



Concreto reciclado: una revisión

W. Martínez-Molina¹, A. A. Torres-Acosta², E. M. Alonso-Guzmán¹, H. L. Chávez-García¹, H. Hernández-Barrios³, C. Lara-Gómez¹, W. Martínez-Alonso⁴, J. T. Pérez-Quiroz², J. A. Bedolla-Arroyo⁵, F. M. González-Valdéz¹

¹Cuerpo 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. E-mail: eliamercedesalonso@gmail.com

²Instituto Mexicano del Transporte de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Sanfandila, Pedro Escobedo, Querétaro, México, 76703.

³Departamento de Estructuras de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México, 58040.

⁴Facultad 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.

⁵Facultad de Arquitectura de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México, 58040.

Información del artículo

Artículo recibido el 22 de Abril de 2015, revisado bajo las políticas de publicación de la Revista ALCONPAT y aceptado el 25 de agosto de 2015. Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores, se publicará en el segundo número del año 2016 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del primer número del año 2016.

© 2015 ALCONPAT Int.

Información Legal

Revista ALCONPAT, Año 5, No. 3, Septiembre – Diciembre 2015, es una publicación cuatrimestral de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, Internacional, A.C., Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, alconpat.int@gmail.com, Página Web: www.mda.cinvestav.mx/alconpat/revista
Editor responsable: Dr. Pedro Castro Borges. Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de Informática ALCONPAT, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado, Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida Yucatán, C.P. 97310, fecha de última modificación: 01 de septiembre de 2015.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor. Queda totalmente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la ALCONPAT Internacional A.C.

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 a 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: Recycling 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 correspondencia: Elia Mercedes Alonso Guzmán

1. INTRODUCCIÓN

Entre otras muchas áreas del conocimiento, la preservación del medio ambiente es una parte de la ingeniería civil que se puede resolver desde el concreto reciclado, pues su uso: minimiza la descarga de residuos sólidos que contaminan el medio ambiente, re-usa materiales considerados como desecho que no tienen un costo importante propiamente dicho, innova en diseño de materiales para lograr el máximo desempeño mecánico bajo sollicitaciones estáticas y dinámicas que permitan mejorar la situación de vida de quienes emplean las edificaciones construidas con estos materiales; preserva el medio ambiente por evitar contaminación con residuos sólidos, disminuye las emisiones de CO_x al aire que todos respiramos y evita extracciones innecesarias de las canteras de materiales geológicos conservando la arquitectura del paisaje, y la flora y fauna endémicas.

Cada profesión desde su particular dominio del conocimiento tiene la obligación y responsabilidad moral de contribuir en lo posible en el mejoramiento y preservación del medio ambiente; por lo que el concreto reciclado es un tema de investigación primordial para evitar en lo posible el calentamiento global. Se investiga su diseño, elaboración, durabilidad, desempeño, economía, viabilidad.

El empleo de los materiales de construcción reciclados data de la posguerra en los años 40's del siglo XX, pues Europa tenía grandes cantidades de escombros producto de los bombardeos, que comenzaron a usarse como canteras para reconstruir, con buenos resultados. Los países más devastados fueron el Reino Unido y Alemania, las publicaciones de la época, mayormente británicas, alemanas y rusas dan cuenta del uso de escombros para construcción de nuevas obras civiles, sólo que mucho de los escombros eran material cerámico (ladrillos, cerámicas de mobiliario de servicios sanitarios), material pétreo natural, plásticos y gomas (Hoffmann et al, 2012, Kulakowski et al, 2012) y concreto hidráulico; que posteriormente tuvieron adiciones como escorias, cenizas, humo de sílice (González-Fonteboa et al, 2009). El concreto hidráulico llegó a América a fines del siglo XIX (Torres et al, 2014), y los EEUU iniciaron también sus estudios en reciclado. El primer informe de concreto reciclado fue realizado en la entonces Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas, por Gluzhge, P. en 1946, poco tiempo después de la 2a Guerra Mundial.

