



Revista Politécnica

ISSN: 1900-2351

ISSN: 2256-5353

rpolitecnica@elpoli.edu.co

Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid
Colombia

Mimbela Orderique, Felipe; Muñoz Perez, Sócrates; Rodríguez Lafitte, Ernesto
USO DE LADRILLOS TRITURADOS EN CONCRETO: UNA REVISIÓN LITERARIA
Revista Politécnica, vol. 17, núm. 34, 2021, Julio-Diciembre, pp. 82-100
Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid
Medellín, Colombia

DOI: <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v17n34a6>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=607869210006>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en [redalyc.org](https://www.redalyc.org)

[redalyc.org](https://www.redalyc.org)

Sistema de Información Científica Redalyc

Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto



USO DE LADRILLOS TRITURADOS EN CONCRETO: UNA REVISIÓN LITERARIA

Felipe Mimbela Orderique ¹, Sócrates Muñoz Perez ², Ernesto Rodríguez Lafitte ³.

¹Estudiante de Ingeniería Civil. Universidad Señor de Sipán, Kilometro 5 carretera a Pimentel, Perú. Correo correspondiente: morderiqueluisf@crece.uss.edu.pe

²Doctor en Gestion Publica y Gobernabilidad, Ingeniero Civil. Universidad Señor de Sipán, Kilometro 5 carretera a Pimentel, Perú. Correo correspondiente: msocrates@crece.uss.edu.pe

³Doctor en Gestion Publica y Gobernabilidad, Ingeniero Agrónomo. Universidad Señor de Sipán, Kilometro 5 carretera a Pimentel, Perú. Correo correspondiente: rlafitte@crece.uss.edu.pe

RESUMEN

El ladrillo proveniente de demoliciones se pueden llegar a reutilizar como agregado reciclado en la elaboración de concretos, ayudando con el cuidado al medio ambiente ya que reduce el uso de materias primas. El presente trabajo tiene como objetivo lograr una revisión sistemática sobre el uso de ladrillos triturados en el concreto, con el fin de sintetizar los resultados obtenidos y discutir la posibilidad de poder utilizar en las diferentes áreas de la construcción este material reciclado. Se hizo una revisión de 51 artículos indexados entre los años 2015 al 2021, distribuido de la siguiente manera: 41 artículos son de Scopus y 10 de Sciencedirect, los cuales muestran cómo influye el ladrillo triturado en las propiedades del concreto. Las revisiones de los resultados constataron que los agregados de ladrillos reciclados (RBA) generan una deficiencia en resistencia a la compresión y una mayor porosidad a diferencia del agregado natural (NA).

Palabras Clave: Ladrillos triturados, agregado reciclado, medio ambiente, concreto.

Recibido: 21 de junio de 2021. Aceptado: 02 de agosto de 2021

Received: June 21, 2021. Accepted: August 02, 2021

DOI: <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v17n34a6>

USE OF CRUSHED BRICKS IN CONCRETE: A LITERATURE REVIEW

ABSTRACT

Brick from demolitions can be reused as recycled aggregate in the elaboration of concrete, helping to care for the environment by reducing the use of raw materials. The present work aims to achieve a systematic review on the use of crushed bricks in concrete, in order to synthesize the results obtained and discuss the possibility of using this recycled material in different areas of construction. A review of 51 articles indexed between the years 2015 to 2021 was made, distributed as follows: 41 articles are from Scopus and 10 from Sciencedirect, which show how crushed brick influences the properties of concrete. The reviews of the results found that recycled brick aggregates (RBA) generate a deficiency in compressive strength and higher porosity as opposed to natural aggregate (NA).

Keywords: Crushed bricks, recycled aggregate, environment, concrete.

Cómo citar este artículo: F. Mimbela, S. Muñoz, E. Rodríguez. "Uso de ladrillos triturados en concreto. Una revisión literaria", Revista Politécnica, vol.17, no.34 pp.82-100, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v17n34a6>

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos 100 años se ha producido un crecimiento masivo de la población y con la llegada de la rápida industrialización y urbanización de países en desarrollo, se observado un aumento exponencial en la utilización los recursos naturales [1]. En la actualidad se ha incrementado la necesidad de poner en practica mejoras qué ayuden a reducir el impacto medioambiental del proceso de fabricación de concretos y sus componentes [2], debido al rápido desarrollo en las construcciones de concreto estructural, dando como resultado un alto consumo de grava como árido grueso en los trabajos de concreto [3].

En las ciudades alrededor del mundo, son generados cerca de 1.300 millones de toneladas de residuos sólidos al año, que representan aproximadamente la mitad de todos los materiales, por lo que el uso de materiales de desecho de la construcción como agregado para desarrollar un nuevo producto de concreto es técnicamente viable y en algunas circunstancias, puede ser beneficioso ya que al reutilizar y sustituir los agregados naturales se puede garantizar la sostenibilidad medioambiental [4].

Hoy en día el sector de la construcción realiza en varias ocasiones obras de construcción sin tener en cuenta el daño que causan al ambiente, debido a una extracción abusiva en las canteras de agregados naturales los cuales son necesarios en la elaboración del concreto. Esta industria llega a consumir el 50% de todas las materias primas extraídas de las canteras [5]. Por lo que se opta por usar agregados reciclados en lugar de agregados naturales para poder preparar el concreto, lo cual es un proceso que puede llegar favorecer la protección del entorno natural generando enormes aportes en lo económicos y social [6].

Estos agregados de concreto reciclado utilizados en la construcción, reduciendo el problema de la contaminación medioambiental y la escasez como es la huella ecológica [7]. Según una estimación, la gran cantidad de residuos de construcción y demolición (RCD) generados por América del Norte anualmente es de unos 175 millones de toneladas y sólo Canadá produce 9 millones de toneladas al año.

Además, la tasa de reciclaje de residuos de C&D en Canadá es del 30%, lo que es muy bajo comparado con otros países desarrollados como los Países Bajos (98%) y Taiwán (91%) [8]. Se calcula que los (RCD) constituyen 10-30% de todos los residuos que entran en los vertederos de Estados Unidos; de esos residuos la fuente dominante en peso es el asfalto, el ladrillo y el concreto [8], estos residuos de la construcción no llegarán a ninguna parte en un tiempo determinado si se tratan de esta manera a largo plazo, ya que durante el transporte estos producen polvo que vuelan y otros problemas, que provocan inconvenientes a la vida de las personas y la contaminación al medio ambiente [9].

Hay una gran necesidad de desarrollar procesos de reciclaje adecuados para proteger el medio ambiente, así como para obtener beneficios económicos de los residuos [10]. Estos ladrillos rotos de las obras de construcción pueden reutilizarse como agregado reduciendo significativamente el problema de su eliminación y al mismo tiempo ayudar a mantener los recursos naturales totales de agregados [11].

Aunque se han reciclado en muchos países industrializados los (RCD), al día de hoy son varios los países que se encuentran en vías de desarrollo por lo que esta aplicación es muy limitada, y para evitar generar un elevado consumo de las materias primas en la construcción de viviendas rurales y urbanas, son muchas las aplicaciones de reciclaje que son posibles para las diferentes partes de los materiales de los (RCD) triturados ya que estos residuos son perjudiciales para el medio ambiente, por lo que es necesario el fomentar los esfuerzos de reciclaje de dicho material.

Los ladrillos pueden reciclarse en el proceso de fabricación de ladrillos, pero también tienen potencial en forma triturada para ser utilizados como sustituto de agregados de concreto [12], dependiendo de la fuente y del proceso de trituración de los de los residuos de arcilla, la microestructura de los agregados de los ladrillos de arcilla porosa y su absorción de agua influyen notablemente en la durabilidad las propiedades mecánicas y la trabajabilidad del concreto resultante [13].



En un estudio realizado por Lennon [9], se mostró el gasto que puede llegar el generar una tonelada de concreto, ladrillo y bloque llegando a un aproximado de 21 dólares/tonelada, a diferencia del gasto que se aprecia en el vertido de una tonelada de los mismos materiales los cuales generarían un gasto de aproximadamente 136 dólares/tonelada. Dado que los agregados naturales se vuelven cada vez más costosos en algunos mercados, por lo que se llega a optar el utilizar agregados reciclados, usando en particular el ladrillo triturado para varias aplicaciones del concreto [9].

