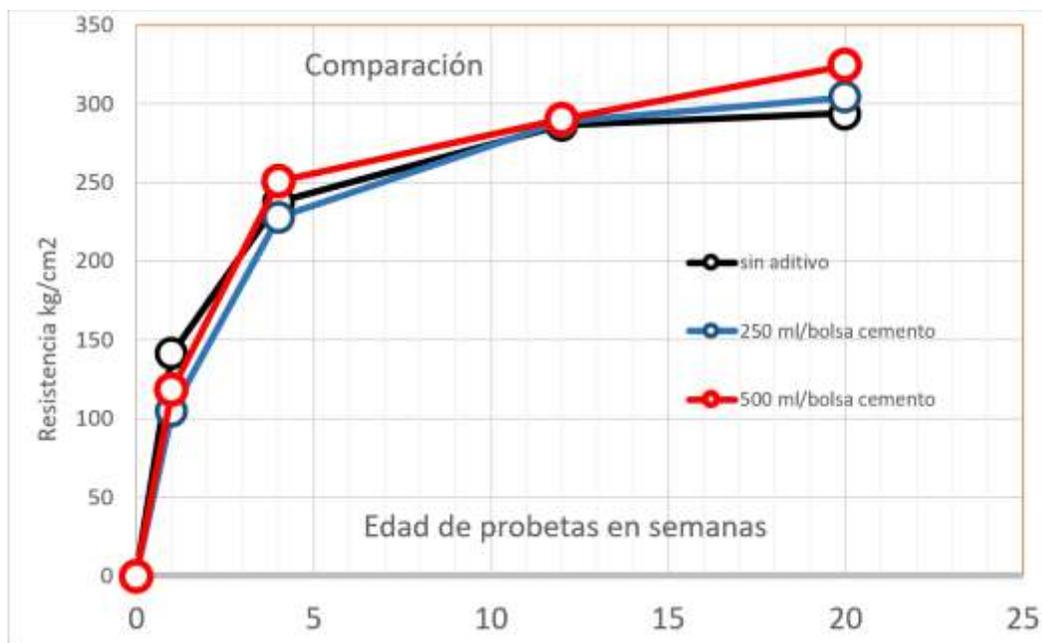


Figura 2. Comparación de los resultados de los grupos estudiados.

Tabla 2. Comparación de resultados de resistencia a la compresión en relación a la muestra patrón

| Edad semanas | Grupo 0 | | Grupo 1 | | Grupo 2 | |
|-----------------|--------------------|--------------------------|--------------------|--------------------------|--------------------|--------------------------|
| | kg/cm ² | % respecto grupo 0 | kg/cm ² | % respecto grupo 0 | kg/cm ² | % respecto grupo 0 |
| 0 | 0 | | 0.00 | | 0 | |
| 1 | 141.45 | 100 | 104.71 | 74 | 118.49 | 84 |
| 4 | 237.90 | 100 | 227.79 | 96 | 250.76 | 105 |
| 12 | 286.58 | 100 | 288.42 | 101 | 290.25 | 101 |
| 20 | 293.93 | 100 | 304.03 | 103 | 324.24 | 110 |

**Figura 3.** Ensayo de Cono de Abrams (izquierda), probeta sometida al ensayo de compresión axial (derecha).

Se puede observar que en las probetas en las cuales se ha utilizado aditivo 250 ml/kg de cemento (como plastificante) la resistencia a la compresión a las veinte semanas se ha incrementado en 10%, y en el caso del uso de 500 ml/bolsa de cemento (como superplastificante) el incremento ha sido del 3% no existiendo una variación significativa.

Sin embargo, se puede observar que a edades menores (una semana) es la muestra patrón la que arroja mejores resultados, no teniendo diferencia importante a las cuatro, ocho y doce semanas de edad de las probetas. De los datos obtenidos se puede observar lo siguiente:

a. Trabajabilidad del concreto

Tal como lo indican Pellegrino y Faleschini

(2016), en lo que respecta a los posibles problemas de trabajabilidad, la sustitución de NA por RA generalmente confiere una mayor rigidez al concreto, como lo confirman los bajos valores de asentamiento que a menudo se reportan en la literatura al probar las propiedades frescas de los hormigones reciclados. Precisamente por esta razón se ha procedido a utilizar el aditivo superplastificante, con lo que se ha podido observar que el grupo patrón (grupo N° 0), sin aditivo ni agregado reciclado se obtiene una mezcla plástica, la cual para una adecuado compactado requiere el uso de vibrador; sin embargo, cuando se ha utilizado 500 ml de aditivo por bolsa de cemento, se obtuvo un asentamiento de 8 pulgadas, que corresponde a una consistencia líquida, lo que indica una alta trabajabilidad. Los resultados obtenidos concuerdan con lo referido en las indicaciones de un superplastificante. En el caso del grupo N° 2, en el cual se ha utilizado 250 ml de aditivo por bolsa de cemento, se obtuvo un asentamiento de 4 pulgadas, que corresponde a una consistencia fluida e indica una trabajabilidad adecuada. Estos resultados concuerdan con lo referido en las indicaciones de un plastificante.

b. Resistencia a la compresión

Los resultados de los ensayos a compresión no reflejan variaciones importantes, pero se puede observar que en edad temprana se obtiene mejores resultados en las probetas que no se ha incluido ni aditivo ni material reciclado; en cambio en edades mayores se observa que las mezclas en las que se ha utilizado aditivo en mayor cantidad (500 ml/bolsa de cemento) obtiene una ligera resistencia sobre los otros grupos.

