

## Uso de

# triturado de ladrillo reciclado como agregado grueso en la elaboración de concreto

## Use of Crushed Recycled Brick Coarse as Aggregate in the Elaboration of Concrete

Recibido: marzo de 2012  
Arbitrado: mayo de 2012

Ángela Viviana Pérez Rojas\*

### Resumen

El reciclado y la reutilización de ladrillos procedentes de defectuosa fabricación podría, conducir a la industria de la construcción a un escenario de mayor sostenibilidad, reduciendo el uso de recursos no renovables y el impacto negativo que causa al medio ambiente el manejo inadecuado de los residuos sólidos. Este artículo examina la posibilidad de utilizar triturado de ladrillo como agregado grueso en la elaboración de concreto. Para esto fue sustituido el agregado natural grueso por triturado de ladrillo en diferentes proporciones (0, 10, 20 y 30%). Se analizaron las propiedades químicas del ladrillo reciclado, así como las propiedades mecánicas del concreto endurecido (flexión y compresión a los 28 días). Los resultados del ensayo indican la viabilidad de utilizar triturado de ladrillo reciclado como agregado grueso en la elaboración de concreto siempre y cuando este no supere el 30% del agregado natural grueso.

### Palabras clave

Triturado de ladrillo; agregado grueso; propiedades mecánicas; análisis químico.

### Abstract

Recycling and reuse of bricks from faulty manufacturing could lead to the construction industry to a scenario of greater sustainability, reducing use of nonrenewable resources and the negative impact to the environment causing the improper handling of solid waste. This article examines the possibility of using crushed brick as coarse aggregate in the production of concrete. For this was substituted coarse natural aggregate by crushing of brick in different proportions (0, 10, 20 and 30%). The chemical properties of recycled brick and the mechanical properties of hardened concrete (bending and compression at 28 days) were analyzed. The test results indicate the feasibility of using recycled crushed brick as coarse aggregate in concrete development provided this does not exceed 30% of coarse natural aggregate.

\* © Magíster en Ingeniería Ambiental. Tunja, Boyacá. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Facultad de Ingeniería. Instructora en el Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Directora del Grupo de Tecnología en Gestión Ambiental del Centro Nacional Minero, seccional Boyacá. e-mail: perezangelita84@gmail.com

## Keywords

Crushed brick; coarse aggregate; mechanical properties; chemical analysis.

## I. Introducción

Durante las últimas décadas se han incrementado no solo los residuos de ladrillos provenientes de una fabricación defectuosa, sino también los residuos del sector de la construcción y demolición. En la actualidad en Colombia estos residuos no reciben ninguna clase de tratamiento por lo cual son utilizados para rellenar huecos presentes en los caminos cercanos a la fuente de generación o simplemente son arrojados a predios baldíos, creando un gran impacto visual y paisajístico. Esto motiva a investigar acerca del aprovechamiento y revalorización de estos residuos controlando su producción, convirtiéndolo en materia prima para la fabricación de nuevos materiales, contribuyendo al ahorro de energía y a la creación de sistemas constructivos más eficaces y amigables con el medio ambiente.

Este residuo tiene un potencial importante para ser reciclado en comparación con otros tipos de residuos inertes, debido a que los residuos de ladrillo permiten la obtención de un material fragmentado que es utilizado como agregado reciclado ampliamente manejado en la industria de la construcción. El aprovechamiento de estos residuos constituye un aspecto importante a nivel mundial ya que esto representa un beneficio económico, debido a la incorporación de materiales de desecho al proceso de construcción y a su vez ayuda a la preservación de los recursos naturales.

En el mundo la utilización de concreto elaborado con agregado de ladrillo reciclado es aun escasa; sin embargo, en varios países se han llevado a cabo proyectos ingenieriles; algunos se resumen a continuación:

**Holanda [1]:** debido a la falta de disponibilidad de agregados gruesos ya se han llevado a cabo varios proyectos piloto donde se ha remplazado el

20% del agregado grueso por una mezcla de concreto y ladrillo triturado. Este agregado reciclado se empleó en la construcción de un viaducto cerca a la ciudad de Helmond. En las obras de la compuerta del puerto de Schijndel, se emplearon alrededor de 300 m<sup>3</sup> de concreto con agregado reciclado procedente de una mezcla de hormigón y ladrillo.

