



Revista Latino-americana de Controle de Qualidade, Patologia e Recuperação da Construção

## Concreto reciclado: uma revisão

W. Martínez-Molina<sup>1</sup>, A. A. Torres-Acosta<sup>2</sup>, E. M. Alonso-Guzmán<sup>1</sup>, H. L. Chávez-García<sup>1</sup>, H. Hernández-Barrios<sup>3</sup>, C. Lara-Gómez<sup>1</sup>, W. Martínez-Alonso<sup>4</sup>, J. T. Pérez-Quiroz<sup>2</sup>, J. A. Bedolla-Arroyo<sup>5</sup>, F. M. González-Valdés<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Cuerpo Académico Consolidado 147, Departamento de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México, 58040

<sup>2</sup>Instituto Mexicano del Transporte de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Sanfandila, Pedro Escobedo, Querétaro, México, 76703

<sup>3</sup>Departamento de Estructuras de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México, 58040

<sup>4</sup>Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Autónoma de México, México Distrito Federal, 04510 y Universidad de Texas en Austin, Texas, Estados Unidos de Norteamérica, 78712

<sup>5</sup>Facultad de Arquitectura de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México, 58040

### RESUMO

A geração de resíduos sólidos de concreto, considerados como entulho, está se tornando um problema ambiental. Este material de construção é composto principalmente por cimento Portland (CP), mas um dos problemas é sua alta temperatura de fabricação, que gera poluentes. O uso de agregados triturados originados da demolição do concreto é aproveitável para a elaboração de Concreto Reciclado, um material que pode diminuir custos, diminuir a contaminação e tornar a edificação mais econômica. Porém, a elaboração de concreto reciclado enfrenta a busca por traços otimizados para se alcançar um maior desempenho mecânico sob solicitações estáticas e dinâmicas. Este artigo faz uma revisão dos avanços internacionais sobre este assunto.

**Palavras Chave:** Concreto reciclado, Resíduos sólidos, Cimento Portland, Agregados.

### ABSTRACT

The generation of solid residues of hydraulic concrete, also considered waste, is turning into an environmental problem. The construction material primarily manufactured is Portland cement, but one of the main problems is its high manufacturing temperature which generates pollutants. The use of grinded aggregates that come from the demolition of hydraulic concrete is used to generate recycled hydraulic concrete, a material that could lessen costs, decrease pollution and cheapen construction. Nevertheless, the elaboration of recycled concrete faces the search for optimal designs in order to achieve the highest mechanical performance under static and dynamic requests. This work reviews international advancements in this field.

**Keywords:** Recycled concrete, Solid residues, Portland cement, Aggregates.

### RESUMEN

La generación de residuos sólidos de concreto hidráulico, considerados como desecho, está convirtiéndose en un problema medioambiental. El material de construcción mayormente fabricado es el cemento Portland (CP), pero un problema es su alta temperatura de fabricación, que genera contaminantes. El uso de agregados triturados provenientes de demolición de concreto hidráulico se aprovecha para generar Concreto Hidráulico Reciclado, un material que puede abatir costos, disminuir la contaminación y abaratar la edificación. Sin embargo, la elaboración de concreto reciclado se enfrenta a la búsqueda de diseños óptimos para lograr el mayor desempeño mecánico bajo solicitaciones estáticas y dinámicas. En este trabajo se hace una revisión de los avances internacionales en esta temática.

**Palabras Clave:** Concreto reciclado, Residuos sólidos, Cemento Portland, Agregados

Autor de correspondência: Elia Mercedes Alonso Guzmán

## 1. INTRODUÇÃO

Entre as diversas áreas do conhecimento, a preservação do meio ambiente é uma parte da engenharia civil que pode ser resolvida a partir da reciclagem de concreto, pois o seu uso: minimiza o descarte de resíduos sólidos que contaminam o meio ambiente, reutiliza materiais considerados como entulho, que não possuem em si um custo significativo, inova a concepção de materiais para se alcançar o máximo desempenho mecânico sob solicitações estáticas e dinâmicas para melhorar as condições de vida daqueles que usam os edifícios construídos com esses materiais; preserva o meio ambiente por evitar sua contaminação por resíduos sólidos, diminuem as emissões de CO<sub>x</sub> no ar que todos respiramos e evita extrações desnecessárias de pedreiras, preservando a arquitetura da paisagem e da flora e fauna endêmicas.

Toda profissão do seu domínio específico do conhecimento tem a obrigação e responsabilidade moral de contribuir na medida do possível para melhorar e preservar o meio ambiente; de modo que a reciclagem de concreto é um tema de pesquisa fundamental para se evitar, como possível, o aquecimento global. Seu projeto, fabricação, durabilidade, desempenho, economia, viabilidade são pesquisados.

O emprego de materiais de construção reciclados tem origem no período pós-guerra, na década de 40 do século XX, pois a Europa possuía grandes quantidades de escombros resultantes dos bombardeios, que passaram a ser utilizados como materiais de reconstrução, com bons resultados. Os países mais devastados foram o Reino Unido e a Alemanha; as publicações da época, principalmente britânicas, alemãs e russas relatavam o uso dos escombros para a construção de novas obras civis, só que a maioria dos escombros eram materiais cerâmicos (ladrilhos, cerâmicas sanitárias), material pétreo natural, plásticos e borrachas ((Hoffmann et al., 2012, Kulakowski et al., 2012) e concreto; que posteriormente receberam adições como escórias, cinzas volantes, sílica ativa (González-Fonteboa et al., 2009). O concreto reciclado veio para a América no final do século XIX (Torres et al., 2014), e os EUA também começaram seus estudos no campo da reciclagem. O primeiro relatório sobre concreto reciclado foi feito na então União Soviética, por Gluzhge, P. em 1946, pouco tempo depois da 2<sup>a</sup> Guerra Mundial.

Os primeiros estudos realizados nos EUA, posteriores aos estudos de Gluzhge, recomendaram em primeiro lugar empregar o concreto reciclado derivado da infraestrutura viária ou pavimento rígido, e somente em segundo lugar os originados de edificações residenciais, pois destacam que estes podem estar contaminados com produtos a base de enxofre, visto que o gesso é utilizado em revestimentos (sulfato de cálcio anidro ou semi-hidratado), podendo então causar ataque por sulfatos ao novo concreto, acarretando danos à sua armadura. O concreto reciclado era empregado principalmente em misturas de asfalto para pavimentação, substituindo os agregados pétreos, cujo problema era a falta de afinidade elétrica com materiais asfálticos (Harek et al., 1971; Buck, A., 1972).

