


**MEMORIAS 2008  
CONGRESO NACIONAL  
DE ADMINISTRACIÓN Y  
TECNOLOGÍA PARA LA  
ARQUITECTURA, INGENIERÍA  
Y DISEÑO**

**4**



**COMPORTAMIENTO DE  
ESPECÍMENES DE CONCRETO  
RECICLADO ANTE LA ACCIÓN  
ACELERADA DE CARGAS  
AMBIENTALES**

**M. I. Luis Felipe Jiménez Torrez  
Dr. José Antonio Domínguez Lepe**



## COMPORTAMIENTO DE ESPECÍMENES DE CONCRETO RECICLADO ANTE LA ACCIÓN ACELERADA DE CARGAS AMBIENTALES.

**M. I. Luis Felipe Jiménez Torrez**

Profesor investigador de ITCH

**Dr. José Antonio Domínguez Lepe**

Profesor investigador del ITCH

### RESUMEN

La presente propuesta de investigación consiste en evaluar el comportamiento de especímenes de concreto preparados a base de agregados pétreos obtenidos de residuos de construcción y/o demolición de edificios, combinados con aditivos como PET y bagazo de caña de azúcar, principalmente, para obtener mejoras en su durabilidad. Dado que el proceso de impacto de las cargas ambientales, como la humedad, penetración de cloruros o la carbonatación puede tomar varios años, a fin de obtener resultados en el corto plazo, se contempla el uso de una cámara que simule la acción de dichas cargas en forma acelerada. Con los resultados, se espera formular especificaciones técnicas para la elaboración de concretos reciclados que sirvan de base para la emisión a futuro de un anteproyecto de norma de dicho material, buscando por una parte abaratar los costos de construcción de muchos elementos fabricados con materiales tradicionales, y por otra parte, contribuir en gran medida a la preservación de nuestro medio ambiente.

**Palabras clave:** Residuos de construcción y demolición, durabilidad, cargas ambientales

### ESTADO DEL CAMPO O DEL ARTE

El concreto es un material 100% reciclable, siempre que no esté contaminado, y puede utilizarse en muchas obras y estructuras diferentes cumpliendo con las especificaciones para los materiales agregados tradicionales. Incluso se ha combinado con otros productos para estudiar su comportamiento y propiedades mecánicas. La revisión extensa de la literatura, mostró que las principales aplicaciones de este material se encuentran en la construcción de bases para pavimentos y manufactura de elementos prefabricados como bloques y pisos. Ejemplos recientes, se exponen a continuación:

Una investigación experimental en Estados Unidos, emprendida por Sobhan y Krizek (1999) consistió en probar la resistencia a la fatiga de un material utilizado para base de pavimento, compuesto por agregados reciclados, pequeñas cantidades de cemento Pórtland y cenizas volantes, reforzado con fibra de acero. Las muestras preparadas alcanzaron límites de resistencia comparables con los materiales típicos utilizados en pavimentos para autopistas. En este mismo campo de la construcción, Nataatmadja y Tan (2001), de la Universidad Griffith en Australia, presentaron resultados de su trabajo con agregados reciclados de concreto (RCA) obtenidos por trituración. Los especímenes fueron sometidos a la prueba triaxial con repetición de carga un día después de su compactación. Se determinó que la resistencia puede verse afectada significativamente debido al contenido de finos (10%) en las muestras por lo que su utilización en bases y sub bases de carreteras queda

sujeta a un control efectivo de estándares de calidad del producto. Por su parte, Chini et al (2001) reportan desde la Universidad de Florida, una evaluación de materiales reciclados de concreto para base de pavimento con mezclas asfálticas en caliente y como agregado de cemento Portland en pavimentos rígidos. Comprobaron que en la medida que aumenta el porcentaje de RCA en las muestras disminuye la resistencia a esfuerzos de flexión y compresión. Sin embargo los valores alcanzados, del orden de 35 Mpa, se consideran aceptables. Similares resultados se hallaron en Corea, presentados por Park (2003) al experimentar con material reciclado seco y húmedo para bases de pavimento rígido, y en Tokio, por Agil et al (2005) quienes estudiaron las características de esfuerzo deformación de los agregados reciclados de concreto sometidos a compresión triaxial.