De los resultados y comparando con otras investigaciones se puede observar que si el uso del material reciclado es reemplazando por agregado grueso baja la trabajabilidad del concreto, por lo que el uso de aditivo plastificante o superplastificante mejora sustancialmente la trabajabilidad del concreto resultante, pero a la principal dificultad que se

tiene por ser material reciclado y tal como lo indican Raos et al. (2007), la aceptabilidad del material reciclado se ve obstaculizada debido a una mala imagen asociada con la actividad de reciclaje y la falta de confianza en un producto acabado hecho de material reciclado. El costo de disposición de los desechos de la industria de la construcción al vertedero tiene una influencia directa en las operaciones de reciclaje. Los bajos costos del dumping en los países en desarrollo también constituyen un obstáculo para las actividades de reciclaje. La imposición de carga en el relleno sanitario puede inducir a los constructores y propietarios a desviar los residuos para su reciclaje. Algunas de estas cuestiones actúan como barreras en la promoción de un uso más generalizado de agregados reciclados y de hormigón con agregados reciclados. En Cajamarca, Chávez y Seminario (2006), concluyen que el agregado grueso cumplió con las características necesarias para el diseño, mientras que para el agregado fino se presentaron ciertas dificultades debido al alto porcentaje de finos. Además, al utilizar los aditivos Euco 37, Euco Wr-91 Y Polyheed RI se logró una trabajabilidad y consistencia óptima, lográndose realizar mezclas de concreto óptimo para $f_c' = 210$ kg/cm², con bajos costos.

De igual manera de acuerdo con De Brito y Nabajyoti (2013), el comportamiento de resistencia a la compresión del hormigón con agregados cerámicos depende de las propiedades de estos agregados. En varios estudios, se observó que la incorporación de agregados cerámicos en hormigón aumentó la resistencia a la compresión. Esto es particularmente cierto para los agregados cerámicos con baja capacidad de absorción de agua, como los agregados hechos de residuos de cerámica esmaltada. Por otra parte, el hormigón con agregados cerámicos con una capacidad de absorción de agua muy alta, como los agregados generados a partir de cerámica de tipo ladrillo, mostró una menor resistencia a la compresión que el hormigón convencional.

En el caso del estudio realizado se ha podido observar que la resistencia a la compresión de la muestra con material reciclado obtiene valores bastante cercanos a los que se tienen con el uso de material virgen. Al usar 500 ml/bolsa de cemento se ha obtenido a las veinte semanas una resistencia superior en 10 % a la obtenida con material virgen, mientras que cuando se ha utilizado 250 ml/bolsa de cemento se ha obtenido un incremento de 3% en el mismo periodo de tiempo.

Conclusiones

1. Cuando el aditivo es utilizado como superplastificante (aditivo 500 ml/bolsa de cemento), se obtiene una mezcla de una consistencia líquida, con una resistencia a la compresión 3% a la muestra patrón; obteniéndose para el aditivo utilizado como plastificante (aditivo 250 ml/bolsa de cemento) una mezcla fluida, pero como un incremento de 10 % de la resistencia a la compresión. Esto nos permite observar que el uso del ladrillo reciclado como agregado para la fabricación de concreto tiene buenas posibilidades que debieran ser tomadas en cuenta en beneficio del medio ambiente, sin embargo, se requiere mayor tiempo de evaluación para conocer el comportamiento del concreto en relación a la edad de las probetas.

Referencias Bibliográficas.

Chávez, M., Seminario, F., (2006), Estudio del concreto empleando agregados de la cantera Sangal (carretera Cajamarca - Combayo) y cantera km 14+00 (carretera Cajamarca - Chilete) para concreto $f_c=210$ kg/cm² utilizando aditivos EUCO 37, EUCO WR – 91 y POLYHEED RI”, Tesis - Universidad Nacional de Cajamarca.

Bedoya, Carlos, 2003, el concreto reciclado con escombros como generador de

hábitats urbanos sostenibles. Tesis Universidad Nacional de Colombia.

De Brito Jorge y Nabajyoti Saikia, (2013), *Recycle Aggregate in Concrete*, Editorial Springer.

Galarza, Marco, (2011) *Desperdicio de materiales en obras de construcción civil: métodos de medición y control*. Tesis PUCP.

Matias, D., de Brito, J., Rosa, A., Pedro, D., (2013), *Mechanical properties of concrete produced with recycled coarse aggregates – Influence of the use of superplasticizers*, *Construction and Building Materials*, 44, 101-109, <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.03.011>

Pellegrino Carlo, Faleschini Flora, (2016), *Sustainability Improvements in the Concrete Industry*, DOI 10.1007/978-3-319-28540-5

Poon, C.S., Shui, Z.H., Lam, L., Fok, H., Kou, S.C., 2004. *Influence of moisture states of natural and recycled aggregates on the slump and compressive strength of concrete*. *Cem. Concr. Res.* 34, 31–36.

[http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846\(03\)00186-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00186-8).

Raos Akash, Jha Kumar N., Misra Sudhir, 2007, *Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete*, *Resourcesconservation & recycling*, 50, 71 - 81, doi:10.1016/j.resconrec.2006.05.010.

Sika, 2012, *Sika Informaciones Técnicas Aditivos para Concreto - Una visión actual*.