Desde 1994 el gobierno holandés permite el uso de este tipo de agregado reeciclado en hormigón estructural, con un remplazo máximo del 20% del agregado grueso. Sin embargo, entre 1997 y 1998 se construyeron 272 casas unifamiliares empleando un 100% de agregado reciclado. Se utilizó para la construcción de muros de carga de concreto en masa y elementos de concreto para fachada y suelos.

**Alemania [1]:** el uso de agregado reciclado data desde 1950 y se ha usado principalmente para la construcción de viviendas. En 1996 y 1997, se desmanteló una zona militar a las afueras de Itzehoe que produjo aproximadamente unas 50000 toneladas de escombros cerámicos, los cuales se utilizaron para la edificación nuevamente de esa misma zona.

**Reino Unido [1]:** la primera experiencia práctica en la que se utilizó concreto con agregados reciclados se llevó a cabo en Cardington, para la construcción de la losa de la segunda planta de un edificio de esta ciudad. La losa estaba fuertemente armada y tenía 50 cm de espesor. Se optó por una sustitución del 20% del agregado grueso y se emplearon unas 100 toneladas de agregado reciclado. La dosificación del concreto fue la misma que la de la losa construida en la primera planta de ese mismo edificio y para ambos concretos se obtuvieron unas resistencias similares (60 N/mm<sup>2</sup> a los 91 días). El uso de agregado no afectó el bombeo ni la puesta en obra del concreto.

**Estados Unidos [2]:** de los aproximadamente 2,7 millones de toneladas anuales de agregado reciclado se utiliza actualmente de 10 a 15% para pavimentación, de 20 a 30% para construcción de carreteras y otros trabajos de mantenimiento y al-

rededor del 60 a 70% se utilizan para la elaboración de concreto estructural.

**España [3]:** construcción de la ciudad olímpica de Barcelona; las construcciones situadas en esta zona fueron demolidas alcanzando una cantidad de escombros de 1.5 millones de toneladas, para ello se utilizaron procedimientos selectivos de demolición realizando *in situ* una primera eliminación de impurezas. Estos materiales se utilizaron para construir las calles y carreteras de la ciudad y estructuras de escollera en la línea litoral.

**Japón [4]:** aunque Japón ha investigado por más de un cuarto de siglo sobre la reutilización de agregados de demolición para la elaboración de concreto, este reciclado no ha sido posible en su totalidad, debido a que este material no cumple a cabalidad con la norma JIS A-5308, que establece las especificaciones de concreto premezclado. Sin embargo, en la actualidad este material se está utilizando en un 96% como subbase en la construcción de carreteras.

**Hong Kong [5]:** construcción del Hong Kong Wetland Park el cual se localiza en la parte occidental cerca de la frontera entre Hong Kong y Shenzhen. La primera fase del proyecto fue inaugurado en diciembre de 2000 y la totalidad del proyecto se completó en el 2005. El parque de Hong Kong cuenta con 10.000 m<sup>2</sup> que comprenden; galerías, teatros, cafés, áreas de juegos para los niños, aulas y un centro de recursos. En esta construcción se utilizaron alrededor de 13.000 m<sup>3</sup> de concreto reciclado elaborado con un 20, 30 y 35 % de sustitución del agregado grueso natural por residuos de demolición. Las aplicaciones del concreto reciclado dependieron de la resistencia de los mismos, por ejemplo; losas de tierra, obras exteriores, concreto estructural, entre otras.

## II. Materiales y métodos de ensayo

Para la elaboración de las mezclas de concreto se emplearon agregados naturales (grava y arena) provenientes de canteras localizadas en cercanías al municipio de Sogamoso, Boyacá. El

residuo de ladrillo se recolectó de 5 hornos locales productores de ladrillo y teja a base de arcilla cocida (foto1). Este material fue transportado a la empresa CEINFACAR Ltda, donde se sometió a un proceso de trituración (foto 2) utilizando una trituradora de mandíbula no certificada, con la cual se obtuvieron diferentes granulometrías (foto 3). El cemento empleado fue Cemento Portland Tipo I de la Fábrica ARGOS.



Foto 1. Recolección de residuo de ladrillo.