Los primeros estudios realizados en EEUU, pero posteriores al estudio de Gluzhge, recomiendan en primera instancia emplear concreto hidráulico reciclado de origen de infraestructura vial o pavimento rígido, y sólo en segundo lugar el concreto reciclado proveniente de edificación como viviendas, pues mencionan que puede estar contaminado con productos de azufre, dado que para recubrimientos se usa yeso (sulfato de calcio anhidro o hemihidratado), y entonces podría provocarse ataque por sulfatos al nuevo concreto y este tipo de ataque daña al acero de refuerzo embebido en el concreto hidráulico. El concreto hidráulico reciclado se empleaba mayormente en mezclas de asfalto para pavimentos substituyendo a los agregados pétreos cuyo problema era la falta de afinidad eléctrica con los materiales asfálticos (Harek et al, 1971; Buck, A., 1972). Durante un largo periodo de tiempo se tuvo la idea de que los materiales pétreos naturales ácidos (base sílice: ignimbritas, dacitas, andesitas, plagioclasas, ortoclasas, cuarzo, critobalita, tridimita, etc.) presentaban cargas eléctricas superficiales negativas, mientras que los materiales pétreos básicos o alcalinos (los ferromagnesianos: basaltos) tenían cargas eléctricas superficiales positivas. En trabajos de investigación recientes ha quedado de manifiesto que todos los agregados pétreos naturales (volcánicos y triturados: areniscas, granitos, mármoles, dacitas, andesitas, riolitas, calizas, dolomitas, cuarzo, basaltos) tienen cargas eléctricas negativas (Rodríguez Talavera et al, 2001).

Lo anterior pensando en hacer mezclas asfálticas con emulsiones aniónicas o catiónicas, donde es de capital importancia saber si habrá afinidad. También se ha elaborado concreto reciclado con residuos de neumáticos como en los pavimentos asfálticos (Kardos et al, 2015) La intensidad de la carga de la superficie del agregado, en combinación con la intensidad de la carga del agente emulsivo, puede influir marcadamente en la velocidad de rotura, en particular en el caso de emulsiones catiónicas. Iones de calcio y de magnesio presentes en la superficie del agregado pueden reaccionar con -y desestabilizar a – ciertos emulsivos aniónicos, acelerando la rotura de la emulsión (Carrasco, 2004). Este problema de la afinidad eléctrica superficial no ocurre en los casos de concretos hidráulicos reciclados con matrices cerámicas.

2. ANTECEDENTES

Lograr que materiales considerados como desechos sólidos (basura, residuos), como el caso del concreto demolido o colapsado, se re-usen para elaborar nuevas mezclas de concreto, resuelve entre otros objetivos: A) re-uso de residuos sólidos, abatiendo la cantidad de residuos o desechos que dañan al medioambiente y por ende a los humanos, por ejemplo problemas de lixiviados; B) diseño, innovación y elaboración de nuevos materiales de construcción ecoamigables; C) conservación de los minerales naturales de las canteras, que redundan en no ataque, no explotación y preservación al hábitat natural de flora y fauna nativa, conservación de la arquitectura del paisaje, geoparques. Los recursos minerales son no renovables; D) disminución de la contaminación atmosférica, al darle un nuevo uso a un material que para su producción emitió CO y CO₂. La producción de agregados pétreos volcánicos, como los regionales en Michoacán, México, al tratarse de rocas ígneas extrusivas implica que son producto de eventos volcánicos y las eyecciones magmáticas son fuente de emisiones de azufre oxidado, SO_x. La actividad volcánica constituye una fuente importante de emisiones de SO_x a la atmósfera, siendo la principal fuente de azufre a la estratósfera (Amigo Ramos, 2000; López et al, 2015; Ruggieri, 2012). Los Compuestos CO y CO₂ son materiales que por fotosíntesis pueden convertirse en O₂, sin embargo no hay un proceso que absorba compuestos de azufre produciendo oxígeno.