Otras aplicaciones interesantes se encuentran en la construcción de pavimentos flexibles a base de emulsiones como la reportada en España por Pérez et al (2007). Su trabajo consistió en la dosificación de mezclas bituminosas con áridos reciclados de residuos de construcción y demolición. Encontraron que las propiedades mecánicas son parecidas a las de aquellas mezclas fabricadas con materiales naturales de cantera. Sin embargo, experimentaron una disminución de la resistencia por pérdida de cohesión debida a la acción del agua, atribuida a una mala selección de los materiales. Dichos resultados contrastan con los hallados en Quintana Roo, México, por Jiménez y Hernández (2007) en un trabajo casi paralelo al anterior, que tuvo como finalidad comprobar que es posible la elaboración de una mezcla asfáltica con material producto de los residuos de construcción y demolición, susceptible de ser empleada en la reparación o bacheo de pavimentos flexibles. El estudio consistió básicamente en recolectar residuos reciclables en diferentes obras seleccionadas, consiguiendo agregados pétreos por trituración que sirvieron para preparar una mezcla con emulsión asfáltica, la cual fue sometida a distintas pruebas de campo y laboratorio para determinar su comportamiento mecánico. Los resultados obtenidos se encontraron dentro de los rangos aceptados por la normatividad oficial. El estudio incluyó un análisis de costo directo por metro cúbico de muestra reciclada que reveló un ahorro del 22% en relación a una mezcla tradicional.

Otras aplicaciones se han enfocado hacia la obtención de material pétreo producto de los procesos mismos de construcción y demolición para la producción de concreto. En este sentido, Khalaf y De Venny (2004) en el Reino Unido, se enfocaron a demostrar que el material reciclado de escombros de albañilería, especialmente de la demolición de muros, puede ser utilizado como agregado en la fabricación de concreto. Otros autores han efectuado investigaciones que revelan poca diferencia entre las características físicas del agregado grueso natural y el obtenido con materiales reciclados. En España, Huete y Blandón (2004) se avocaron a la caracterización de material reciclado de residuos cerámicos de construcción, determinando que el material granular obtenido es apto para distintas aplicaciones en la industria de la construcción como sub-bases de carreteras, firmes de grava-cemento y áridos para empedrados y engravillados.

Por su parte, Domínguez et al (2004) compararon las características físicas del agregado grueso natural en la región de Quintana Roo, México con agregado obtenido por trituración de residuos de construcciones de concreto. Los resultados mostraron poca diferencia entre ambos, tal y como se observa en la tabla 1.

Tabla 1.- Características físicas del agregado grueso

Característica	Unidad	Material	
		Natural	Reciclado
Peso volumétrico seco y suelto	Kg./m <sup>3</sup>	1,061.00	1,129.00
Peso volumétrico seco y compacto	Kg./m <sup>3</sup>	1,138.00	1,176.00
Densidad	Kg./lt	2.03	1.99
Absorción	%	13.64	11.82
Abrasión	%	35.70	43.40

Sin embargo, los problemas del agregado producto de material reciclado encontrados en esta investigación estuvieron relacionados con su alto contenido de fracción fina, sobre todo aquella que pasa la malla 100 y que puede alcanzar valores del 20%, lo que redundó en el incremento de la demanda de cemento al fabricar concreto y dificultades en la trabajabilidad de las mezclas. Esta problemática no es ajena a los agregados naturales, tal y como lo demostraron Bonavetti et al (2004), quienes en su trabajo concluyeron que el contenido de hasta un 20% de polvo de piedra menor a 75  $\mu\text{m}$  no modifica la consistencia, ni velocidad de exudación en el concreto.

De Oliveira y Silveira de Assis (2006), en Sao Paulo, Brasil, trataron de evaluar el efecto que podría ocasionar el uso de agregado reciclado en la adherencia concreto-acero. Las pruebas de laboratorio indicaron que los elementos fabricados con este tipo de concreto podrían soportar incluso tensiones superiores a 25 Mpa.

El estudio del comportamiento del concreto fabricado con materiales pétreos reciclados, en México, desarrollado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM (Martínez y Mendoza, 2006), se ha enfocado al uso de residuos de concreto premezclado, teniendo cierto avance en cuanto a sus propiedades mecánicas, dejando ver que con una granulometría adecuada su comportamiento resulta similar al de un concreto natural clase dos, según el Reglamento de Construcción del Distrito Federal. Sin embargo, el uso generalizado de concreto premezclado aún tiene muchas limitaciones, sin olvidar que la mayor cantidad de residuos proviene de los procesos de construcción y demolición de edificios.