Durante muito tempo, tinha-se a ideia de que as rochas naturais de natureza ácida (base silicá: ignimbritas, dacites, andesitas, plagioclasas, ortoclases, quartzo, critobalita, tridimita, etc.) apresentavam carga elétrica superficial negativa, enquanto que as rochas naturais de caráter básico (os ferromagnesianos: basaltos) apresentavam cargas elétricas superficiais positivas. Pesquisas recentes destacam claramente que todos os agregados pétreos naturais (vulcânicos e triturados: arenitos, granitos, mármore, dacites, andesitas, riolitos, calcário, dolomita, quartzo, basaltos) possuem cargas elétricas negativas (Rodríguez Talavera et al., 2001).

O pensamento anterior era de se fazer misturas asfálticas com emulsões aniônicas e catiônicas, o que é de crucial importância para saber se haverá afinidade. Também tem sido elaborado concreto reciclado com resíduos de pneus em pavimentos asfálticos (Kardos et al., 2015). A

intensidade da carga superficial do agregado, combinado com a intensidade da carga do agente emulsivo, pode influir consideravelmente na velocidade de ruptura, particularmente no caso de emulsões catiônicas. Íons de cálcio e de magnésio presentes na superfície do agregado podem reagir com – e desestabilizar – certas emulsões aniônicas, acelerando a ruptura da emulsão (Carrasco, 2004). Este problema da afinidade elétrica superficial não ocorre nos casos de concreto reciclado com materiais cerâmicos.

## 2. ANTECEDENTES

Conseguir que materiais considerados como entulhos (lixo, resíduos), como é o caso do concreto demolido ou colapsado, sejam reutilizados na elaboração de novas misturas de concreto, resolve entre outros objetivos: (A) reutilização de resíduos sólidos, reduzindo a quantidade de resíduos ou entulhos que agride o meio ambiente e consequentemente os seres humanos, como por exemplo, o problema dos líquidos lixiviados; (B) projeto, inovação e elaboração de novos materiais de construção ecoeficientes; (C) conservação de matérias-primas e suas jazidas, resultando na não exploração e na preservação do habitat natural da flora e fauna nativa, conservação da arquitetura da paisagem, geoparques. Os recursos minerais não são renováveis; (D) diminuição da contaminação atmosférica, dando um novo uso a um material que durante sua produção emitiu CO e CO<sub>2</sub>.

A produção de agregados pétreos vulcânicos, como os regionais em Michoacán, México, por se tratar de rochas ígneas extrusivas, implica que são produtos de eventos vulcânicos e os derrames magmáticos são fontes de emissões de óxidos de enxofre, SO<sub>x</sub>. A atividade vulcânica se constitui uma importante fonte de emissões de SO<sub>x</sub> à atmosfera, sendo a principal fonte de enxofre a estratosfera (Amigo Ramos, 2000; López et al., 2015; Ruggieri, 2012). Os compostos CO e CO<sub>2</sub> são materiais que, por fotossíntese, podem se converter em O<sub>2</sub>, porém não há um processo que absorva compostos de enxofre produzindo oxigênio.

A fabricação de CP produz, aproximadamente, o mesmo peso em compostos de carbono liberados à atmosfera, como o CO e CO<sub>2</sub>, portanto o concreto reciclado também reduz a pegada de carbono na atmosfera. A América Latina não é conhecida por sua grande contribuição para a poluição global.

No México, em 2002, a principal fonte de gases de efeito estufa foi o setor de energia, responsável por cerca de 70% das emissões. Outros processos industriais, como a produção do cimento, vidro, aço, papel, alimentos e bebidas, entre outros, contribuíram com cerca de 9% das emissões de gases de efeito estufa do país (Cambio Climático, 2009). 40% do dióxido de carbono produzido por uma família regular vêm de veículos automotivos movidos por combustíveis fósseis e da construção de residências (<https://www.veoverde.com/2014/01/llegaron-las-viviendas-sustentables-a-mexico/>).

O concreto é um dos materiais mais amplamente produzidos e utilizados no mundo, na construção de obras civis e também militares, mas é também um gerador de grandes quantidades de resíduos sólidos associados com os processos de demolição e desperdício (Valdés et al., 2011). Para minimizar a mudança climática e a poluição ambiental, iniciou-se a assinatura do Protocolo de Quioto, que foi negociado em 1997 e entrou em vigor em 2005. O protocolo estabelecia que 37 países desenvolvidos reduzissem suas emissões de gases de efeito estufa em 5% até 2012, em relação aos seus níveis de emissões de 1990. O México, por não ser considerado um país desenvolvido, não o assinou.

O protocolo determinou que países desenvolvidos ao menos iniciassem políticas cujo foco seria a redução destes volumes de poluentes para a atmosfera, que também constitui um patrimônio de

todos (Alonso et al., 2007) através da reutilização, redução ou buscando outras alternativas de reciclagem (Debieb e Kenai, 2008; Rolón et al., 2007; G. Valdés et al., 2009). Estudos realizados na União Européia (Etxeberria et al., 2007; Vázquez, E. et al., 2004; [http://ficem.org/publicaciones-CSI/DOCUMENTO-CSI-RECICLAJE-DEL-CONCRETO/RECICLAJE-D-CONCRETO\\_1.pdf](http://ficem.org/publicaciones-CSI/DOCUMENTO-CSI-RECICLAJE-DEL-CONCRETO/RECICLAJE-D-CONCRETO_1.pdf); Jianzhuang et al., 2012; <http://www.concretosreciclados.com.mx/>; <http://www.veoverde.com/2013/11/concretos-reciclados-otra-apuesta-mexicana-por-el-ambiente/>) estabeleceram que a produção de resíduos da construção é de cerca de 900 milhões de toneladas/ano, conforme o exposto na Tabela 1. Estudos na Espanha, Alemanha, França e Inglaterra, países com escassez em jazidas de agregados pétreos, puderam determinar a viabilidade de se reutilizar o concreto procedente da construção como material granular, especialmente se houver uma falta dos mesmos. A busca por uma baixa demanda de combustíveis fósseis para a sua fabricação, transporte e reciclagem diminui a energia necessária à sua reutilização.