La fabricación de CP produce aproximadamente el mismo peso en compuestos de carbono vertidos a la atmósfera, como CO y CO₂, entonces el reciclado de concreto también reduce la huella de carbono en la atmósfera. América Latina, no se distingue por su gran contribución a la contaminación global.

En México el 2002, la principal fuente de gases de efecto invernadero en México fue el sector energía, responsable de cerca de 70% de las emisiones. Otros procesos industriales, como la producción del cemento, vidrio, acero, papel, alimentos y bebidas, entre otros, contribuyeron con alrededor de 9% de las emisiones totales de GEI del país (Cambio Climático, 2009). El 40% del dióxido de carbono producido por una familia regular proviene de los vehículos automotores que circulan con combustibles fósiles y de la construcción de viviendas (<https://www.veoverde.com/2014/01/llegaron-las-viviendas-sustentables-a-mexico/>).

El concreto es uno de los materiales más ampliamente producido y utilizado en el mundo, en la construcción de obras civiles y también militares, pero también es un generador de grandes volúmenes de residuos sólidos asociados a los procesos de demolición y desperdicio (Valdés et al 2011). Para aminorar el cambio climático y la contaminación ambiental, se trabajó en la firma del Protocolo de Kyoto, que fué negociado en 1997 y puesto en vigor en 2005. El protocolo pretendía que 37 países desarrollados redujeran sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en un 5 por ciento para el año 2012, con respecto a sus niveles de emisiones de 1990. México al no ser un país considerado como desarrollado, no lo signó.

El protocolo ha propiciado que los países desarrollados al menos inicien políticas cuyo enfoque es la disminución de estos volúmenes de contaminantes vertidos a la atmósfera, que es además patrimonio de todos (Alonso et al 2007) mediante su reutilización, disminución o buscándoles otra alternativa de reciclado (Debieb y Kenai, 2008; Rolón et al, 2007; G. Valdés et al, 2009).

Estudios realizados en la Unión Europea (Etxeberria et al 2007; Vázquez, E. et al, 2004; 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/>) han podido establecer que la producción de residuos de la construcción asciende a aproximadamente 900 millones de toneladas/año, como aparece en el resumen de la Tabla 1. Investigaciones en España, Alemania, Francia e Inglaterra, países que carecen de abundancia en canteras de agregados pétreos minerales naturales, han podido determinar la viabilidad de reutilizar concreto hidráulico procedente de la construcción como material granular, máxime si existe la carencia de los mismos. Buscar que requieran de poco combustible fósil para su fabricación, transporte y reciclado, lo que disminuya la energía necesaria para su re-uso.

Se observa que respecto a la cantidad de reciclado per cápita, se distingue Australia con la mayor cantidad, 25.78 Ton/habitante. Respecto a la cantidad de concreto reciclado en función al territorio del País en cuestión, de forma teórica, a mayor territorio correspondería mayor construcción de obra civil y por tanto mayores residuos, sin embargo se distingue Taiwán, con 1862.15 Toneladas por km² de territorio, siendo el mayor índice del resumen. Tampoco puede perderse de vista que muchos países aún no tienen un registro fidedigno.

Se ha hablado de los sismos que han asolado a países como Turquía, Afganistán, Nepal, pero no hay registros en la literatura indizada de las cantidades que se usan de concreto para reciclado, sin olvidar tampoco que en estos países se continúa con la fuerte tradición de muros de cerámica y/o adobe, con mayores módulos de elasticidad para absorción de energía dinámicas.

La Producción Mundial de concreto hidráulico se estima en 25 mil millones de toneladas anuales. A causa de la contaminación ambiental y el cambio climático, cobra importancia iniciar la creación de conciencia colectiva en los países menos desarrollados a fin de reducir la extracción de materiales pétreos de los entornos naturales, disminuyendo así un agotamiento acelerado de las reservas de áridos provenientes tanto de los cauces de los ríos como de las canteras (Rakshvir and Barai, 2006; Montoya et al 2005). La demanda de recursos naturales y la escasez de materias primas es importante; por ello, la necesidad de preservar y proteger el medio ambiente de un desequilibrio ecológico, hace que la técnica del concreto reciclado (Oikonomou, 2005), sea una actividad de gran importancia en la construcción (Aguilar et al 2005).