Estudios anteriores han demostrado que los residuos de ladrillos y concreto pueden constituir hasta el 75% de (RCD) de una obra construcción. Al reciclar cualquiera de estos componentes, un proyecto de demolición contribuiría en gran medida a reducir la gran variedad de residuos que llegan a parar en los vertederos [14], con el fin de poder reducir el impacto medioambiental, y los costos que estos generan por el uso de agregados, evitando la explotación innecesaria de canteras [15].

Este residuo es muy importante a la hora de ser reciclado, ya que, comparándolo con otros tipos de residuos inertes, nos permite utilizarlo como un agregado reciclado, lo cual es una materia ampliamente manejada en la industria de la construcción.

Por otro lado, también se toma en cuenta que para obtener los agregados naturales la explotación de varias canteras de agregados para concreto, la cual no es una actividad que sea controlada y no se tiene en cuenta que estos materiales son no renovables. Lo que hace que se busquen varias alternativas para usar el material desechado y el saber aprovechar estos residuos nos puede llevar a un aspecto muy importante a nivel mundial, ya que representa un beneficio económico además de poder conservar los recursos naturales.

El agregado de ladrillo triturado se ha encontrado como un ingrediente de bajo costo para reducir el agotamiento del árido natural y el peso del concreto. [16]. Los estudios realizados hasta la fecha en este campo demuestran que el (RBA) puede ser sustitutos de los agregados naturales en concretos de baja y media resistencia [17], debido a su alta disponibilidad en las obras de demolición y construcción [18]. La conclusión que han llegado varios investigadores, es que los agregados naturales pueden ser alterados por ladrillos triturados o piedras trituradas sin cambio significativo en la durabilidad del concreto. Además, de mejorar el rendimiento del concreto mediante la zona de transición interfacial, que es la región débil del concreto [19].

El reutilizar dichos residuos de construcción y demolición, especialmente los ladrillos de arcilla triturados, ya contribuye al medio ambiente. Debido a que pueden considerarse como fuente de agregados finos y gruesos para producir concreto estructural ligero, las cuales son aprovechadas en las diversas aplicaciones. Debido que tiene estos concretos cuentan con menor peso y ayudan a reducir la carga muerta de la estructura, llegando a ser utilizados en edificaciones construidas en zonas sísmicas [20].

Las propiedades del producto final de concreto dependen de muchos factores, como las propiedades de los agregados reciclados, como la densidad, la absorción de agua, el contenido de mortero antiguo, la relación agua-cemento, el tipo de técnicas de mezcla de cemento y si la sustitución se realiza en el contenido de agregados gruesos, en el contenido de agregados finos, o en ambos, etc. [21].

Adicionalmente, el tratar con los residuos de la construcción, los ladrillos de arcilla triturados causan dificultades operativas que resultan en un aumento de los costos [15], sin embargo, lo que más influye en las propiedades del concreto con cerámica son las propiedades químicas que genera la propia cerámica, ya que tiene una mayor absorción de agua [22].

El objetivo en este artículo es revisar las investigaciones más recientes de varios documentos sobre la utilización de agregados del ladrillo triturado, como un reemplazo total o parcial del agregado de origen natural en las propiedades del concreto, proporcionando una síntesis de resultados obtenidos por varios autores, dando la posibilidad de establecer el uso, que tiene dicho material para lograr la resistencia de diseño. Además, los resultados de esta revisión se analizarán, ya que nos pueden proporcionar nuevos conocimientos e información sobre las aplicaciones de dicho material en el concreto.



2. METODOLOGÍA

Para llevar a cabo este trabajo de investigación se realizó una comparación sobre los diferentes estudios que genera el usar ladrillo de arcilla triturado en el concreto, con la finalidad de poder utilizar a futuro en la industria de la construcción dicho material. Para su desarrollo, se emplearon 50 artículos indexados durante los años 2015 al 2021, en las diferentes bases de datos en el idioma inglés.

Para un mayor detalle en la Tabla 1, se muestra los años de publicación de los artículos según su base de datos

Tabla 1. Artículos distribuidos según el año de su publicación.

| BASE DE DATOS | AÑO DE PUBLICACIÓN | | | | | | | TOTAL |
|---------------|--------------------|------|------|------|------|------|------|-------|
| | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | |
| SCOPUS | 2 | 3 | 4 | 3 | 13 | 11 | 5 | 41 |
| SCIENCEDIRECT | --- | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 10 |
| TOTAL | 2 | 5 | 7 | 4 | 14 | 12 | 6 | 51 |

En la base de datos de Scopus, se realizó la búsqueda con las palabras claves: (Concrete with crushed brick aggregate), arrojándonos como resultado 163 artículos a todo acceso abierto, y luego de pasar por un filtro nos dio 137 artículos, seleccionando solamente 11 artículos.

Con la palabra clave: (Crushed brick as coarse aggregate in concrete), nos da 46 artículos a todo acceso abierto, luego de pasar por un filtro nos dio 46 artículos, seleccionando solo 3 artículos. Con la palabra clave: (Recycled brick in concrete aggregate), 281 artículos a todo acceso abierto, y luego de pasar por un filtro nos dio 213 artículos, seleccionando solo 4 artículos. Con la palabra clave: (Recycled brick as aggregate) 273 artículos a todo acceso abierto, y luego de pasar por un filtro nos dio 273 artículos, seleccionando solo 16 artículos. Con las palabra clave: (Recycled aggregate concrete), 4803 artículos a todo acceso abierto, y luego de pasar por un filtro nos dio 4803 artículos, seleccionando solo 6 artículos y con las palabra clave: (Crushed bricks into lightweight concrete), 38 artículos a todo acceso abierto, y luego de pasar por un filtro nos dio 7 artículos, seleccionando solo 1 artículo.

En la base de datos Sciencedirect, se realizó la búsqueda con las palabras claves: (Recycled brick in concrete aggregate), 2923 artículos a todo acceso abierto y después de pasarlo por un filtro nos arrojó 2923 artículos, seleccionando solo 3 artículos.

Con la palabra clave: ("Recycled Construction Debris as Concrete Aggregate"), 2 artículos a todo acceso abierto y después de pasarlo por un filtro nos arrojó 1 artículo, el cual se seleccionó. Con la palabra clave: ("concrete made from recycled concrete"), 354 artículos a todo acceso abierto, luego de pasar por un filtro nos dio 16 artículos, seleccionando solo 1 artículo. Con la palabra clave: ("Data on optimum recycle aggregate") 1 artículo a todo acceso abierto y después de pasarlo por un filtro nos arrojó 1 artículo, el cual se seleccionó. Con la palabra clave: ("Environmental impact assessment of cement"), 5 artículos a todo acceso abierto, y luego de pasar por un filtro nos dio 3 artículos, seleccionando solo 1 artículo y con la palabra clave: (Recycled aggregate in construction), 19186 artículos a todo acceso abierto y después de pasarlo por un filtro nos arrojó 3414 artículos, seleccionando solo 3 artículos.

De los resultados obtenidos mediante filtración en todo el proceso de búsqueda, se fueron excluyendo algunos artículos encontrados, ya que nos mostraban muchas investigaciones, las cuales algunas no



guardaban relación con el tema de investigación. Por lo que la estrategia de selección a seguir fue la de similitud y confiabilidad del tema a investigar.

La búsqueda de información se concluyó el día 14 de junio del 2021. Para un mayor detalle sobre el proceso de búsqueda revisar la Tabla 2.