Observa-se que em relação à quantidade de produtos reciclados per capita, a Austrália se destaca com a melhor proporção, 25,78ton/habitante. Quanto à quantidade de concreto reciclado em função do território do país em questão, teoricamente, um maior território corresponderia a uma quantidade maior de obras da construção civil e, portanto, maior quantidade de resíduos; o Taiwan está, no entanto, com 1862,15 toneladas por km<sup>2</sup> de território, o maior índice encontrado nesta pesquisa. Também não se pode esquecer que muitos países ainda não têm um registro confiável.

Tem-se observado terremotos que assolaram países como a Turquia, Afeganistão, Nepal, mas não há registros na literatura indexada das quantidades de concreto utilizadas para reciclagem, sem esquecer tampouco que nestes países continua forte a tradição do uso de paredes de cerâmica e/ou adobe, com maiores módulos de elasticidade para absorção de energia dinâmica.

Estima-se que a produção anual de concreto seja de 25 bilhões de toneladas por ano. Devido à poluição ambiental e às alterações climáticas, torna-se importante iniciar a formação de uma consciência coletiva em países menos desenvolvidos a fim de reduzir a extração de materiais pétreos de ambientes naturais, reduzindo assim o esgotamento acelerado das reservas dos agregados provenientes tanto dos leitos de rios como das pedreiras (Rakshvir and Barai, 2006; Montoya et al., 2005). A demanda por recursos naturais e a escassez de matérias-primas é importante; portanto, a necessidade de preservar e proteger o meio ambiente de uma crise ecológica faz com que a técnica do concreto reciclado (Oikonomou, 2005) seja uma atividade de grande importância na construção (Aguilar et al., 2005).

Pesquisas anteriores mostraram que as propriedades físicas e mecânicas dos concretos reciclados, composto por adições de agregados reciclados em sua matriz, podem garantir a sua resistência e desempenho mecânico (Topcu, 1997; Topcu & Sengel, 2004; Topcu & Guncan, 1995). Estudos derivados de aplicações específicas em obras civis mostram que muitas vezes o resíduo de concreto não é suficiente e nem utilizado de forma eficiente. Este resíduo de concreto pode também ser usado para produzir elementos de concreto pré-fabricados, como blocos, materiais de isolamento, materiais leves e painéis.

Tabela 1. Resumo de concreto reciclado. 1 – Milhões de toneladas de concreto reciclado (CSI Recycling Concrete Full Report 2007); 2 – Território do país em km<sup>2</sup>; 3 – Habitantes em milhões; 4 – Relação de concreto reciclado em milhões de tonelada per capita e 5 – Relação de toneladas de concreto reciclado produzidas por km<sup>2</sup> de território.

| País            | 1      | 2           | 3     | 4     | 5       |
|-----------------|--------|-------------|-------|-------|---------|
| Alemanha        | 120.00 | 357,121     | 80    | 1.5   | 336.02  |
| Argentina       | 5.50   | 2 780 400   | 43    | 0.13  | 1.99    |
| Austrália       | 550.00 | 7,692,024   | 21.5  | 25.58 | 71.50   |
| Áustria         | 22.00  | 83,371      | 8.3   | 2.65  | 266.88  |
| Bélgica         | 14.00  | 30,510      | 10.4  | 1.36  | 458.87  |
| Brasil          | 50.00  | 8,500,000   | 200   | 0.25  | 5.88    |
| China           | 200.00 | 9,600,000   | 1,300 | 0.15  | 20.83   |
| Colômbia        | 13.00  | 1,141,748   | 47.4  | 0.27  | 11.38   |
| Costa Rica      | 0.50   | 51,100      | 5     | 0.10  | 9.78    |
| Dinamarca       | 5.00   | 43,098      | 5.6   | 0.89  | 116.01  |
| Estados Unidos  | 335.00 | 9,826,675   | 316   | 1.06  | 34.09   |
| Espanha         | 39.00  | 504,645     | 47.1  | 0.83  | 77.28   |
| Finlândia       | 1.60   | 337,030     | 5.4   | 0.3   | 4.74    |
| França          | 25.00  | 675,417     | 66    | 0.38  | 37.01   |
| Holanda         | 26.00  | 41,526      | 16.8  | 1.55  | 626.11  |
| Irlanda         | 17.00  | 84,421      | 6.2   | 2.74  | 201.37  |
| Israel          | 7.50   | 22 145      | 8.6   | 0.87  | 3.39    |
| Itália          | 40.00  | 301,338     | 59.4  | 0.67  | 132.74  |
| Japão           | 77.00  | 377,835     | 126.7 | 0.61  | 203.79  |
| Luxemburgo      | 2.70   | 2,586       | 0.54  | 5     | 1044.08 |
| México          | 30.00  | 1,964,375   | 119   | 0.25  | 15.27   |
| Portugal        | 4.00   | 92,391      | 10.6  | 0.38  | 43.29   |
| Reino Unido     | 70.00  | 243,610     | 63.2  | 1.11  | 287.34  |
| República Checa | 9.00   | 78,866      | 10.5  | 0.86  | 114.12  |
| Suíça           | 7.00   | 41,290      | 7.9   | 0.89  | 169.53  |
| Suécia          | 1.20   | 449,964     | 9.6   | 0.13  | 2.67    |
| Taiwan          | 67.00  | 35,980      | 23.1  | 2.9   | 1862.15 |
| Tailândia       | 10.00  | 513,115     | 65.5  | 0.15  | 19.49   |
| Mundial         | 900.00 | 150,386,640 | 7000  | 0.13  | 5.98    |

O método para diminuir o tamanho do concreto endurecido para se obter britas, pode produzir perdas por pulverização, na forma de agregados com tamanhos  $\leq \frac{1}{4}$  de polegada (6,4 mm), zonas porosas com suas correspondentes formas, tamanhos e distribuição dos poros nas matrizes, o que aumenta a área superficial e consequentemente a demanda de CP na nova mistura (Kou et al., 2011, Gómez-Soberon, 2012); morfologia indesejável das partículas trituradas, onde as

dimensões em relação aos eixos X, Y e Z são muito diferentes entre si, produzindo formas alongadas ou semicirculares (Eguchi et al., 2007). Para evitar que os agregados no concreto reciclado apresentem problemas como os descritos, o produto da moagem fina e grossa deve ser caracterizado para a elaboração de traços otimizados; alguns países já possuem norma para pedras recicladas (Martín-Morales et al., 2011).