Foto 2. Máquina Trituradora de Mandíbula.

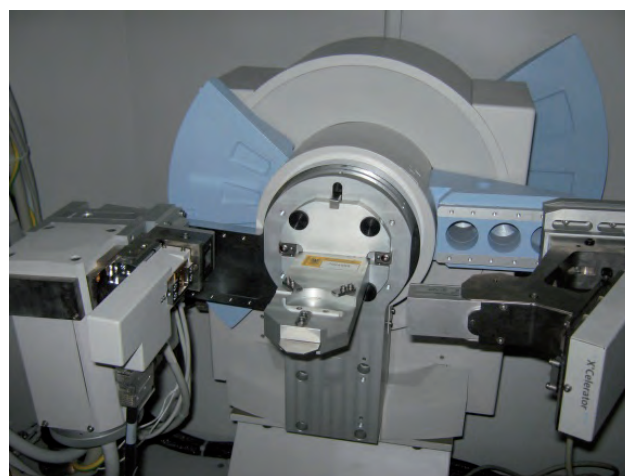


Foto 3. Triturado de ladrillo reciclado .

Una muestra representativa de polvo de ladrillo reciclado fue enviada al Instituto para la Investigación y la Innovación en Ciencia y Tecnología y Materiales de la Universidad Pedagógica y Tecno-

lógica de Colombia para realizar el análisis químico por el método de difracción de rayos X utilizando un equipo X'pert Pro marca PANalytical, (Foto 4 y 5) certificado bajo las siguientes condiciones:

Potencial	40 kV
Corriente	40 mA
Tiempo de paso	0,5 Sg
Tamaño de paso	0,02°
Rango de medida	5-90°
Tipo de Barrido	Continuo (2□)



Fotos 4 y 5. Equipo X'pert pro marca PANalytical, para la difracción de rayos X

La aplicación fundamental de la Difracción de Rayos X es la identificación cualitativa de la composición de una muestra cristalina. La difracción está basada en las interferencias ópticas que se producen cuando rayos X inciden en la estructura de una muestra.

La granulometría de los agregados naturales y agregado reciclado utilizados en la elaboración de las mezclas de concreto se realizó según la norma NTC 77 «Método de ensayo para análisis por tamizado de agregado» y la norma NTC 174 «Especificaciones de agregado para concreto», también para estos agregados se determinaron las propiedades físicas, las cuales se resumen en la tabla 1.

Tabla 1. Propiedades físicas de los agregados utilizados en la elaboración de concreto

Propiedad	Norma
Densidad aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	NTC 176
Absorción de agua (%)	NTC 176
Masa Unitaria (gr/cm <sup>3</sup> )	NTC 92

Se realizaron 3 réplicas para cada mezcla de concreto por lo que se elaboraron 12 probetas circulares para el ensayo de compresión y 12 probetas rectangulares para el ensayo de flexión siguiendo el procedimiento descrito en la norma NTC 1377 «Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos de laboratorio». Los resultados reportados en este trabajo son los valores medios obtenidos.



Para todas las mezclas se mantuvo estándar el contenido en peso del cemento, y la relación agua/cemento, en cuanto a la grava, esta se sustituyó parcialmente por triturado de ladrillo reciclado en proporciones del 0, 10, 20 y 30%, la tabla 2 muestra la nomenclatura asignada para cada una de estas mezclas. Debido a la elevada absorción que presenta

el triturado de ladrillo reciclado, este fue saturado durante 24 horas antes de la fabricación de las probetas para evitar la pérdida rápida de fluidez en el concreto [6][7]. La tabla 3 indica las proporciones en peso de cada uno de los agregados utilizados en la elaboración de las diferentes mezclas de concreto tanto para el ensayo a compresión como para flexión.

Tabla 2. Nomenclatura de las mezclas en estudio.

NOMBRE DE MEZCLA	PROPORCIONES DE LOS AGREGADOS MEZCLADOS
M0	Mezcla normal sin agregados adicionales (Mezcla patrón)
M1	Mezcla con 10% de agregado triturado de ladrillo respecto a la fracción de agregado grueso
M2	Mezcla con 20% de agregado triturado de ladrillo respecto a la fracción de agregado grueso
M3	Mezcla con 30% de agregado de trituración de ladrillo respecto a la fracción de agregado grueso

Tabla 3. Proporciones en peso de las mezclas de concreto.