Tabla 2. Artículos distribuidos según palabras claves y filtros.

| BASE DE DATOS | AÑO DE BÚSQUEDA | PALABRA CLAVE | DOCUMENTO RESULTANTE SIN FILTRO | FILTRO DE BÚSQUEDA | DOCUMENTO RESULTANTE CON FILTRO | DOCUMENTO QUE SE SELECCIONA |
|---------------|-----------------|--|---------------------------------|--|---------------------------------|-----------------------------|
| SCOPUS | 2015 -2021 | CONCRETE WITH CRUSHED BRICK AGGREGATE | 163 | (ENGINEERING) | 137 | 11 |
| | | CRUSHED BRICK AS COARSE AGGREGATE IN CONCRETE | 46 | ---- | 46 | 3 |
| | | RECYCLED BRICK IN CONCRETE AGGREGATE | 281 | (ENGINEERING) | 213 | 4 |
| | | RECYCLED BRICK AS AGGREGATE | 273 | ---- | 273 | 16 |
| | | RECYCLED AGGREGATE CONCRETE | 4803 | ---- | 4803 | 6 |
| | | CRUSHED BRICKS INTO LIGHTWEIGHT CONCRETE | 38 | (IOP CONFERENCE SERIES MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING, CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS) | 7 | 1 |
| SCIENCEDIRECT | 2015 -2021 | RECYCLED BRICK IN CONCRETE AGGREGATE | 2923 | ---- | 2923 | 3 |
| | | "RECYCLED CONSTRUCTION DEBRIS AS CONCRETE AGGREGATE" | 2 | (PROCEA ENGINEERING) | 1 | 1 |
| | | "CONCRETE MADE FROM RECYCLED CONCRETE" | 354 | (JOURNAL OF BUILDING ENGINEERING) | 16 | 1 |
| | | "DATA ON OPTIMUM RECYCLE AGGREGATE" | 1 | --- | 1 | 1 |
| | | "ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT OF CEMENT" | 4 | (JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION) | 2 | 1 |
| | | RECYCLED AGGREGATE IN CONSTRUCTION | 19186 | (CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS), (INGENIERÍA) | 3414 | 3 |

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN



En este artículo se realizará una comparación de los diferentes estudios realizados por investigadores, ante la sustitución del (NA) por el (RBA), con el fin de determinar si este material es viable en el campo de la construcción.

3.1. Uso de ladrillos de arcilla triturados en el concreto.

El Clay Brick Powder (CBP) puede considerarse un relleno prometedor que reduce el efecto del mayor fenómeno de contracción, que probablemente se produce por un mayor refinamiento de los poros debido al desarrollo de la actividad puzolánica del CBP [23].

Estos residuos pueden reciclarse y reutilizarse en la producción de nuevos concretos para nuevos proyectos [24], ya que es uno de los métodos eficaces para reducir los efectos medioambientales [25].

Se suelen preparar agregados reciclados mediante un proceso de trituración, clasificación y limpieza [26]. Con el fin de comparar las diferentes propiedades de las partículas gruesas de los agregados reciclados con las propiedades del agregado grueso natural [27].

Debido a que las diferentes investigaciones recomiendan utilizar a diferencia de otros materiales el ladrillo de arcilla triturado, ya que este tiene el potencial de aumentar sus propiedades mecánicas, diferentes autores se proponen a realizar una serie de ensayos [28], para verificar los efectos que dicho material ocasiona.

Segun Cai et al. [29], en la Tabla 3, pudieron comprobar una disminución tanto en la resistencia a la compresión como a la flexión, debido a un aumento de la sustitución. La disminución de la resistencia a la compresión fue del mismo nivel cuando el porcentaje de sustitución era del 25% y del 50%, y luego seguía bajando cuando el porcentaje de sustitución era superior al 75%, pero la resistencia a la flexión disminuyó constantemente cuando el porcentaje de sustitución de los agregados gruesos aumento.

La causa se debía a la forma angular de las partículas de ladrillo que surge durante la trituración [30].

Tabla 3. Propiedades mecánicas del concreto con reemplazos de agregado de ladrillo triturado.

| W/C | REPLACEMENT PERCENTAGE (%) | COMPRESSIVE STRENGTH (MPa) | FLEXURAL STRENGTH (MPa) |
|------|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| 0,35 | 0 | 51,8 | 7,1 |
| | 25 | 42,3 | 5,7 |
| | 50 | 41,5 | 4,8 |
| | 75 | 35,2 | 4,5 |
| | 100 | 32,3 | 4,3 |
| 0,47 | 0 | 48,3 | 5,3 |
| | 25 | 33,2 | 4,8 |
| | 50 | 31,2 | 4,4 |
| | 75 | 26,8 | 4,0 |
| | 100 | 24,3 | 3,6 |

3.2. Propiedades físicas del (RBA)

Los elementos estructurales de concreto de desecho son simplemente triturados para convertirlos en agregado grueso reciclado (RCA) también puede hacerse empleando métodos como el calentamiento y el frotamiento, el método de rotación del eje excéntrico y método de trituración mecánica [21]. Los ladrillos

rotos obtenidos durante la demolición de estructuras de mampostería se trituran en trozos cuadrados y se añaden como agregados gruesos [31].

Se sabe que el tener una buena gradación de los agregados puede llegar a influir en gran medida en el concreto mesclado mejorando su rendimiento, por lo que se opta a distribuir cuidadosamente las distribuciones granulométricas del RCA y del RBA en diferentes tamices de varios tamaños, eliminando aquellas partículas tanto grandes como pequeñas. Choacan et al. [32], en la Fig. 1, una comparación de las distribuciones granulométricas del RCA, RBA y NCA luego de una clasificación, e indica sus propiedades físicas en la Tabla 4, respectivamente.

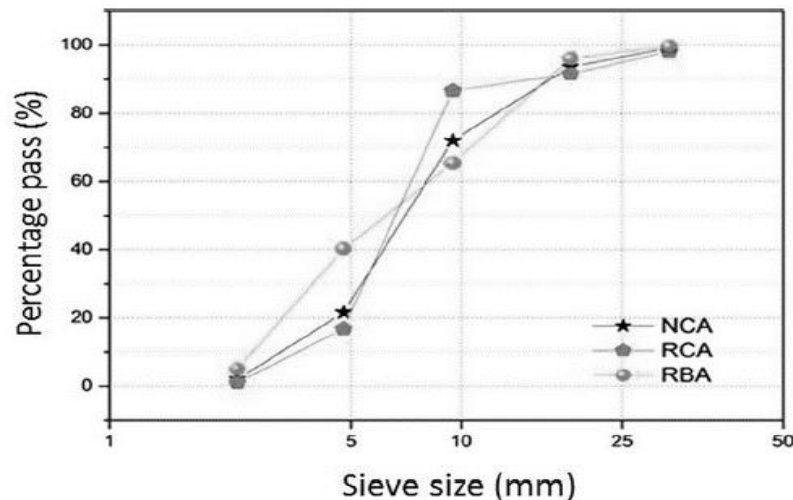


Fig. 1. Comparación de partículas de NCA, RCA y RBA mediante su distribución por tamaño. (Fuente: Choacan et al. [32]).

Tabla 4. Propiedades físicas de NCA, RCA, y RBA.

| TYPE OF AGGREGATE | SPECIFIC GRAVITY | BULK DENSITY (KG/M ³) | LOOSE POROSITY (%) | WATER ABSORPTION (%) |
|-------------------|------------------|-----------------------------------|--------------------|----------------------|
| NCA | 2.687 | 1470 | 45.3 | 1.2 |
| RCA | 2.214 | 1103 | 50.2 | 2.7 |
| RBA | 1.702 | 874 | 48.6 | 14.9 |

En la Tabla 5, Nepomuceno et al. [33] mostraron los resultados que se obtuvieron mediante el ensayo de asentamiento, el grado de compactibilidad y contenido de aire. Los contenidos de aire de las mezclas están dentro del rango habitual en el concreto estándar. Y el contenido de aire ha sido raramente reportado en la literatura para concretos con residuos cerámicos.

Tabla 5. Resultados del ensayo del concreto en estado fresco.

| PORCENTAJE OF RCA | SLUMP (MM) | DEGREE OF COMPACTABILITY | AIR CONTENT (%) |
|-------------------|------------|--------------------------|-----------------|
| RC (0%) | 50 | 1.16 | 1.50 |
| 10% | 60 | 1.11 | 1.30 |
| 30% | 70 | 1.11 | -- |
| 50% | 50 | 1.19 | 1.50 |
| 75% | 50 | 1.14 | 1.60 |

Un trabajo muy reciente de Gayarre et al. [17] utiliza mezclas de ladrillos cerámicos finos y de ladrillos cerámicos reciclados procedentes de la industria, informa de un aumento en el aire ocluido del concreto fresco cuando se aumenta la proporción de sustitución con un 4,6% para el concreto de referencia y un 7% para el 100% de sustitución.