Outro parâmetro a considerar é a porcentagem de pedra natural, que pode ser substituída por material reciclado (Etxeberria et al., 2007), o consumo de cimento por m<sup>3</sup> do concreto e a resistência mecânica dependem desta porcentagem (Marie and Quiasrawi, 2012), algumas misturas somente substituem os agregados graúdos por material reciclado, outras somente substituem os agregados miúdos por material reciclado (Evangelista y Brito, 2007; Raoa et al, 2007), a qualidade e as propriedades dos agregados dependem do leito de rocha ou do concreto de onde provêm, quanto maior a resistência do concreto original, maior será também a resistência dos agregados reciclados deste concreto (Kou et al., 2012), porém também existe a possibilidade de que os concretos primários tenham origens distintas; outros traços empregam ambos os tipos de agregado reciclado, alguns autores trabalham com porcentagens específicas de cada agregado (Mas et al., 2012). As alterações são dosadas e elaboradas de acordo com as propriedades mecânicas de projeto necessárias ao concreto reciclado (Padmíni et al., 2009; Tabsh y Abdelfatah, 2009).

O consumo de CP depende do método de dosagem, do valor do desvio padrão da produção de concreto utilizado, do tipo de material, do coeficiente sísmico, da qualidade do solo e do uso da edificação. Não existem métodos de dosagem conhecidos universalmente para elaborar argamassas ou concretos com agregados provenientes do concreto reciclado, mas tem-se elaborado com êxito argamassas com material reciclado (Abbas et al., 2009).

A dosagem de traços de concreto teve início no final do século XIX e início do século XX com o Duffy Abrams (Abrams, 1919). Até o final do século XX, o concreto era elaborado primordialmente com base na resistência mecânica à compressão, que é a propriedade referência do concreto, porém desde o início do século XXI esta premissa foi alterada, e devido o desempenho do concreto, a sua vida útil, a diminuição na necessidade de manutenção, a elaboração de traços de concreto passaram a contemplar também os critérios de durabilidade (Kwan et al., 2012; López Celis et al., 2006) sendo identificados como parâmetros a quantificar a resistividade e a velocidade do pulso ultrassônico.

Os traços de concreto com material reciclado são avaliados do ponto de vista do desempenho mecânico, desempenho físico, durabilidade (Casuccio et al., 2008), configuração de ruptura (Liu et al., 2011), fluidez, trabalhabilidade e abatimento (Guneyisi, 2010), idade e hidratação do cimento (Katz, 2003), grau de compactação do concreto, que pode ser alcançado com métodos vibratórios ou com concretos especiais autoadensáveis (Kou et al 2009).

Normalmente, o desempenho mecânico é avaliado através do ensaio de resistência à compressão simples (Xiao et al., 2005) em amostras cilíndricas ou cúbicas, mas se as arestas/lado das amostras apresentarem dimensões inferiores a 10cm, pode-se empregar nestas amostras, sem necessidade de preparo ou acabamento, o método de Point Load, tração simples e indireta, flexão ou módulo de ruptura. O módulo de ruptura é o valor de referência para o caso de projetos de pavimentos rígidos (Lye et al, 2016). A avaliação do concreto reciclado também é realizada com o emprego de métodos de ensaio não destrutivos, que não demandam o preparo do material, podem ser repetidos e não provocam danos ao mesmo; os ensaios de resistividade elétrica e velocidade de pulso ultrassônico são os mais empregados (Park et al., 2005). Para melhorar o desempenho das misturas de concretos são utilizados traços com fatores de segurança, menores relações a/c; cura prolongada por imersão ou aspersão (Fonseca et al., 2011). Outra maneira de influenciar a modificação das propriedades do concreto reciclado é a utilização de aditivos e de

adições ou substituições de cimento por materiais com atividade pozolânica. Podem-se elaborar concretos ativados alcalinamente com agregados originados na reciclagem do concreto (Kathirvel et al., 2016).

### 3. ATUALIDADE

O problema mais comum atualmente é relativo às emissões de gases de efeito estufa e as ações realizadas para possivelmente diminuí-las.

De diversas maneira se está estudando propostas que contribuem para a redução das emissões e dos resíduos para a atmosfera.

O desempenho da elaboração de concretos empregando britas originadas da reciclagem do concreto tem sido em geral suficiente para produzir um novo material cujo desempenho mecânico e durabilidade atendam às prescrições normativas internacionais. Talvez sua principal desvantagem possa ser considerada a porosidade dos agregados graúdos e miúdos produzidos por Trituração, o que pode ser solucionado tendo em conta para o estudo de novas misturas: 1º - A diminuição da relação água/cimento, que favorece a durabilidade e a obtenção da resistência mecânica necessária, porém esta premissa demanda o uso de aditivos plastificantes ou superplastificantes ou redutores de água (aditivos indicados no ASTM C-494) que permitem obter misturas com trabalhabilidade e fluidas. 2º - O emprego de resíduos agro-industrial que apresentem atividade pozolânica, ricos em aluminossilicatos, que "preencham" os vazios da pasta endurecida (recristalizem os poros, densificando a matriz), os oxalatos de cálcio, como a wewellita e o weddellite, têm mostrado que realizam a mesma função como adições ao concreto.

A hidratação e endurecimento de concreto continuam ao longo do tempo, onde se destacam contenções de concreto reciclado provenientes do concreto de uma construção da década de 60 demolida em 2011, que permaneceu sujeito às ações das intempéries durante os períodos de chuvas, formando novas ligas entre eles, solidificando-se e tornando difícil a sua ruptura com as mãos. O uso de resíduos com atividade pozolânica soluciona também, de forma indireta, o acúmulo de outros resíduos sólidos que contaminam e ocupam espaços; o emprego de adições ricas em silicoaluminatos que aumentam o desempenho mecânico das novas misturas; traços que aumentam a proteção da armadura ao se densificar, diminuindo o ataque por carbonatação nos concretos e, consequentemente, a corrosão das armaduras; outras maneiras de se evitar a corrosão das armaduras dos concretos é o uso de aço inoxidável, que é economicamente viável e reduz os custos de manutenção, aumentando a durabilidade (Pérez Quiroz et al., 2014).

Os resultados das propriedades físicas e mecânicas obtidas com as adições, substituições e aditivos empregados nas novas misturas de concreto e argamassa base cimento e cal, no estado fresco e endurecido, mostram a veracidade destas afirmações (Martínez et al., 2015; Bernabé, 2015 y 2012; Jacobo, 2014; Guzmán, 2014; Villicaña, 2014; Arreola, 2013; Zalapa, 2013; Contreras, 2013; Figueroa, 2013; Campos, 2013; Flores, 2013; Arguello, 2012; Gómez Zamorano et al., 2004; Moreno et al., 2004); e 3º - A adição de produtos pozolânicos químicos de grau de pureza industrial que podem ser ativados a temperaturas amenas; os materiais geopoliméricos (Rubio et al., Patente 2014; Rojas, 2013; Medina, 2011) ou materiais alcalinamente ativados.