Investigaciones previas han demostrado que las propiedades físicas y mecánicas del concreto hidráulico reciclado, constituido por adiciones de árido reciclado en su matriz, pueden garantizar su resistencia y desempeño mecánico (Topcu, 1997; Topcu & Sengel, 2004; Topcu & Guncan, 1995). Estudios derivados de aplicaciones concretas en obras civiles, muestran que muchas veces el residuo del concreto no es suficiente ni eficientemente empleado. Este residuo de concreto también puede emplearse para producir elementos prefabricados de concreto, como bloques, materiales aislantes, materiales aligerados, paneles.

Para un reciclado exitoso, deben considerarse diversas variables en el diseño de las nuevas mezclas de concreto: porcentaje de material reciclado, porcentaje de gruesos reciclados, de material fino, relación agua/cemento, densidad del material reciclado, empleo de fluidificantes, revenimiento (trabajabilidad), resistencia mecánica, homogeneidad (Chang et al, 2011). El estudio de la microestructura del concreto reciclado presenta nuevos retos pues la zona interfacial (ITZ) tiene 2 zonas difíciles de identificar en función de la edad/hidratación (Kong et al, 2010; Li et al, 2012):

concreto fraguado antiguo y moderno, con diferentes composiciones, porosidades, densidades, antigüedades, resistividades, hidrataciones y durezas.

Tabla 1. Resumen de concreto reciclado. 1. Millones de Toneladas de concreto reciclado (CSI Recycling Concrete Full Report 2007); 2. Territorio del país en km²; 3. Habitantes en millones; 4. Relación de Concreto Reciclado en millones de toneladas por cápita y 5. Relación de Toneladas de concreto reciclado producidas por km² de territorio.

País	1	2	3	4	5
Alemania	120.00	357,121	80	1.5	336.02
Argentina	5.50	2 780 400	43	0.13	1.99
Australia	550.00	7,692,024	21.5	25.58	71.50
Austria	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
Colombia	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
España	39.00	504,645	47.1	0.83	77.28
Finlandia	1.60	337,030	5.4	0.3	4.74
Francia	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
Italia	40.00	301,338	59.4	0.67	132.74
Japón	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
Suiza	7.00	41,290	7.9	0.89	169.53
Suecia	1.20	449,964	9.6	0.13	2.67
Taiwán	67.00	35,980	23.1	2.9	1862.15
Tailandia	10.00	513,115	65.5	0.15	19.49
Mundial	900.00	150,386,640	7000	0.13	5.98

El método de disminución del tamaño del concreto hidráulico endurecido para obtener gravas, puede producir pérdidas por pulverización, tamaños casi como áridos $\leq \frac{1}{4}$ pulgada (6.4 mm), zonas

porosas con sus correspondientes formas, tamaños y distribución de los poros en las matrices, que incrementan el área superficial aumentando la demanda de CP en la nueva mezcla (Kou et al, 2011, Gómez-Soberon, 2012); morfología indeseable de las partículas trituradas donde las dimensiones respecto a los ejes X, Y y Z sean muy diferentes entre sí, produciendo formas alargadas o semiaciculares (Eguchi et al, 2007). Para evitar que los áridos en el concreto reciclado presenten problemas como los descritos, el producto de la trituración fino y grueso debe caracterizarse para realizar diseños de concreto óptimos; algunos países ya tienen un código para pétreos reciclados (Martín-Morales et al, 2011). Otro parámetro a considerar es el porcentaje de pétreos naturales que puede sustituirse por material reciclado (Etxeberria et al, 2007), el consumo de cemento por m³ de concreto hidráulico y la resistencia mecánica son funciones de estos porcentajes (Marie and Quiasrawi, 2012), algunas mezclas sólo substituyen los agregados gruesos por material reciclado, otras sólo substituyen los agregados finos por material reciclado (Evangelista y Brito, 2007; Rao et al, 2007), la calidad y propiedades de los agregados dependen de la roca madre o concreto de dónde provienen, mientras mayor sea la resistencia del concreto primario, mayor será también la resistencia de los agregados reciclados provenientes del concreto original (Kou et al, 2012) pero también existe la posibilidad de que los concretos primarios tengan orígenes distintos; otros diseños de mezclas emplean ambos tipos de agregado reciclado, algunos autores trabajan con porcentajes específicos de cada agregado (Mas et al 2012). Las variaciones se diseñan y elaboran en función de las propiedades mecánicas de diseño que se buscan en el concreto reciclado (Padmini et al 2009; Tabsh y Abdelfatah, 2009).