En particular, la naturaleza heterogénea (es decir, la combinación de agregado natural y mortero adherido) del agregado de concreto reciclado condujo a la mayor variabilidad de los resultados mostrados.

3.3. Efectos del agregado de ladrillo reciclado en la trabajabilidad.

El Waste Clay Brick (WCB) se tritura y se utiliza como agregados para producir morteros reciclados con suficiente trabajabilidad (alta relación agua-cemento de 0,6) [34], la cantidad de agua es necesaria por dos motivos, en primer lugar, para compensar el agua absorbida, y en segundo lugar para proporcionar una capa de agua suficiente alrededor de las partículas para mantener la fluidez [35].

A pesar de la mayor porosidad de los RBA no hay una reducción obvia en la absorción de agua del concreto [36]. La trabajabilidad de la mezcla no se ve afectada por la inclusión de recycled mixed aggregate (RMA), ya sea solo o con el cemento reciclado [5].

Los morteros reciclados con el WCB seco tenían propiedades mecánicas relativamente más altas y una menor absorción de agua, pero una tendencia inversa para los morteros con WCB de pre-humectación, independientemente de las condiciones de curado, en estas se consideran dos condiciones de curado (aire y estándar) y dos estados (seco y pre-remojo) del WCB [34].

Según Tang et al. [37] el incorporar el Recycled Powder (RP) en la mezcla de concreto disminuye la trabajabilidad. La Fig. 2, indica la demanda de agua de la mezcla de RP, a medida que aumenta la proporción de sustitución de RP.

Además, de notar un notable efecto en la demanda de agua por la granulometría de los Recycled Brick Powder (RBP) ya que al aumentar la finura del Recycled Concrete Powder (RCP) se genera un mayor aumento en la demanda de agua de los RCP.

Sin embargo, el disminuir el tamaño de las partículas de (RBP) la demanda de agua disminuye debido a que esta mejora su misma estructura. Por ejemplo, las demandas de agua de la (RP) con diámetros medios de 27,1, 15,8, 10,5 y 3,4 μm son del 15,3%, 12,3%, 10,0% y 4,6%, respectivamente, como se aprecia en la Fig. 2.

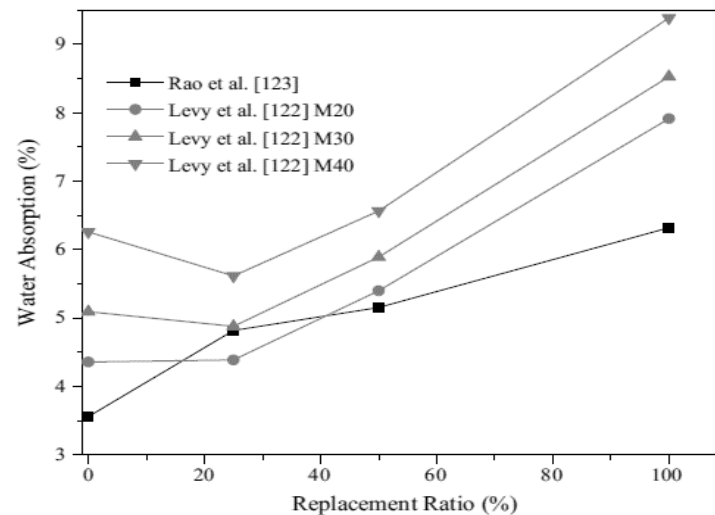


Fig. 2. Demanda de agua en la mezcla de RP (Fuente: Tang et al. [37]).

Por lo que se puede decir que aparentemente en los ladrillos de arcilla reciclada, la tasa de absorción de agua y el índice de aplastamiento son superiores al de los agregados naturales por lo que hay que tomar precauciones al mezclar teniendo en cuenta el ajuste de la relación w/c.

3.4. Efectos del agregado de ladrillo reciclado en la permeabilidad

La permeabilidad al agua corresponde a la estructura de los poros de los materiales cementicios, y varios tamaños de partículas de RP y proporciones de reemplazo que resultan en diferentes permeabilidades al agua del concreto [37].

Según Kishu et al. [1], en la Fig. 3, mostró a varios autores que definen el hecho que la permeabilidad del Recycled Concrete Aggregate (RAC) hecho con la sustitución total y parcial de la natural aggregate (NA) por el aggregate recycled (AR) es mayor que la del natural aggregate concrete (NAC).

Esto se debe a que el AR contiene más cantidad de porosidad y grietas en el mortero adherido, formado en el AR durante la preparación.

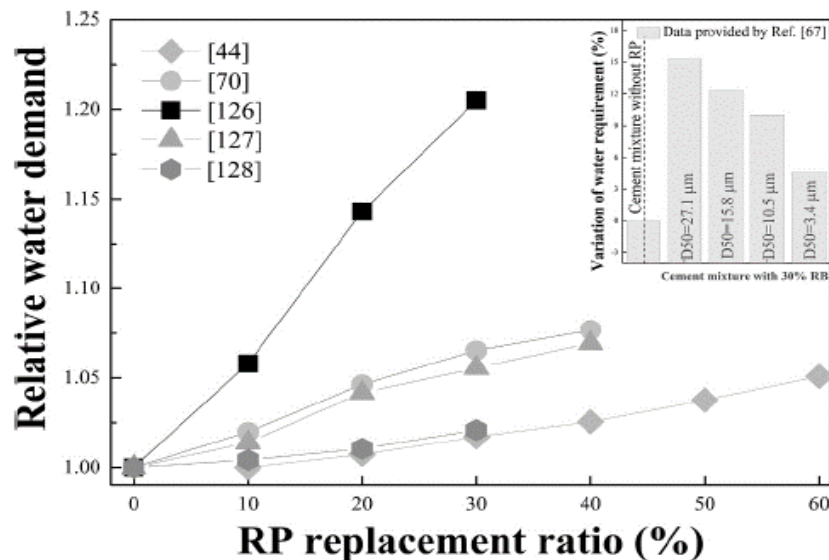


Fig. 3. Absorción de agua de RAC según diferentes autores. (Fuente: Tang et al. [37]).

Estudios previos como muestra Zenhua et al. [38], la permeabilidad del self-compacting concrete (SCC) aumenta con la incorporación de (RCA), lo cual es generalmente aceptado debido a la presencia de mortero residual y defectos en el RCA.

La razón detrás de esta tendencia puede atribuirse a la absorción de agua para la mezcla por parte del agregado de Crushed Clay Brick (CCB) [16].

En resumen, los ladrillos de arcilla triturados requieren más agua a comparación del agregado natural, por lo que es recomendable aumentar el agua para la mezcla o remojar previamente este tipo de agregado.

3.5. Efectos del agregado de ladrillo reciclado en el módulo de elasticidad

A diferencia de los concretos tradicionales el módulo de elasticidad con concretos reciclados es típicamente menor, pero al usar agregado de CCB estos presentan una mayor influencia.

Según Kishu et al. [1], en la Fig. 4, presentó a varios autores los cuales reportaron que, al incorporar AR, el módulo de elasticidad es afectado negativamente mostraron que el módulo de elasticidad disminuía un 12,6% para una proporción de sustitución del 50% y un 25,2% para una proporción de sustitución del 100%. y en un 25,2% para la proporción de sustitución del 100%.