Atualmente, experimentam-se resíduos sólidos múltiplos como agregados, que podem ter origens orgânicas, como fibras, cascas e sementes; adições que são resíduos de outros processos industriais, tais como a cinza de bagaço de cana, cinzas de carvão mineral, cinzas de processamento de materiais cerâmicos artesanais feitos de argila, escória da produção metalúrgica e siderúrgica.

## 4. DISCUSSÃO

A Tabela 1 mostra que a Austrália é o país que recicla em maior quantidade de toneladas per capita, enquanto que o Taiwan é o país que, devido o seu território, recicla mais toneladas de concreto; na mesma tabela, que contém os dados de 28 países, o México ocupa o 11º, indicando que estamos longe de utilizar todo o nosso potencial de concreto demolido, mas o esforço é significativo e mantido, e compartilhado pela comunidade.

O uso de concreto reciclado é mais comum na Europa, talvez devido à escassez de agregados minerais naturais. Na América Latina, especificamente no México, caso que conhecemos um pouco mais, está se buscando o uso contínuo de materiais considerados como resíduos sólidos para permitir respostas à conservação do meio ambiente, a busca e inovação de adições, métodos, técnicas e processos que melhorem as propriedades mecânicas do concreto reciclado.

Outro ponto a destacar é o contínuo estudo realizado sobre as novas tendências de dosagem de concreto por índice de durabilidade, para aumentar a vida útil das estruturas de concreto, levando à possível diminuição na demolição de concreto.

A reutilização de resíduos sólidos tem permitido encontrar propriedades sobre os mesmos que têm permitido o seu uso em traços de concreto/argamassa, modificando algumas de suas propriedades a favor da durabilidade.

## 5. REFLEXÕES

O emprego do material reciclado evita o acúmulo de concreto colapsado ou demolido, que necessite ser removido ou transportado para aterros de resíduos sólidos, com o consequente custo do combustível para o transporte. O acúmulo destes resíduos sólidos também tem provocado alterações na arquitetura da paisagem ao modificar a morfologia da superfície ou topografia das áreas de destinação do material demolido.

O uso de agregados reciclados permite diminuir a quantidade de emissões contaminantes ao meio ambiente.

O material reciclado permite que as jazidas não sejam sobreexploradas desnecessariamente, preservando, tanto quanto possível, a arquitetura da paisagem e fomentando o turismo geológico especializado, que envolve a preservação da biota endêmica, diminuindo o impacto ambiental das extrações e as falhas por deslizamento dos bancos de material próximos dos centros populacionais, assim como as recargas dos aquíferos.

## 6. CONCLUSÕES

A reciclagem do concreto soluciona a falta de agregados pétreos e a proteção de suas jazidas, também resolve se os agregados não cumprem com as normas vigentes, como o caso de espuma vulcânica ou pumícitas. A utilização de agregados de concreto reciclado também permite a cura interna das novas misturas de concreto, quando adicionados saturados.

O agregado pétreo obtido como resultado da demolição do concreto pode não apresentar as condições ideais, mas também existe a realidade de que muitos agregados pétreos minerais naturais existentes na região não atendem a todas as recomendações existentes nas normas de construção vigentes, e os construtores, engenheiros e arquitetos buscam maneiras de se extrair o maior proveito possível, alcançando um desempenho mecânico significativo.

Ainda há muito que se estudar sobre agregados reciclados, mas é possível obter um desempenho de 35MPa em concretos reciclados, se a brita for dosada, as relações a/c forem reduzidas, se forem adicionados aditivos para alterar a reologia das misturas no estado fresco para possibilitar o seu lançamento e que simultaneamente permitam alcançar a resistência.

Concomitantemente ao projeto e elaboração do concreto reciclado, deve ser explorada a possibilidade de se adicionar outros materiais que modifiquem as propriedades dos concretos em questão, alcançando condições econômicas e de sucesso.

A fim de evitar as emissões de carbono, interromper a construção seria o equivalente a diminuir a infraestrutura e conforto dos habitantes de um país, mas não fazer nada nos faz cúmplices de alguma forma, e é por isso que se buscam alternativas para a produção de materiais de construção que resultam da utilização de materiais que se tornaram entulhos, lixo e resíduos industriais, e encoraja-nos a continuar buscando alternativas de modificação das propriedades de novos materiais.

## 7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte financeiro da Coordenação de Investigação Científica da Universidade Michoacana de San Nicolás de Hidalgo; do programa de redes Temáticas do Programa de Aperfeiçoamento do Professor, Promep, da Secretaria de Educação Pública, SEP com o projeto intitulado: Red temática Promep para a Conservação de Materiais de Interesse Histórico e Artístico. Também se agradece pelas bolsas de estudo das Fundações Exxon Mobile, Telmex, ICA e do Conselho Nacional de Ciência e Tecnologia, Conacyt.

## 8. REFERÊNCIAS

- Abbas, A., G. Fathifazl, O. Burkan Isgor, A. Ghani Razaqpur, B. Fournier, S. Foo, 2009, *Durability of recycled aggregate concrete designed with equivalent mortar volume method*, Cement & Concrete Composites 31, 555–563
- Abrams, D., 1918, *The Design of Concrete Mixtures. First edition*, Lewis Institute, USA, pp 15-29
- Aguilar, C., M.P. Muñoz, O. Loyola, 2005, “*Uso de hormigón reciclado para la fabricación de hormigones*”, Revista Ingeniería de Construcción, 20 (1), 35-44
- Alonso, E., W. Martínez, J. C. Rubio, F. Velasco, H. L. Chávez, M. Ávalos, C. Lara y E. Cervantes, 2007, “*Calidad del Aire en cuatro ciudades de Michoacán, México: su efecto sobre materiales de construcción*”, Revista de la Construcción, ISBN 0717-7925, Revista 11, 6 (2), 66-74
- Amigo Ramos, A., 2000, Volcán Láscar: Aporte y dispersión de azufre oxidado a la atmósfera regional, Informe Final GL69F, Departamento de Geología Universidad de Chile, Chile, 3
- Arguello Hernández, S. C, 2012, “*Análisis comparativo entre técnicas no destructivas y destructivas aplicadas a morteros con substituciones minerales de alta temperatura, cenizas orgánicas e inorgánicas, residuos industriales y fibras de cactus*”, Tesis Maestría, Fac. Ing. Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, México
- Arreola Sánchez, M., 2013 “*ACTIVIDAD PUZOLÁNICA DE CENIZAS ORGÁNICAS (SUBPRODUCTOS AGROINDUSTRIALES), PARA MEJORAR LA DURABILIDAD DEL CONCRETO EN PUENTES*” Tesis Maestría, Fac. Ing. Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, México