El consumo de CP depende del método de diseño, el factor de seguridad, el tipo de material, el coeficiente sísmico, la calidad del suelo, el uso de la construcción. No existen métodos de diseño universalmente reconocidos para diseñar morteros o concretos con áridos provenientes de concreto reciclado, pero se han elaborado morteros con material de reciclado de manera exitosa (Abbas et al, 2009).

El diseño de mezclas de concreto inició a fines del siglo XIX y principio del siglo XX con el Dr. Duffus Abrams (Abrams, 1918). Hasta fines del siglo XX el concreto hidráulico se diseñaba primordialmente basado en la resistencia mecánica a compresión, que es la propiedad índice del concreto, sin embargo desde el inicio del siglo XXI cambió la orientación y ahora debido al desempeño del concreto, a la vida útil, a la necesidad de disminución en el mantenimiento, el diseño de mezclas de concreto contempla también los criterios de durabilidad (Kwan et al 2012; López Celis et al, 2006) identificando la resistividad y la velocidad de pulso ultrasónico como parámetros a cuantificar.

Las mezclas de concreto con material reciclado se evalúan desde los puntos de vista de desempeño mecánico, desempeño físico, durabilidad (Casuccio et al, 2008), formas de falla (Liu et al 2011), fluidez, trabajabilidad y revenimiento (Guneyisi, 2010), edad e hidratación del cemento (Katz, 2003), grado de compactación del concreto, que puede lograrse con métodos vibratorios o con cementos especiales autocompactantes (Kou et al 2009).

El desempeño mecánico usualmente se evalúa con pruebas destructivas de esfuerzo de ruptura a compresión simple (Xiaoa et al, 2005) si existen especímenes cúbicos o cilíndricos, pero si sólo existen esquirlas de dimensiones aproximadas máximas de 10.0 cm se puede emplear el método del Point Load para esas muestras sin labrar, tensión simple y tensión indirecta, flexión o módulo de ruptura. El módulo de ruptura es el valor índice para el caso de diseño de pavimentos rígidos (Lye et al, 2016). La evaluación del concreto reciclado también se realiza con el empleo de métodos de prueba no destructivos que no requieren de preparación del material, pueden repetirse y no provocan daño del mismo; las pruebas de resistividad eléctrica y velocidad de pulso ultrasónico son las más empleadas (Park et al, 2005). Para mejorar el desempeño de las mezclas de concreto hidráulico se recurre a diseños de mezclas con factores de seguridad, disminución de las relaciones

A/C; curado prolongado por inmersión o por aspersión (Fonseca et al, 2011). Otra manera de incidir en la modificación de las propiedades de los concretos reciclados es el empleo de aditivos y adiciones o sustituciones de cemento por materiales con actividad puzolánica. Se pueden elaborar concretos activados alcalinamente con agregados producto del reciclado del concreto hidráulico (Kathirvel et al, 2016)

3. ACTUALIDAD

El problema más acucioso actualmente es el relativo a las emisiones de efecto invernadero y la posibilidad y acciones realizadas para disminuirlas.

Por muchos caminos se está trabajando en propuestas que concurren en la reducción de emisiones y de residuos a la atmósfera.