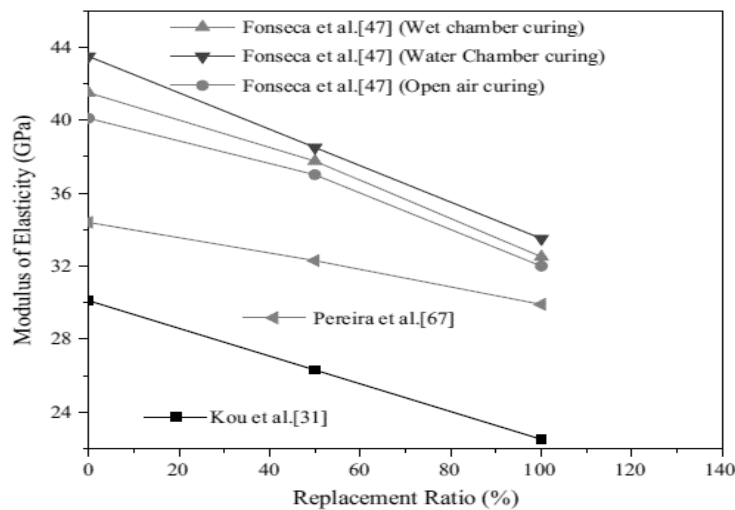


Fig. 4. Módulo de elasticidad de RAC según diferentes autores. (Fuente: Kishu et al. [1]).

Dang et al. [36] en la Fig. 5, mostró el efecto que causa el reemplazar el waste clay bricks (WCBF) en el módulo elástico a diferentes edades del concreto. Pudiéndose apreciar que, a los 28 días, en comparación con el normal concrete (NC), el porcentaje de sustitución de WCBF tiene un efecto despreciable en el módulo elástico, mientras que el módulo elástico de recycled concrete (RBC) se ve ligeramente afectado por el WCBF con diferentes volúmenes de agua de agua adicional.

Sin embargo, cuando la proporción de sustitución aumenta hasta el 100%, el módulo elástico del RBC se reduce comparativamente en un 16% en comparación con la NC. Cuando el volumen de agua adicional del WCBF es totalmente agua extra, el módulo elástico del RBC muestra una tendencia lineal descendente con el aumento de la proporción de a los 90 días.

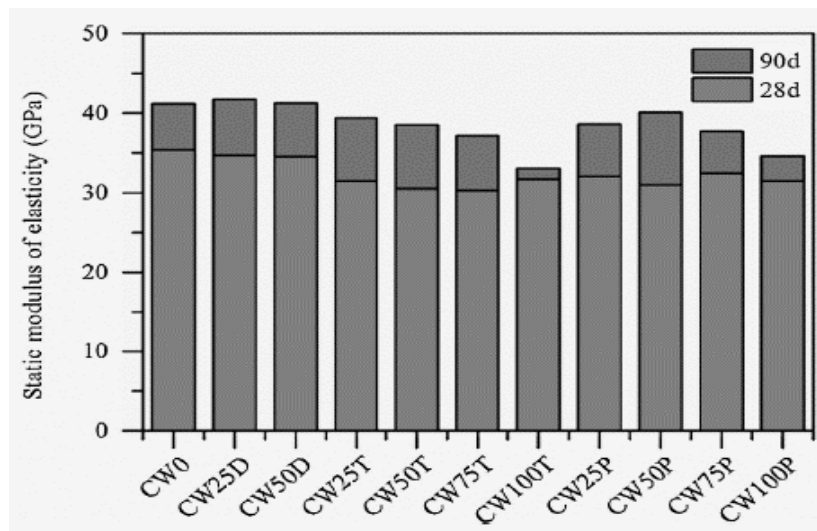


Fig. 5. Efecto del WCBF en el módulo de elasticidad. (Fuente: Dang et al. [36]).

3.6. Efectos del agregado de ladrillo reciclado en los modos de fallo

Los modos de fallo de las probetas de concreto durante los ensayos de extracción directa se han estudiado en muchas investigaciones [39]. Chunxiang et al. [40] estudió, cuatro relaciones de sustitución de

agregados de 0% 20% 75% y 100% en el modelo de RCA que se sometió a una carga de tensión y compresión uniaxial en el plano respectivamente, mostraron fallos por rotura en la mayoría de las muestras de concreto.

Gao et al. [41] mostró modos de fallo en varios cilindros representados en la Fig. 6. Por ejemplo, en el cilindro liso RAC-RCBA falló frágilmente con una grieta vertical importante.

En el caso de las muestras de RAC-RCBA confinadas con Glass Fiber-reinforced polymer (GFRP), el fallo se produjo cuando el tubo de GFRP se rompió a una altura media debido a la expansión lateral del hormigón. Los cilindros confinados de tubo de Carbon Fiber-reinforced polymer (CFRP) expresaron un fallo más frágil, ocurrido repentinamente como una explosión con grandes sonidos.

Sin embargo, Chen et al. [42] presentó, modos de fallo en probetas compuestas con varias mezclas de concreto que fueron representados en la Fig. 7.

Todas mostraron un fallo por cizallamiento que cruzaba principalmente de un extremo a la región media, las regiones visibles de aplastamiento del concreto relleno al retirar los tubos exteriores se encontraban principalmente, en la zona d donde se producía el pandeo local del acero Y que a diferencia del fallo por colapso observado en las muestras sólo se llegó a apreciar varias grietas diagonales en la superficie de los elementos RBACFST con varios niveles de sustitución de CCB y RCA. Indicando que el usar RBAC como relleno de concreto en los CFST, beneficia a la construcción de concreto.

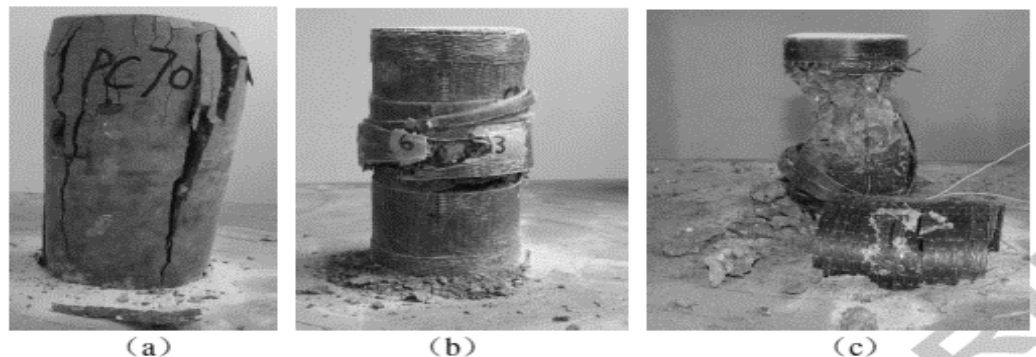


Fig. 6. Fallo típico de las muestras: (a) RAC-RCBA liso, (b) RAC-RCBA confinado con GFRP, (c) RAC-RCBA confinado con CFRP.

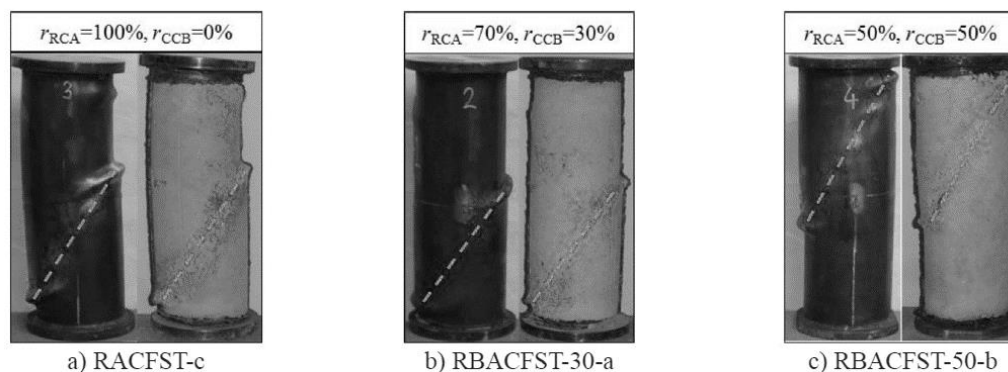


Fig. 7. Modos de fallo de muestras representativas de concreto y especímenes de columnas compuestas.

3.7. Efectos del agregado de ladrillo reciclado en la resistencia a la compresión



Como uno de los principales elementos en el diseño estructural, esta propiedad es considerada, sin duda, una de las propiedades mecánicas más importantes del concreto que representan su calidad. Muchas otras propiedades del concreto, como el módulo de elasticidad y la tensión máxima están relacionadas con la resistencia a la compresión. [43].