- Bernabé Reyes C., 2012, “*Adiciones minerales de alta temperatura a morteros de cemento como modificadores de comportamiento físico-mecánico*”, Tesis Licenciatura Fac. Ing. Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, México
- Bernabé Reyes C., 2015, “*EVALUACIÓN DE MORTEROS DE CEMENTO SUSTITUIDOS CON CENIZAS PUZOLÁNICAS PARA MITIGAR EL FENÓMENO DE CORROSIÓN EN ESTRUCTURAS DE CONCRETO EN REHABILITACIÓN*”, Tesis Maestría, Fac. Ing. Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, México
- Buck, A. D., 1972, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi, RECYCLED CONCRETE C-72-14, 35p
- Cambio climático. Ciencia, evidencia y acciones Serie ¿Y el medio ambiente?, 2009, Semarnat, México
- Campos Núñez J. J., 2013, “*Evaluación de propiedades físico-mecánicas de un concreto con aditivo fluidificante, así como la disminución del consumo del cemento en su elaboración*” Tesis Licenciatura Fac. Ing. Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, México
- Carrasco Flores D. O., 2004, “*Estudio comparativo entre mezclas asfálticas en caliente y mezclas asfálticas con emulsiones tibias*”, Tesis de Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Piura, Perú, pp 44
- Casuccio, M., M. C. Torrijos, G. Giacco, R. Zerbino, 2008, Failure mechanism of recycled aggregate concrete, Construction and Building Materials 22, 1500–1506
- Chang, C.Y., R. Huang, P.C. Lee, T. L. Weng, 2011, *Application of a weighted Grey-Taguchi method for optimizing recycled aggregate concrete mixtures*, Cement & Concrete Composites 33, 1038–1049
- Contreras Marín, E., 2013, “*Comportamiento de un concreto ecológico, elaborado con agregados producto de la demolición y baja relación agua/cemento*”, Tesis Licenciatura Fac. Ing. Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, México
- Cruz Jiménez L., 2012, “*Comportamiento mecánico del carbón mineral y de la escoria de alto horno en morteros como substituto parcial del cemento*”, Tesis Licenciatura Fac. Ing. Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, México
- CSI Recycling Concrete Full Report, 2008, The Cement Sustainability Initiative, World Business Council for Sustainable Development, Iniciativa por la sostenibilidad del cemento, 2008, Reciclando concreto, Consejo Mundial Empresarial para el desarrollo sustentable, WBCSD, Suiza, [www.wbcsd.org](http://www.wbcsd.org) y [www.wbcsdcement.org](http://www.wbcsdcement.org) 12-13
- Debieb, F., and S. Kenai, 2008, “*The use of coarse and fine crushed bricks as aggregate in concrete*”. Construction and Building Materials, 22, 886-893
- Del Valle Moreno A., Guzmán Torres J. A., Alonso Guzmán E. M., Martínez Molina W., Torres Acosta A. A., Terán Guillén J., Montes Zea M. A., Torres Murillo A. I., Martínez Madrid M., 2015, *Solicitudes mecánicas y estáticas a concreto hidráulico simple elaborado con agregados pétreos redondeados y adicionados con fibras deshidratadas de cactus opuntia*, Publicación Técnica 448 del Instituto Mexicano del Transporte, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, México, ISSN 0188-7297
- Eguchi, K., K. Teranishi, A. Nakagome, H. Kishimoto, K. Shinozaki, M. Narikawa, 2007, *Application of recycled coarse aggregate by mixture to concrete construction*, Construction and Building Materials 21, 1542–1551
- Etxeberria, M., E. Vázquez, A. Marí, & M. Barra, 2007, “*Influence of amount of recycled coarse aggregates and production on properties of recycled aggregate concrete*”, Cement and Concrete Research, 37, 735–742

- Evangelista,L., J. de Brito, 2007, *Mechanical behaviour of concrete made with fine recycled concrete aggregates*, Cement & Concrete Composites 29, 397–401
- Figueroa Carranza R. A. 2013, “*Elaboración de concreto sustentable con adición mineral de alta temperatura como modificador del comportamiento físico-mecánico*”, Tesis Licenciatura Fac. Ing. Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, México
- Flores Lica O. R., 2013, “*Análisis Físico Mecánico de morteros de cemento adicionando metacaolín y poliestireo*”, Tesis Licenciatura Fac. Ing. Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, México
- Fonseca, N., J. de Brito, L. Evangelista, 2011, *The influence of curing conditions on the mechanical performance of concrete made with recycled concrete waste*, Cement & Concrete Composites 33, 637–643
- Gluzhge, P., 1946, "The Work of Scientific Research Institutes" Gidrotekhnicheskoye Stroitelstvo, No. 4, pp 27-28, USSR. A brief English summary of this work is in Engineer's Digest, 7 (10), 330
- Gomez-Soberon, J. M. V., 2002, *Porosity of recycled concrete with substitution of recycled concrete aggregate An experimental study*, Cement and Concrete Research 32, 1301– 1311
- Gómez Zamorano L. Y., J. I. Escalante García J. I, G. Mendoza Suárez, 2004, “*Geothermal waste: An alternative replacement material of Portland cement*”, JOURNAL OF MATERIALS SCIENCE 39, 4021 – 4025
- González-Fonteboa, B., Martínez-Abella F., Martínez-Lage I., Eiras-López J., 2009, *Structural shear behaviour of recycled concrete with silica fume*, Construction and Building Materials 23, 3406–3410
- Guneyisi, E., 2010, *Fresh properties of self-compacting rubberized concrete incorporated with fly ash*, Materials and Structures, 43,1037–1048
- Guzmán Torres J. A., 2014, “*Concreto de alta durabilidad y alto desempeño en infraestructura*”, Tesis de Maestría, Fac. Ing. Civil Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, México
- Harek, C. R., Gallaway, B. M., and Long, R. E., 1971, "Look at Processed Rubble - It's a Valuable Source of Aggregates", Roads and Streets, 114 (9), 82-85
- Hoffmann, C., S. Schubert, A. Leemann, M. Motavalli, 2012, *Review Recycled concrete and mixed rubble as aggregates: Influence of variations in composition on the concrete properties and their use as structural material*, Construction and Building Materials 35, 701–709  
<http://www.concretosreciclados.com.mx/> consulta 17 ene 2014
- [http://ficem.org/publicaciones-CSI/DOCUMENTO-CSI-RECICLAJE-DEL-CONCRETO/RECICLAJE-D-CONCRETO\\_1.pdf](http://ficem.org/publicaciones-CSI/DOCUMENTO-CSI-RECICLAJE-DEL-CONCRETO/RECICLAJE-D-CONCRETO_1.pdf), consulta 17 ene 2014
- <http://www.veoverde.com/2013/11/concretos-reciclados-otra-apuesta-mexicana-por-el-ambiente/> consulta 17 ene 2014
- <https://www.veoverde.com/2014/01/llegaron-las-viviendas-sustentables-a-mexico/>
- Jacobo Jacobo, S., 2014, “*Evaluación Físico Mecánica de Concreto Hidráulico elaborado con pétreos andesíticos, adicionando metacaolín, nanosílice y amidón*”, Tesis Licenciatura Fac. Ing. Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, México
- Jianzhuang, X., W. Li, Y. Fan, X. Huang, 2012, An overview of study on recycled aggregate concrete in China (1996–2011), Construction and Building Materials 31, 364–383
- Kardos A. J., S. A. Durham, 2015, *Strength, durability, and environmental properties of concrete utilizing recycled tire particles for pavement applications*, Construction and Building Materials 98, 832–845