Nombre	Ensayo de Flexión					Ensayo de Compresión				
	w/c	Cemento (Kg)	AGN (Kg)	AFN (Kg)	AGR (Kg)	w/c	Cemento (Kg)	AGN (Kg)	AFN (Kg)	AGR (Kg)
M0	0,5	5,12	5,68	4,65	-	0,5	5,12	12,11	9,91	-
M1	0,5	5,12	5,01	4,56	0,56	0,5	5,12	10,70	9,72	1,19
M2	0,5	5,12	4,37	4,47	1,09	0,5	5,12	9,32	9,54	2,33
M3	0,5	5,12	3,75	4,39	1,61	0,5	5,12	8,01	9,36	3,43

AGN agregado grueso natural, agregado fino natural AFN, Agregado grueso reciclado AGR.

La consistencia del concreto fresco se midió luego de dos minutos de la fabricación de la probeta, mediante el método del cono de Abrams (foto 6). Según la norma NTC 396. «Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto». La

consistencia de un concreto refleja directamente la manejabilidad de este, propiedad muy importante en obra. Un concreto con buena manejabilidad debe tener una consistencia entre blanda y fluida, es decir un descenso entre los 5 y los 16 cm [8].



Foto 6. Método del cono de Abrams.

La Resistencia de compresión y de flexión se midieron después de los 28 días de curado, tiempo en el cual el concreto logra su resistencia nominal, siguiendo la norma NTC 673 «Ensayo de resistencia a la compresión de cilindros normales de concreto» y la norma NTC 2871 «Método de ensayo para

determinar la resistencia del concreto a la flexión. Utilizando una viga simple con carga en los tercios medios». Para la realización de estos ensayos se empleó una máquina marca DIR-CNTROLS, modelo CT-1300, con un rango de medición de 0 a 1000 KN (foto 7), la cual cuenta con certificación.



Foto 7. Máquina para ensayo de compresión y flexión

La medida de la absorción se evaluó para el concreto endurecido según la norma NTC 5653. «Determinación de la gravedad específica, absorción y vacíos en el concreto endurecido», para este ensayo se utilizaron pedazos de cilindros ya ensayados observándose que estuvieran libres de grietas, fisuras o bordes rotos.

### III. Análisis y discusión de resultados

A continuación se analizan y discuten los resultados arrojados por los diferentes ensayos realizados en esta investigación.

#### 3.1 Análisis químico del ladrillo reciclado

Al realizar el análisis químico a la muestra de polvo de ladrillo reciclado se observa la presencia de 5 compuestos, los cuales se comparan con la norma NTC 3493 «Cenizas volantes y puzolanas naturales, calcinadas o crudas, utilizadas como aditivos minerales en el concreto de cemento Portland»

Tabla 4. Comparación del análisis químico de ladrillo reciclado respecto a la norma NTC 3493

Nombre del compuesto	Formula Química	% en peso	Norma NTC 3493
Dióxido de sílice	SiO <sub>2</sub>	73	70 (% min)
Óxido de aluminio	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16	
Óxido de hierro	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9	
Óxido de Sodio	Na <sub>2</sub> O	0	1.5 (% máx)
Óxido de Calcio	CaO	1	-
Trióxido de azufre	SO <sub>3</sub>	1	4 (% máx)
Suma		100	
Pérdida al fuego*		2,8	10 (% máx)
Contenido de humedad		1,3	(% máx)

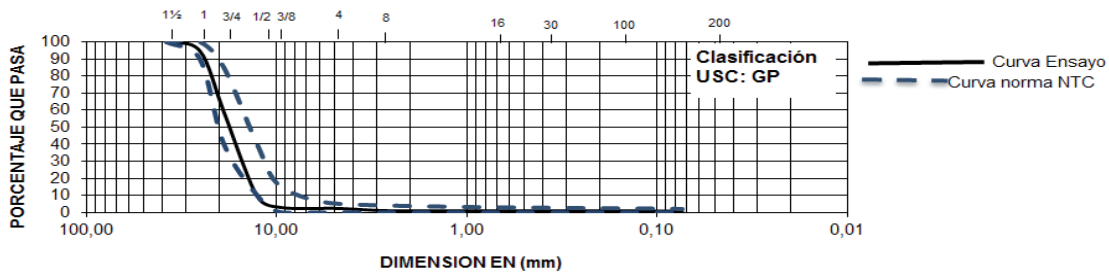
\* La pérdida al fuego se obtuvo sometiendo la muestra a una temperatura de 910 °C y realizando la diferencia de pesos.