El desempeño de la fabricación de concreto empleando pétreos (rocas) producto del reciclado del concreto ha sido en lo general suficiente para producir un nuevo material cuyo desempeño mecánico y durabilidad cumpla con los estándares internacionales. Quizá su desventaja principal pudiera considerarse la porosidad de los agregados gruesos y finos producidos por la trituración, lo que ha podido resolverse tomando en consideración para el diseño de nuevas mezclas: 1°- La disminución de la relación agua/cemento que favorecerá la durabilidad y la obtención de la resistencia mecánica suficiente, pero su resolución se hace empleando fluidificantes o superfluidificantes o reductores de agua (aditivos indicados en ASTM C-494) que permitan obtener mezclas trabajables y fluidas. 2°- El empleo de residuos agroindustriales que presenten acusada actividad puzolánica, ricos en silicoaluminatos, que “llenen” los huecos de la pasta endurecida (recristalicen en los poros densificando la matriz), los oxalatos de calcio como la weddellite y la wewellita han demostrado que realizan la misma función como adiciones al concreto (Torres et al, 2010; Torres et al, 2010 bis; Del Valle et al, 2015). El concreto sigue hidratándose y endureciendo a lo largo de la línea del tiempo, incluso contenedores de concreto reciclado provenientes de concreto demolido en 2011 y construido en los 60's que permanecieron a la intemperie durante el periodo de lluvias, formaron nuevas ligas entre ellos, solidificándose y haciéndose difícil romperlos con las manos. El uso de residuos con actividad puzolánica resuelve también de forma indirecta la acumulación de otros residuos sólidos que contaminan y ocupan espacios, el empleo de adiciones ricas en silicoaluminatos que incrementan el desempeño mecánico de las nuevas mezclas, mezclas que incrementan la protección del acero de refuerzo embebido en ellas al densificarse, disminuyendo el ataque por carbonatación en concretos y por consiguiente la corrosión en los aceros, otras maneras de evitar la corrosión en el acero de refuerzo de los concretos es el uso de acero inoxidable, que económicamente parece poco costoso pero que reduce con creces los gastos de mantenimiento aumentando la durabilidad (Pérez Quiroz et al 2014). Los resultados de las propiedades físicas y mecánicas obtenidos de las adiciones, sustituciones y aditivos empleados en nuevas mezclas de concreto hidráulico y mortero bases cemento y cal, en estados fresco y endurecido, muestran la veracidad de estas afirmaciones (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); y 3°- La adición de productos químicos puzolánicos de grado pureza industrial que puedan activarse a temperaturas amigables, los materiales geopoliméricos (Rubio et al, Patente 2014; Rojas, 2013; Medina, 2011) o materiales alcalinamente activados.

Actualmente se experimenta con múltiples residuos sólidos como agregados, que pueden tener orígenes orgánicos como fibras, cáscaras y semillas; adiciones que son residuos de otros procesos industriales como la ceniza de bagazo de caña, ceniza de carbón mineral, cenizas de elaboración

de materiales cerámicos artesanales hechos de arcillas, escorias de producción metalúrgica y siderúrgica.

4. DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se observa que Australia es el país que recicla el mayor número de toneladas por cápita, mientras que Taiwán es el país que en función de su territorio recicla más toneladas de concreto, en la misma tabla que contiene los datos de 28 países, México ocupa el lugar 11, lo que indica que estamos lejos de usar todo nuestro concreto demolido, pero el esfuerzo es importante y sostenido, y compartido por la comunidad.

El uso del concreto reciclado es más común en Europa, quizá por la falta de agregados minerales naturales. En América Latina, específicamente en México, caso que conocemos un poco más, se está buscando el empleo sostenido de materiales considerados como desechos sólidos que permitan respuestas a la conservación del medio ambiente, a la búsqueda e innovación de adiciones, métodos, técnicas y procesos que mejoren las propiedades mecánicas del concreto reciclado.