- Kathirvel P., Saravana Raja Mohan Kaliyaperumal, 2016, *Influence of recycled concrete aggregates on the flexural properties of reinforced alkali activated slag concrete*, Construction and Building Materials, 102, 51–58
- Katz, A., 2003, *Properties of concrete made with recycled aggregate from partially hydrated old concrete*, Cement and Concrete Research 33, 703–711
- Kong, D., T. Lei, J. Zheng, C. Maa, J. Jiang, J. Jiang, 2010, *Effect and mechanism of surface-coating pozzalanics materials around aggregate on properties and ITZ microstructure of recycled aggregate concrete*, Construction and Building Materials 24, 701–708
- Kou, S.C., C. S. Poon, 2009, *Properties of self-compacting concrete prepared with coarse and fine recycled concrete aggregates*, Cement & Concrete Composites 31, 622–627
- Kou, S. C., C. S. Poon, M. Etxeberria, 2011, *Influence of recycled aggregates on long term mechanical properties and pore size distribution of concrete*, Cement & Concrete Composites 33, 286–291
- Kou, S. C., C. S. Poon, H. W. Wan, 2012, *Properties of concrete prepared with low-grade recycled aggregates*, Construction and Building Materials 36, 881–889
- Kulakowski, M.; Guerrero, M.; Barrera, J.; González, M., 2012, “*Viabilidad de utilización de aditivo estabilizador de hidratación (AEH) para el reciclaje del hormigón en estado fresco – Estudio de caso en el sur de Brasil*” en Revista de la Construcción, 11 (3), 99-111.
- Kwan, W. H., M. Ramli, K. J. Kam, M. Z. Sulieman, 2012, Influence of the amount of recycled coarse aggregate in concrete design and durability properties, Construction and Building Materials 26, 565–573
- Lara Gómez C., J. F. Mendoza Sánchez, M. G. López Domínguez, R. Téllez Gutiérrez, W. Martínez Molina, E. M. Alonso Guzmán, “*Propuesta Metodológica para la estimación de emisiones vehiculares en ciudades de la República Michoacana*”, Publicación Técnica 322 del Instituto Mexicano del Transporte, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, México, ISSN 0188-7297
- Li, W., J. Xiao, Z. Sun, S. Kawashima, S. P. Shah, 2012, *Interfacial transition zones in recycled aggregate concrete with different mixing approaches*, Construction and Building Materials 35, 1045–1055
- Liu, Q., J. Xiao, Z. Sun, 2011, *Experimental study on the failure mechanism of recycled concrete*, Cement and Concrete Research 41, 1050–1057
- López Celis R., J. T. Pérez Quiroz, A. A. Torres Acosta, M. Martínez Madrid, W. Martínez Molina, L. E. Ariza Aguilar, E. Zamudio Cíntora, J. Genescá Llongueras, B. Valdez Salas, 2006, *Durabilidad de la infraestructura de concreto reforzado expuesta a diferentes ambientes urbanos de México*. Publicación Técnica 292 del Instituto Mexicano del Transporte, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, México, ISSN 0188-7297
- Lopez T., H. E. Thomas, A. J. Pratac, A. Amigo, D. Feea, D. Moriano, 2015, “*Volcanic plume characteristics determined using an infrared imaging camera*”, Journal of Volcanology and Geothermal Research 300, 148–166
- Lye C. Q., Ravindra K. Dhir, Gurmel S. Ghataora, Hui Li, 2016, *Creep strain of recycled aggregate concrete*, Construction and Building Materials, 102, 244–259
- Marie, I., H. Quiasrawi, 2012, Closed-loop recycling of recycled concrete aggregates, Journal of Cleaner Production 37, 243-248
- Martín-Morales, M., M. Zamorano, A. Ruiz-Moyano, I. Valverde-Espinosa, 2011, Characterization of recycled aggregates construction and demolition waste for concrete production following the Spanish Structural Concrete Code EHE-08, Construction and Building Materials 25, 742–748