En la tabla 4 se observa que la composición química del ladrillo reciclado cumple a cabalidad con cada uno de los ítems especificados en la Norma NTC 3493, lo que indica que este residuo tiene características similares a las de una puzolana natural, por lo cual es aceptable químicamente para ser utilizados como aditivo mineral en el concreto de cemento Portland.

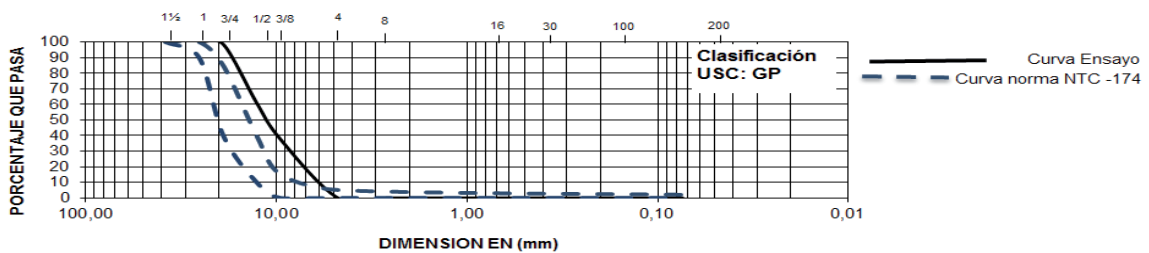
### 3.2 Granulometría de los materiales

Teniendo en cuenta, que la composición granulométrica de los agregados que intervienen en la elaboración de concreto es un factor importante para la manejabilidad de las mezclas y aumento en la resistencia de compresión y de flexión [9], se buscó obtener diferentes tamaños del agregado

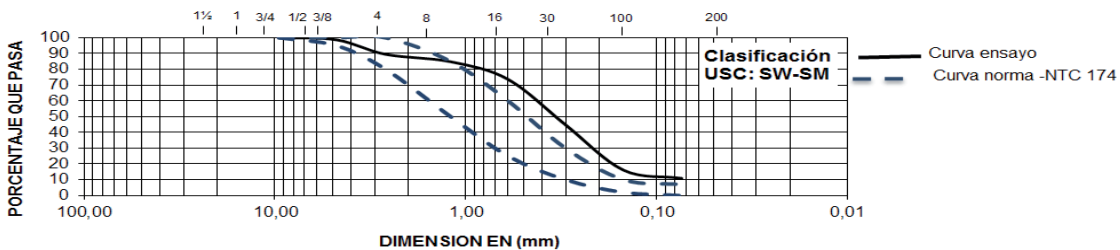
siempre y cuando estos estuvieran dentro o cerca de los límites permitidos por la norma NTC 174. En las gráficas 1, 2 y 3 se observan los resultados del análisis granulométrico para agregados gruesos natural (grava), agregados gruesos reciclado (triturado de ladrillo) y agregado fino (arena) respectivamente.



Gráfica 1. Granulometría de agregado grueso natural



Gráfica 2. Granulometría de triturado de ladrillo reciclado



Gráfica 3. Granulometría del agregado fino natural

### 3.2 Propiedades físicas de los agregados

En la tabla 5 se observan los resultados de las propiedades físicas de los agregados naturales y agregados triturados de ladrillo reciclado utilizados en la elaboración del concreto. En ella se identifica claramente que el agregado grueso reciclado presenta una densidad relativamente baja y una mayor absorción de agua en comparación con los agregados naturales. Estas características pueden atribuirse principalmente a la elevada porosidad y la forma angular de los ladrillos originales, lo cual

puede afectar la manejabilidad, consistencia y plasticidad del concreto [10] [11].