Otro punto a mencionar es el sostenido y continuo trabajo realizado en las nuevas tendencias de diseño de concreto hidráulico por índices de durabilidad, para alargar la vida útil de las estructuras de concreto, conduciendo a disminuir en lo posible la demolición de concreto hidráulico.

El re-uso de residuos sólidos ha conducido también a encontrar propiedades de los mismos que les han permitido adicionarse a las mezclas de concreto/mortero, modificando algunas de sus propiedades en favor de la durabilidad.

5. REFLEXIONES

Usar material reciclado evita que haya acumulaciones de concreto colapsado o demolido que necesite ser removido o transportado a vertederos de residuos sólidos, con el consiguiente gasto de combustible para el traslado. Las acumulaciones de estos residuos sólidos también han provocado cambios en la arquitectura del paisaje al modificar la morfología de la superficie o topografía de las zonas de recepción de material demolido.

El uso de agregados producto del reciclado permite disminuir la cantidad de emisiones contaminantes al medio ambiente.

El material reciclado permite que no se sobreexploten innecesariamente las canteras, conservando en lo posible la arquitectura del paisaje y fomentando el turismo geológico especializado que conlleva la preservación de la biota endémica, disminuyendo el impacto ambiental de las extracciones y los modos de falla por deslizamiento de los bancos de material cercanos a los centros poblacionales, así como las recargas a los mantos acuíferos.

6. CONCLUSIONES

Reciclar concreto resuelve la falta de agregados pétreos y la protección de sus canteras, también resuelve si los agregados no cumplen con la normativa vigente, como el caso de las espumas volcánicas o pumicitas. El uso de agregados provenientes de concreto reciclado permite también que éstos se coloquen saturados en la mezclas y así se inicie el curado interno de las mezclas nuevas de concreto reciclado.

El agregado pétreo obtenido como resultado de la demolición del concreto podría no tener las condiciones ideales, pero también existe la realidad de que muchos agregados pétreos naturales

minerales existentes localmente no cumplen con todas y cada una de las recomendaciones existentes en los Reglamentos de Construcción vigentes, y los constructores, ingenieros y arquitectos, buscan la manera de sacarles el mayor provecho posible logrando desempeños mecánicos importantes.

El agregado de origen reciclado tiene aún mucho por estudiar pero sí es posible obtener desempeños de 350 MPa en concretos reciclados si se dosifica el pétreo, se reducen las relaciones A/C, se adicionan aditivos que modifiquen la reología de las mezclas frescas para su colocación y que simultáneamente permitan alcanzar la resistencia.

Simultáneamente al diseño y elaboración del concreto reciclado deben explorarse posibilidades de adiciones de otros materiales que modifiquen las propiedades de los concretos así elaborados consiguiendo condiciones exitosas y económicas.

En aras de evitar las emisiones de carbono, frenar la construcción, equivaldría no incrementar la infraestructura y comodidad de los habitantes de un país, pero no hacer nada nos vuelve cómplices de alguna manera, y es por esto que se buscan alternativas para la producción de materiales de construcción que sean el resultado del empleo de materiales que se han convertido en desechos, residuos y basuras industriales, y nos compromete a seguir buscando alternativas de modificación de las propiedades de los nuevos materiales.

7. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el soporte financiero de la Coordinación de la Investigación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo; del programa de Redes Temáticas del Programa de Mejoramiento del Profesorado, Promep, de la Secretaría de Educación Pública, SEP con el Proyecto de titulado: Red Temática Promep para la Conservación de Materiales de Interés Histórico y Artístico. También se agradece por las becas estudiantiles de las Fundaciones Exxon Mobile, Telmex, ICA y del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Conacyt.

8. REFERENCIAS

- 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. Giaccio, 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 sustituto 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.wbcd.org y www.wbcdcement.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, *Solicitaciones 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

Etzeberria, 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.concretosrecicladados.com.mx/> consulta 17 ene 2014
- 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-recicladados-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 almidón*”, 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 pozzalanic 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.; Gonzáles, 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. Quisrawi, 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. Valdéz, 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 Popocatepetl 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