- Martinez-Molina Wilfrido, Torres-Acosta Andres, Martínez Pena G. E. Itandehui, Alonso-Guzman Elia, Mendoza-Perez Itzel, 2015, “CEMENT-BASED MATERIALS ENHANCED DURABILITY FROM OPUNTIA FICUS INDICA (OFI) MUCILAGE ADDITIONS”, ACI Materials Journal, 112 (1), 165-172, DOI: 10.14359/51687225
- Mas, B., A. Cladera, T. del Olmo, F. Pitarch, 2012, *Influence of the amount of mixed recycled aggregates on the properties of concrete for non-structural use*, Construction and Building Materials 27, 612–622
- Medina Olvera, S., 2011, “DISEÑO, ELABORACIÓN Y EVALUACIÓN DE UN RECUBRIMIENTO GEOPOLIMÉRICO PARA AUMENTAR LA DURABILIDAD DEL CONCRETO UTILIZADO EN LAS VÍAS TERRESTRES, SOMETIDO A INTEMPERISMO ACELERADO”, Tesis Maestría, Fac. Ing. Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, México
- Montoya, H. C. Pino y G. Valdés, 2005, “Reutilización de residuos del hormigón”, Revista BIT, 12 (41), 44-47
- Oikonomou, N. D., 2005, *Recycled concrete aggregates*, Cement & Concrete Composites 27, 315–318
- Moreno E., R. Solís, L. Aportela y Pardo, 2004, “Caracterización de la ceniza del volcán Popocatépetl y su aplicación como material cementante en su estado natural”, Revista Ingeniería de la Construcción, 19 (3), 127-134
- Padmini, A.K., K. Ramamurthy, M. S. Mathews, 2009, *Influence of parent concrete on the properties of recycled aggregate concrete*, Construction and Building Materials 23, 829–836
- Park T, S. B., D. S. Seo, J. Lee, 2005, Studies on the sound absorption characteristics of porous concrete based on the content of recycled aggregate and target void ratio, Cement and Concrete Research 35, 1846–1854
- Pérez Quiroz J. T., Terán Guillén J., Alonso Guzmán E. M., Martínez Molina W., Rendón Belmonte M., Torres Acosta A. A., Martínez Madrid M., 2014, *DETERMINACIÓN DE LA SOLDABILIDAD ENTRE UN ACERO INOXIDABLE AUSTENÍTICO Y UN ACERO AL CARBONO PARA APLICACIONES ESTRUCTURALES*, Publicación Técnica 395 del Instituto Mexicano del Transporte, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, México, ISSN 0188-7297
- Torres Acosta A. A., C. E. Celis Martínez, W. Martínez Molina y M. G. Lomelí González, 2010, *Mejora en la durabilidad de materiales base cemento, utilizando adiciones deshidratadas de dos cactáceas*, Publicación Técnica No. 326 del Instituto Mexicano del Transporte de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, México, ISSN 0188-7297
- Torres Acosta A. A., W. Martínez Molina, M. G. Lomelí González, A. Pérez Gallardo, 2010 bis, *Adiciones en base a cactus como inhibidor de corrosión para acero de refuerzo en concreto*, Publicación Técnica No. 328 del Instituto Mexicano del Transporte de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, México, ISSN 0188-7297
- Rakshvir, M. and S. Barai, 2006, “Studies on recycled aggregates-based concrete”, Waste Management and Research, 24, 225-233
- Raoa, A., K. N. Jha, S. Misra, 2007, *Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete*, Resources, Conservation and Recycling 50, 71–81
- Rodríguez Talavera R., V. M. Castaño Meneses, M. Martínez Madrid, 2001, Emulsiones Asfálticas, Publicación Técnica 23, Instituto Mexicano del Transporte, ISSN 0188-7114, pp 29
- Rojas Gutiérrez, E., 2013, “OBTENCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN RECUBRIMIENTO GEOPOLIMÉRICO ECOLÓGICO PARA AUMENTAR LA DURABILIDAD EN ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO”, Tesis Maestría, Fac. Ing. Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, México

- Rolón, J., D. Nieves, R. Huete, B. Blandón, A. Terán & R. Pichardo, 2007, “Caracterización del hormigón elaborado con áridos reciclados producto de la demolición de estructuras de hormigón”, Materiales de Construcción, 57 (288), 5-15
- Rubio Avalos J. C., W. Martinez Molina, E. M. Alonso Guzman, F. A. Velasco Avalos, 2014, PATENTE Geopolímero Fotoluminiscente, MX 2008001086 A1
- Ruggieri F., J. L. Fernandez-Turiel, J. Saavedra, D. Gimeno, E. Polanco, A. Amigo, G. Galindo, A. Caselli, 2012, “Contribution of volcanic ashes to the regional geochemical balance: The 2008 eruption of Chaitén volcano, Southern Chile”, Science of the Total Environment 425, 75–88
- Sánchez M. y P. Alaejos, 2006, “Influencia del árido reciclado en las propiedades del hormigón estructural”, Cemento y Hormigón, 889, 54-61
- Tabsh,S. W., A. S. Abdelfatah, 2009, *Influence of recycled concrete aggregates on strength properties of concrete*, Construction and Building Materials 23, 1163–1167
- Topcu, I.B. & N. Guncan, 1995, “Using waste concrete as aggregate”, Cement and Concrete Research, 25 (7), 1385-1390
- Topcu, I.B. 1997, “Physical and mechanical properties of concretes produced with waste concrete”, Cement and Concrete Research, 27 (12), 1817-1823
- Topcu, I.B. & S. Sengel, 2004, “Properties of concretes produced with waste concrete aggregate”, Cement and Concrete Research, 34(8), 1307-1312
- Torres Acosta A., E. Paredes Camarillo y E. Alonso Guzmán, 2014, “De Concreto. El Material que transformó la Industria de la Construcción”, Revista Relatos e Historias en México, VI (70) 62-67
- Valdés, G. et al, 2009, “Estudio de las características físicas y mecánicas de hormigones y bloques de hormigón fabricados con áridos reciclados”. XVII Jornadas Chilenas del Hormigón, octubre, Santiago, Chile
- Valdés, G., Reyes, O., González, G., (2011) “Aplicación de los residuos de hormigón en materiales de construcción” en Ingeniería y Desarrollo, 29 (1), 17-33
- Vázquez, E. et ál., 2004, Proc. RILEM International Conference on “The Use of Recycled Materials in Buildings and Structures”, Barcelona, Spain;
- Villicaña Cupa M. A., 2014, “Innovación en el diseño de concreto; empleo de puzolanas para incrementar la durabilidad”, Tesis Maestría, Fac. Ing. Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, México
- Xiaoa, J., J. Lia, Ch. Zhangb, 2005, Mechanical properties of recycled aggregate concrete under uniaxial loading, Cement and Concrete Research 35, 1187– 1194
- Zalapa Damián, A., 2013, “CONCRETO RECICLADO CON AGREGADOS PRODUCTO DE DEMOLICIÓN, ADICIONANDO FIBRAS DESHIDRATADAS DE CACTUS OPUNTIA BLANCO, PARA MODIFICAR SUS PROPIEDADES”, Tesis Licenciatura Fac. Ing. Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, México