Según Marco et al. [44], nos mostró en la Fig. 8 los resultados de la resistencia varían en función de su tamaño nominal. Por ejemplo, cuando se aumenta el tamaño de las partículas (NA) se llega a reducir la resistencia hecho observado cuando el diámetro de las partículas pasa del rango de 9,5-12,5 mm al de 12,5-16 mm, se llega a apreciar un descenso al 22%, cuando los tamaños de las partículas pasan el rango de 12,5-16 mm al de 16-19 mm.

Y en el caso de las partículas de (RBA) se produce algo similar en una disminución del 5% aproximadamente, cuando el tamaño de las partículas pasa del 9,5-12,5 mm a 12,5-16 mm, pero se llega a producir una reducción de resistencia alrededor del 19%, cuando el diámetro aumenta entre 16-19 mm.

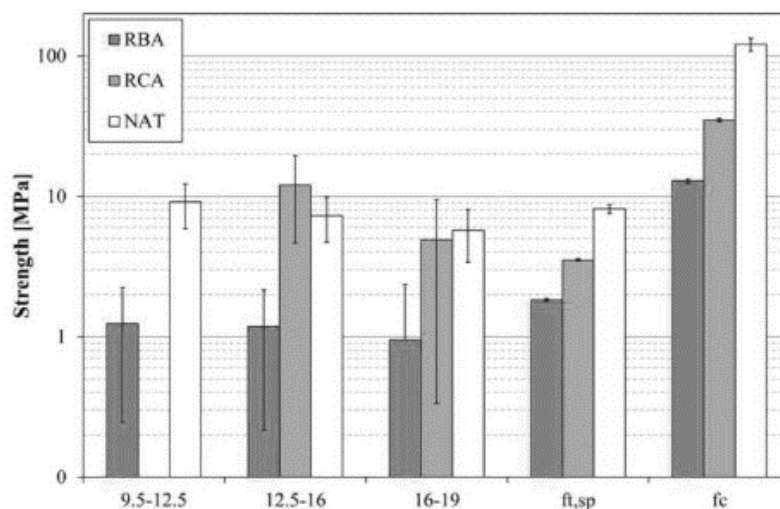


Fig. 8. Variación de la resistencia en función del tamaño de partículas de RBA, RCA y NAT (Marco et al. [44]).

En una investigación realizada por Choacan et al. [32] mostró la resistencia a la compresión de probetas cúbicas con RCA para $w/c = 0,55$, ensayadas a 28 y 56 días, respectivamente, como resultado tanto para las probetas ensayadas a 28 días como a 56 días, la resistencia a la compresión disminuye al aumentar la sustitución del (ACR).

Por ejemplo, la resistencia se reduce en un 2%, 4,4%, 5,6% y 7,2% a los 28 días y un 3,7%, 6,8%, 9,6% y 11% a los 56 días cuando se sustituyó el NCA con RCA en un 25%, 50%, 75% y 100%, respectivamente.

Además, se puede observar que la resistencia a la compresión de la muestra ensayada a 28 días es notablemente inferior a la probada a 56 días; esta última es aproximadamente 1,23~1,29 veces la primera.

Wei et al. [45] en sus estudios mostró que la resistencia a la compresión tenía una relación exponencial con las relaciones cemento-arena y agua-sólido. También estableció la relación entre la resistencia a la compresión no confinada y el módulo elástico, que podía utilizarse para calcular el módulo de los materiales de relleno mediante la resistencia a la compresión directamente.

En los diferentes resultados se mostraron varios porcentajes de RCAs que fueron sustituidos por NA en la producción de nuevos concretos.

Suvash [46], concluyó que se puede llegar a fomentar el uso de concreto con agregados de ladrillos reciclados RBAC (por sus siglas en inglés: (Recycled Brick Aggregates Concrete) como relleno de

concreto, ya que esto puede representar un beneficio, dado que los residuos de las unidades de arcilla se generan en los edificios, debido a su fragilidad, y puede convertirse en una opción económica al ser utilizado como agregado liviano para el curado interno del concreto, disminuyendo así el impacto ambiental [47].

La Tabla 6. muestra los diferentes estudios en la resistencia compresión de RBA que han sido realizados por diferentes investigaciones.

Tabla 6. Resistencia a la compresión de RBA para diferentes investigadores.

| REFERENCIAS | RELACIÓN A/C PATRÓN / RBA | % DE RBA | F ^c * (MPa) | %NAC / %RBA | F ^c ** CON RBA PROPUESTO (MPa) |
|-----------------------------------|------------------------------|----------------------------|------------------------|---|--|
| ADAMSON ET AL. 2015 | 0,42 / NA | 25 Y 50 | 46,0 | 75 / 25; 50 / 50 | 45,8 Y 45,9 |
| BARADAN AND NEMATZADEH 2017 | 0,38 / 0,38 | 25 ; 50 ; 75 Y 100 | 48,5 | 75 / 25; 50 / 50 25 / 75; 0 / 100 | 43,8; 44,3; 42,5 Y 45,5 |
| TANG ET AL. 2020 | 0,40 / 0,50 | 15 ; 30 Y 45 | 34,8 | 85 / 15; 70 / 30 55 / 45 | 36,9; 34,0 Y 26,1 |
| CHOACAN ET AL. 2018 | 0,55 / 0,55 | 25 ; 50 ; 75 Y 100 | 25,0 | 75 / 25; 50 / 50 25 / 75 ; 0 / 100 | 25,0; 24,8; 24,6 Y 24,6 |
| SUVASH 2017 | 0,60 / NA | 15 ; 30 ; 50 Y 100 | 35,2 | 85 / 15; 70 / 30 50 / 50 ; 0 / 100 | 35,4; 30,6; 35,2 Y 35,0 |
| GAYARRE ET AL. 2019 | 0,35 / NA | 20 ; 35 ; 50 ; 70 Y 100 | 59,8 | 80 / 20; 65 / 35 50 / 50; 30 / 70 0 / 100 | 55,6; 52,8; 54,1; 46,8 Y 43,4 |
| PALOVICH ET AL. 2021 | 0,50 / 0,54 | 20 ; 40 ; 60 ; 80 Y 100 | 53,0 | 80 / 20; 65 / 35 50 / 50; 30 / 70 0 / 100 | 56,2; 51,0; 42,5; 41,5 Y 31,4 |
| CHEN ET AL. 2020 | 0,45 / 0,45 | 10 ; 20 ; 30 ; 40 Y 50 | 44,8 | 90 / 10; 80 / 20 70 / 30; 80 / 40 50 / 50 | 41,9; 41,7; 41,3; 40,6 Y 40,3 |

* de concreto patrón a los 28 días

** de concreto con % propuesto a los 28 días.

3.8. Efectos del agregado de ladrillo reciclado en la resistencia a la flexión

El ladrillo triturado obtenido a partir de residuos de demolición de edificios se incorpora a las mezclas de concreto en estos porcentajes 0%, 13%, 26%, 39% y 52% como sustitución en peso del árido grueso. Las muestras se sometieron a una prueba de flexión en cuatro puntos, mostrando mejoras de las muestras en términos de propiedades mecánicas y mejoró el comportamiento a cortante de las vigas de concreto de ladrillo triturado comparado con las muestras de control [48].

Mohammed et al. [12] a través de su estudio encontró que alrededor del 25% de la arena de sílice puede ser parcialmente reemplazado por agregado de ladrillos triturados de desecho. Sin embargo, Adem et al. [49] mostro resultado de pruebas que mostraron la resistencia a la flexión 2,29, 3,63 y 3,98 MPa para las mezclas de concreto con ladrillo triturado iraní, nahrawan e iso respectivamente, concluyendo que la mezcla con ladrillo triturado iraní da valores menores que los ladrillos triturados Nahrawan e Iso debido a su bajo peso y alta absorción de agua.

Pinchi et al. [50] muestra en la Fig. 9. como influye el porcentaje de ladrillo triturado en la resistencia a la flexión a 28 días. En ella se puede observar que con el diseño 2 se alcanza un valor de 45,24 Kg/cm², siendo éste un 7% superior al de la mezcla de control, y cuando un espécimen ensayado se rompía en dos partes, el ensayo se daba por terminado [51].