Tabla 5. Propiedades físicas de los agregados naturales y agregados triturados de ladrillo reciclado

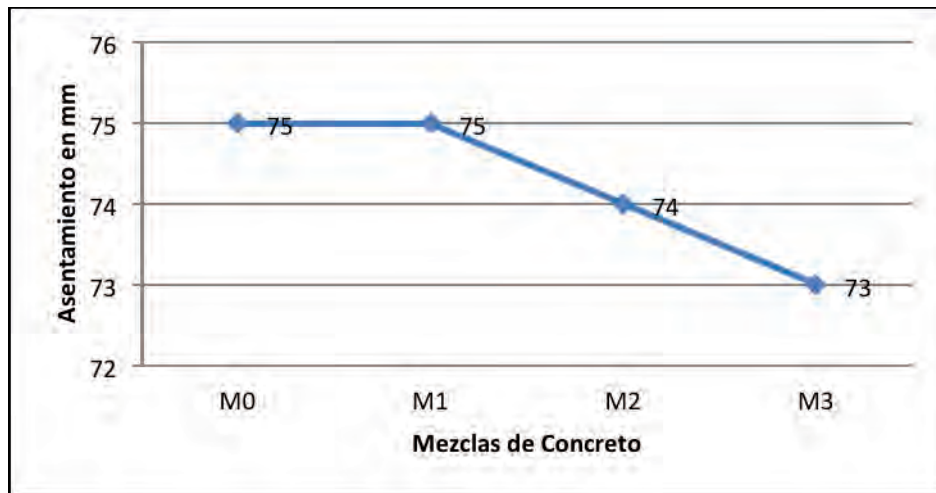
Propiedad	AGN	AFN	AGR
La densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	2,66	2,55	1,95
Absorción de agua (%)	0,87	1,52	9,90
Masa Unitaria (g/cm <sup>3</sup> )	1,40	1,60	0,98

AGN agregado grueso natural, agregado fino natural AFN, Agregado grueso reciclado AGR

### 3.4 Consistencia del concreto fresco

La consistencia media del concreto fresco con una relación a/c = 0,5 fue de 74 mm, como se muestra en la Gráfica 4. En esta se observa que al sustituir parcialmente la cantidad de agregado grueso natural por agregado triturado de ladrillo

reciclado la manejabilidad del concreto se mantiene aproximadamente constante, confirmando la buena manejabilidad de estos concretos en obra. Cabe recordar que los agregados reciclados se encontraban saturados al momento de la elaboración de las mezclas precisamente para evitar la pérdida rápida de fluidez en el concreto.

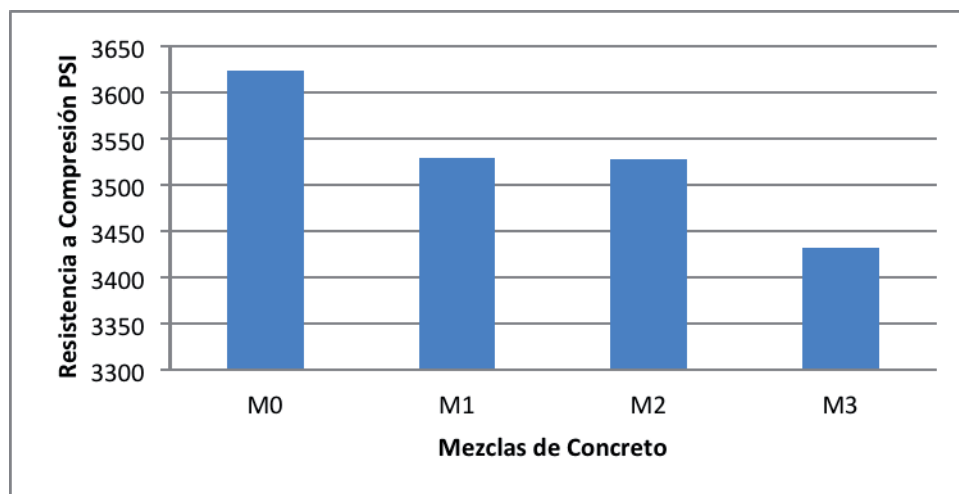


Gráfica 4. Consistencia del concreto fresco para las diferentes mezclas de concreto

### 3.5 Resistencia a la compresión

Las resistencias a la compresión de las diversas mezclas se presentan en la gráfica 5 para edades de 28 días. En esta aparece claramente que la resistencia a la compresión es más baja en la

M1, M2 y M3 comparada con la mezcla de referencia M0, sin embargo, esta disminución varía entre 2 y 6% demostrando que los resultados son similares a los arrojados por un concreto convencional diseñado para soportar una resistencia de 3000PSI [12].