Pero se debe tener en cuenta que el porcentaje óptimo de sustitución debe ser probado para cada mezcla de concreto, a través de mezclas de prueba [47].

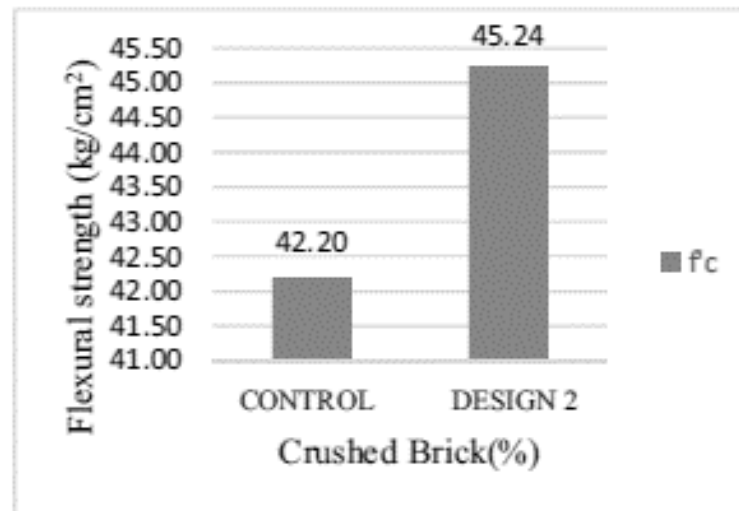


Fig. 9. Influencia del porcentaje de en la resistencia a la flexión (Fuente: Rodríguez et al. [47]).

4. CONCLUSIONES

- En el uso de este material reciclable se encuentra una gran variedad de documentos publicados, pero son muy escasos los resultados que se dan sobre el efecto que causa el usar bloques triturados de arcilla como un agregado en las propiedades del concreto.
- Los agregados de ladrillo tenían una mayor porosidad y absorción que los agregados naturales, por lo que hay que tomar precauciones al mezclar y tener en cuenta el ajuste de la relación w/c.
- Se deben establecer límites en cuanto a los porcentajes de reemplazo, ya que estos procesos son apenas utilizados en ciertas aplicaciones estructurales.
- Los ladrillos de arcilla triturados a comparación del agregado natural requieren más agua por lo que es recomendable remojar previamente este tipo de agregado o aumentar el agua para la mezcla.
- El concreto con agregado de ladrillo mostró un aumento en su trabajabilidad a diferencia del concreto de agregados naturales. Esto se debe a los agregados de ladrillo cuentan con una estructura porosa en comparación de los agregados naturales.
- El concreto con agregado de ladrillo mostró una ligera deficiencia en resistencia a la compresión en comparación con la del concreto fabricado con 100% de agregado natural. Esta disminución de la resistencia a la compresión se debe a cuando se sustituyen el agregado natural con el agregado reciclado.
- Se deben considerar tomar precauciones especiales al intentar utilizar este tipo de agregados zonas costeras debido a que este tipo de mezclas de concreto exhibe una alta porosidad y permeabilidad.

5. AGRADECIMIENTOS

Agradecer el apoyo a la Universidad Señor de Sipan y a la escuela profesional de Ingeniería Civil, que me mediante sus enseñanzas me permitieron desarrollar este artículo de revisión.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Kisku, N., Joshi, H., Ansari, M., S.K, P., Nayak, S., & Dutta, S. (2017). A critical review and assessment for usage of recycled aggregate as sustainable construction material. *Construction and Building Materials*, 131, 721-740. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.11.029>
- Sagastume, A., Cabello, J., Gaviria, C., Caneghem, J., & Vandecasteele, C. (2017). Improved selection of the functional unit in environmental impact assessment of cement. *Journal of Cleaner Production*, 168, 463-473. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.007>
- Saleh, I., Faleh, S., & Chkheiw, A. (2019). Flexural Behavior of RC Two Way Slabs Made With Crushed Melted Bricks as Coarse Aggregate., (págs. 195-209). doi:http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-95771-5_16
- Ramadevi, K., & Chitra, R. (2017). Concrete using recycled aggregates. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, 8(9), 413-419.
- Cantero, B., Sáez del Bosque, I., Matías, A., Sánchez de Rojas, M., & Medina, C. (2019). Inclusion of construction and demolition waste as a coarse aggregate and a cement addition in structural concrete design. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 19(4), 1338-1352. doi:<https://doi.org/10.1016/j.acme.2019.08.004>
- Chen, X., Shi, D., Shen, N., Li, S., & Liu, S. (2019). Correction to: Experimental Study and Analytical Modeling on Fatigue Properties of Pervious Concrete Made with Natural and Recycled Aggregates. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 13(10). doi:<https://doi.org/10.1186/s40069-018-0305-0>
- Serres, N., S, B., & Feugeas, F. (2016). Environmental evaluation of concrete made from recycled concrete aggregate implementing life cycle assessment. *Journal of Building Engineering*, 5, 24-33. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2015.11.004>
- Ahmed, H., Tiznobaik, M., Huda, S., Islam, M., & Alam, M. (2020). Recycled aggregate concrete from large-scale production to sustainable field application. *Construction and Building Materials*, 262(119979). doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119979>
- Adamson, M., Razmjoo, A., & Poursae, A. (2015). Durability of concrete incorporating crushed brick as coarse aggregate. *Construction and Building Materials*, 94, 426-432. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.07.056>
- Chen, C.-Q., Zhang, Y.-L., Zhang, W., & Zhang, Y.-C. (2017). The Application Research on Waste Clay Brick in the Cement Concrete. *MATEC Web of Conferences*, 95(01007). doi:<https://doi.org/10.1051/mateconf/20179501007>
- Shahid, K., Ammar, A.-S., & Khan, M. (2016). Recycled Construction Debris as Concrete Aggregate for Sustainable Construction Materials. *Procedia Engineering*, 145, 1518-1525. doi:<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.191>
- Mohammed, V., Hama, S., & Aziz, K. (2019). Assessment strength properties of modified reactive powder concrete by adding waste bricks. *International Conference on Developments in eSystems Engineering*, (págs. 83-87). doi:<https://doi.org/10.1109/DeSE.2019.00025>
- Alterman, D., Akita, H., & Albatayneh, A. (2019). Crushed bricks as an aggregate replacement for a brittle composite material. *12th International Symposium on Brittle Matrix*