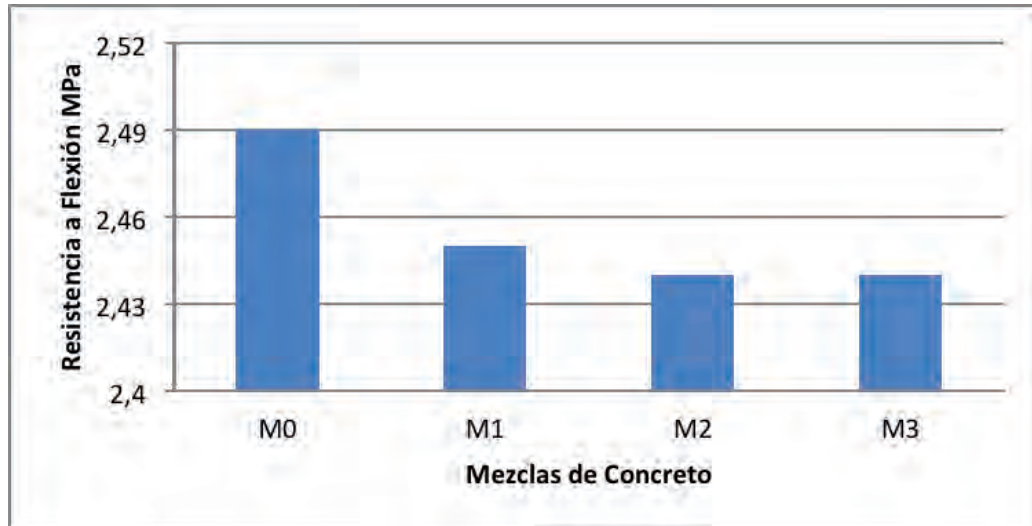
Gráfica 5. Resistencia a la compresión para las diferentes mezclas de concreto.



### 3.6 Resistencia de Flexión

La forma angular del material triturado de ladrillo y su rugosidad superficial benefician la unión entre este agregado y la pasta del cemento, por lo tanto pueden mejorar los rendimientos de la resistencia

a flexión [13]. En la Gráfica 6 se observa una disminución en la resistencia de flexión en las mezclas M1, M2 y M3 en comparación con la mezcla de referencia M0, similar a lo identificado en la resistencia a compresión, sin embargo, para la resistencia de flexión el rango de disminución es tan solo de 0 a 2%.