- Composites, BMC 2019; Institute of Fundamental Technological Research (IFTR) of the Polish Academy of Sciences Warsaw, (págs. 245-255).
- Dang, J., Zhao, J., Pang, S., & Zhao, S. (2020). Durability and microstructural properties of concrete with recycled brick as fine aggregates. *Construction and Building Materials*, 262. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120032>
- Moreno, L., Ospina, M., & Rodrigez, K. (2019). Resistencia de concreto con agregado de bloque de arcilla triturado como reemplazo de agregado grueso. *Ingeniare : Revista Chilena de Ingeniería*; Arica, 27(4), 635-642. doi:<https://doi.org/10.4067/S0718-33052019000400635>
- Tareq, A., Subhi, G., & Ahmed, S. (2021). Producing of workable structural lightweight concrete by partial replacement of aggregate with yellow and/or red crushed clay brick (CCB) aggregate. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 33(4), 240-247. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jksues.2020.04.013>
- Gayarre, F., González, J., Colina, C., Serrano, M., Ros, P., & Martínez, G. (2019). Shrinkage and creep in structural concrete with recycled brick aggregates. *Construction and Building Materials*, 228(116750). doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116750>
- Raini, I., Jabrane, R., Mesrar, L., & Akdim, M. (2020). Evaluation of mortar properties by combining concrete and brick wastes as fine aggregate. *Case Studies in Construction Materials*, 13(e00434). doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00434>
- Dawood, E. (2020). Behavior of self-compacting concrete produced from recycled aggregate. *AIP Conference Proceedings*, 2213(020023). doi:<https://doi.org/10.1063/5.00000035>
- Wongsa, A., Sata, V., Nuaklong, P., & Chindaprasirt, P. (2018). Use of crushed clay brick and pumice aggregates in lightweight. *Construction and Building Materials*, 188, 1025–1034. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.08.17>
- Marazi, S., Chandramauli, A., & Bahuguna, A. (2018). A review paper on effects of recycled concrete aggregate and crushed clay bricks on properties of concrete. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 9(3), 955-960.
- Azmi, N., Khalid, F., Irwan, J., Anting, N., & Mazenan, P. (2017). A study on the performance of concrete containing recycled aggregates and ceramic as materials replacement., 271. doi:<https://doi.org/10.1088/1757-899X/271/1/012081>
- Zhu, L., & Zhu, Z. (2020). Reuse of Clay Brick Waste in Mortar and Concrete. *Advances and New Challenges for Recycled Aggregate Concrete*, 2020. doi:<http://10.1155/2020/6326178>
- Ibrahim, Y. (2019). Durability and structural performance of recycled aggregate concrete: A review. *International Review of Civil Engineering*, 10(3), 135-141. doi:<https://doi.org/10.15866/irece.v10i3.15870>
- Sruthy, S., Sriram, G., Barath, S., Ashwin, R., & Vikram, K. (2016). Use of recycled brick masonry waste in concrete. *International Journal of Earth Sciences and Engineering*, 9(2), 541-544.
- Krisada, C., Qudeer, H., Panuwat, J., & Kittipoom, R. (2021). New hybrid basalt/E-glass FRP jacketing for enhanced confinement of recycled aggregate concrete with clay brick aggregate. *Case Studies in Construction Materials*, 14. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00507>
- Sharkawi, A., El Mofty, S.-D., Showaib, E., & Abbass, S. (2018). Feasible Construction Applications for Different Sizes of Recycled Construction Demolition Wastes. *Alexandria Engineering Journal*, 57(4), 3351-3366. doi:<http://10.1016/j.aej.2017.11.014>

- Rakesh, K., Pratap, P., Sudeep, S., & Prasant, N. (2019). Workability and strength analysis of concrete with brick ballast as coarse-aggregate. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 9(1), 2621-2625. doi:<http://dx.doi.org/10.35940/ijeat.A9860.109119>
- Cai, X. J., Yang, W., & Zhang, X. (2019). Behavior of concrete with recycled clay brick as coarse aggregate. *ICTE 2019 - Proceedings of the 6th International Conference on Transportation Engineering*. doi:<http://dx.doi.org/10.1061/9780784482742.092>
- Palovcik, J., Opravil, T., Soukal, F., & Masilko, J. (2021). Crushed bricks as aggregate in cement based binder. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1039. doi:<http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/1039/1/012005>
- Kavitha, B., Sugunan, D., Swathini, S., & Ashokpandiyan, M. (2019). Study on the properties of refractory concrete with recycled aggregates. *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*, 11(4), 365-371.
- Chaocan, Z., Cong, L., Geng, D., Xiaozhen, L., Zhiwu, L., & Liqin, L. (2018). Mechanical properties of recycled concrete with demolished waste concrete aggregate and clay brick aggregate. *Results in Physics*, 9, 1317-1322. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rinp.2018.04.061>
- Nepomuceno, M., Isidoro, R., & Catarino, J. (2018). Mechanical performance evaluation of concrete made with recycled ceramic coarse aggregates from industrial brick waste. *Construction and Building Materials*, 165, 284-294. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.052>
- Huang, Q., Zhu, X., Xiong, G., Wang, C., Liu, D., & Zhao, L. (2021). Recycling of crushed waste clay brick as aggregates in cement mortars: An approach from macro- and micro-scale investigation. *Construction and Building Materials*, 274(122068). doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.122068>
- Liu, Q., Xiao, J., & Singh, A. (2020). Plastic shrinkage and cracking behavior of mortar containing recycled sand from aerated blocks and clay bricks. *Sustainability (Switzerland)*, 13(3), 1. doi:<https://doi.org/10.3390/su13031096>
- Dang, J., & Zhao, J. (2019). Influencia de los ladrillos de arcilla de desecho como agregado fino en las propiedades mecánicas y microestructurales del hormigón. *Construction and Building Materials*, 228(116757). doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116757>
- Tang, Q., Ma, Z., Wu, H., & Wang, W. (2020). La utilización de polvo reciclado ecológico procedente de residuos de hormigón y ladrillos en el hormigón nuevo: Una revisión crítica. *Cement and Concrete Composites*, 114. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2020.103807>
- Zhenhua, D., Amardeep, S., Jianzhuang, X., & Shaodan, H. (2020). Combined use of recycled powder and recycled coarse aggregate derived from construction and demolition waste in self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*, 254. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119323>
- Hoque, M., Islam, M., Islam, M., & Kader, M. (2015). Bond behavior of reinforcing bars embedded in concrete made with crushed clay bricks as coarse aggregates. *Construction and Building Materials*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118364>
- Chunxiang, S., Quan, S., Qi, T., & Shaofan, L. (2021). Peridynamics modeling and simulation of meso-scale fracture in recycled coarse aggregate (RCA) concretes. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 114. doi:<http://10.1016/j.tafmec.2021.102949>

- Gao, C., Huang, L., Yan, L., Kasal, B., & Li, W. (2016). Behavior of glass and carbon FRP tube encased recycled aggregate concrete with recycled clay brick aggregate. *Composite Structures*, 155, 245-254. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2016.08.021>
- Chen, J., Sumei, Z., Yuyin, W., & Yue, G. (2020). Axial compressive behavior of recycled concrete filled steel tubular stub columns with the inclusion of crushed brick. *Structures*, 26, 271-283. doi:<https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.03.045>
- Baradaran, N., & Nematzadeh, M. (2017). The effect of elevated temperatures on the mechanical properties of concrete with fine recycled refractory brick aggregate and aluminate cement. *Construction and Building Materials*, 147, 865-875. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.138>
- Marco, P., Grabois, T., Silva, M., Tavares, L., & Toledo, R. (2020). Mechanical behaviour of coarse, lightweight, recycled and natural aggregates for concrete. *Proceedings of Institution of Civil Engineers: Construction Materials*, 173(2), 70-78. doi:<https://10.1680/jcoma.17.00081>
- Wei, J., Zhang, J., & Wang, J. (2016). Propiedades de los materiales de relleno fluido utilizando agregados finos reciclados de residuos de ladrillos y hormigón. *Journal of Civil, Architectural and Environmental Engineering*, 38(3), 96-103. doi:<http://dx.doi.org/10.11835/j.issn.16744764.2016.03.014>
- Suvash, C. (2017). Data on optimum recycle aggregate content in production of new structural concrete. *Data in Brief*, 15, 987-992. doi:<https://doi.org/10.1016/j.dib.2017.11.012>
- Rodríguez, S., & Torres, N. (2019). Evaluation of internal curing effects on concrete. *Ingeniería e Investigación*, 39(2), 37 - 45. doi:<https://doi.org/10.15446/ing.investig.v39n2.76505>
- Sharba, A., Abu Altemen, A., & Hason, M. (2021). Shear behavior of exploiting recycled brick waste and steel slag as an alternative aggregate for concrete production. *3rd International Conference on Materials Engineering and Science, IConMEAS 2020*; Kuala Lumpur; Malaysia, 42, págs. 2621-2628. doi:<http://10.1016/j.matpr.2020.12.591>
- Adem, H., Athab, E., Thamer, S., & Jasim, A. (2019). The behavior of Lightweight Aggregate Concrete Made with Different Types of Crushed Bricks. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 574. doi:<https://10.1088/1757899X/584/1/012040>
- Pinchi, S., Ramírez, J., Rodríguez, J., & Eyzaguirre, C. (2020). Use of recycled broken bricks as Partial Replacement Coarse Aggregate for the Manufacturing of Sustainable Concrete. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 58. doi:<https://10.1088/1757-899X/758/1/012039>
- Khamees, A., Tameemi, W., & Al Qassag, O. (2020). Mechanical behavior of structural light weight concrete using low-strength clay bricks aggregates. *Materials Science Forum*, 1002, 399-411. doi:<http://10.4028/www.scientific.net/MSF.1002.399>