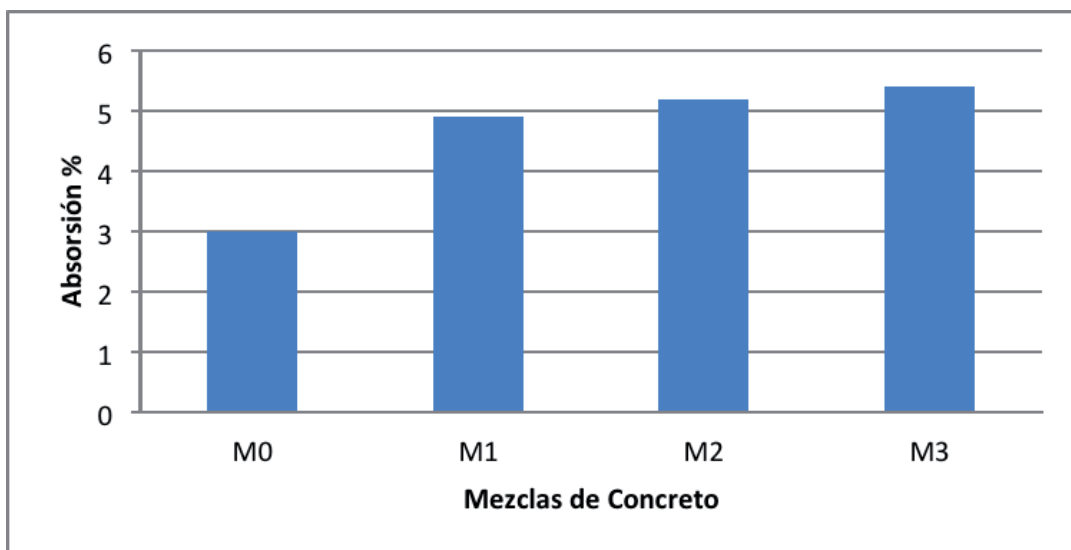


Gráfica 6. Resistencia de Flexión para las diferentes mezclas de concreto.

### 3.7 Absorción del concreto endurecido

Es notorio el incremento de la absorción en concretos elaborados con agregado triturado de ladrillo reciclado, lo que indica una mayor permeabilidad al agua, gráfica 7. En la investigación se encontró

que la absorción en la mezcla 3 es casi el doble de la mezcla de referencia M0. Para mejorar el comportamiento de las mezclas ante esta propiedad se recomienda el uso de un aditivo plastificante el cual tiene un efecto positivo al disminuir la absorción de agua [10].



Gráfica 7. Absorción en las mezclas de concreto endurecido.

## IV. Conclusiones

El uso de agregado triturado de ladrillo reciclado en la elaboración de concreto ofrece una solución prometedora para el problema de los residuos de ladrillo provenientes de defectuosa fabricación, construcciones nuevas o demoliciones. Según los resultados de esta investigación, este concreto reciclado puede ser utilizado como cualquier otro concreto convencional, siempre y cuando el porcentaje de agregado triturado de ladrillo reciclado no exceda el 30%.

Siempre que se desee emplear concreto 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.

## V. Referencias bibliográficas

- [1] European Thematic Network «Use of recycled materials as aggregates in the construction industry». *Recycling in construction*. Combined N.º 2, issue 3 & 4. 2000.
- [2] R. Gilpin, D. Menzie, H. Hyun. «Recycling of construction debris as aggregate in the Mid-Atlantic Region, USA» *Resources, Conservation and Recycling*. N.º 42. 2004. p. 276.
- [3] A. Morel, J. Gallias, M. Bauchard, F. Mana, E. Rousseau. «Practical guidelines for the use of recycled aggregates in concrete in France and Spain». *Demolition and reuse of concrete and masonry, proceedings of the third international RILEM symposium*. N.º 1. 1994. p. 75.
- [4] R. Akash, N. Kumar, M. Sudhir. «Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete». *Resources, Conservation and Recycling*. N.º 50. 2007. p. 72-73.
- [5] P. Chi-Sun, C. Dixon. «The use of recycled aggregate in concrete in Hong Kong» *Resources, Conservation and Recycling*. N.º 50. 2007. p. 295
- [6] S. Kobayashi, H. Kawano. «Properties and usage of recycled aggregate concrete». *Demolition and reuse of concrete and masonry*. N.º 2. 1988. p. 550
- [7] B. Marmash. «The properties of recycled precast concrete hollow core slabs for use as replacement aggregate in concrete». *Waste Materials in Construction*. N.º 1. 2000. p. 773.
- [8] P. Cachim. «Mechanical properties of brick aggregate concrete». *Construction and Building Materials*. N.º 23. 2009. p. 1294.
- [9] Y. Jian, D. Qiang, B. Yiwang. «Concrete with recycled concrete aggregate and crushed clay bricks». *Construction and Building Materials*. N.º 25, Issue 4. 2011. p. 1937.
- [10] F. Debieb, S. Kenai. «The use of coarse and fine crushed ricks as aggregate in concrete». *Construction and Building Materials*. N.º 22. 2008. p. 887-889.
- [11] D. Sadek. «Physico-mechanical properties of solid cement bricks containing recycled aggregates» *Journal of Advanced Research*. 2011. p. 5.
- [12] A. Pacheco, S. Jalali. «Reusing ceramic wastes in concrete». *Construction and Building Materials*. N.º 24. 2009. p. 835.
- [13] A. Devenny, F. Khalaf «The use of rough brick as coarse aggregate in concrete». *Masonry*. N.º 12. 1999. p. 81-84.