La fabricación de elementos de concreto con material reciclado de residuos de la construcción, puede tener el inconveniente de valores altos de porosidad redundando en problemas de durabilidad, principalmente por la penetración de cargas ambientales como son los cloruros y carbonatos. El ACI 318-02 define la durabilidad del concreto como la "capacidad para resistir a la acción del tiempo, los ataques químicos, la abrasión o cualquier otro proceso de deterioro; es decir, que el concreto durable debe retener su forma original, su calidad y sus condiciones de servicio, cuando se exponga a su medio ambiente". Las condiciones de exposición que acarrear los daños más comunes en el concreto provienen de los líquidos y gases que lo penetran, originando acciones químicas que derivan en la corrosión del acero de refuerzo (Lamond, 1998).

Durante muchos años se pensó que las construcciones hechas con concreto tendrían una vida ilimitada, y los diseñadores y constructores estuvieron principalmente interesados en las características asociadas con la resistencia mecánica del material. A partir de 1980 se empezó a analizar el hecho de que muchas construcciones no estuvieran manteniendo la seguridad y utilidad requeridas durante un tiempo suficientemente largo.

Los costos asociados a problemas de durabilidad alcanzaron en 1986 la cifra de \$20 billones de dólares en los Estados Unidos (Hernández y Mendoza, 2006). Otros países, como el Reino Unido destinan el 40% de su inversión en la industria de la construcción para trabajos de reparación y mantenimiento de elementos estructurales de concreto (Neville, 2001). Estadísticamente resulta difícil determinar las causas de problemas de durabilidad en estructuras de concreto. A principios de la década de los 80's se realizó en España un estudio cuyos resultados atribuyen un 16% de las causas a los materiales, 30% a procesos constructivos y el 45% a problemas que se acarrean desde el diseño (Hernández y Mendoza, 2006).

En materia de normatividad, el aspecto de durabilidad ha sido incluido en los reglamentos de construcción de países como Japón, Australia y Nueva Zelanda, así como en países de la Unión Europea (Aitcin, 1998). En México, las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (RCDF) incluyeron por primera vez un apartado sobre el tema hace 3 años (Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2004).

El concreto es más vulnerable cuando se encuentra bajo el ataque de sustancias agresivas en solución ejerciendo presión sobre alguna de sus superficies, pues la presión tiende a forzar la solución agresiva dentro del concreto. Este marco de referencia reduce pues las posibilidades de ataque químico externo al concreto, sin embargo existen agentes que incrementan la posibilidad de deterioro como son: las temperaturas elevadas, velocidades de flujo altas, mucha absorción y permeabilidad, el curado deficiente y los ciclos de humedecimiento y secado.

En la costa, la presencia de cloruros ocasiona frecuentemente problemas de corrosión en las armaduras reduciendo la durabilidad. Estos compuestos pueden ingresar al concreto por adición durante su fabricación por medio del uso de aditivos o de agua y agregados previamente contaminados; o también pueden ingresar por medio de la acción del aerosol marino; en donde la velocidad y dirección del viento predominante juega un papel importante.

La corrosión puede considerarse un problema internacional. En promedio, los países invierten del 2 al 5% del PNB a subsanar los daños ocasionados por tal fenómeno en las estructuras de concreto (Castro et al, 1995). Por lo que toca a nuestro país, se ha detectado que más del 90% de las industrias presentan deterioros por corrosión (Ávila, 1986), y en Yucatán se ha estimado que los costos por problemas de corrosión rebasan el 8% del PIB estatal (Orozco, 1998).

Otro de los agentes ambientales asociado a problemas de durabilidad en el concreto es la carbonatación. En este proceso, los compuestos hidratados del cemento por el  $\text{CO}_2$  (dióxido de

carbono) reducen el pH de la solución intersticial a un valor tal que la capa de óxidos, formada en medio alcalino y que protege el acero, pierde su estabilidad. Al destruirse esta capa, la corrosión puede desarrollarse en medio aéreo y húmedo. En general, el efecto sobre la resistencia es nulo ya que lo que permite la carbonatación es la despasivación de la armadura y consecuentemente como producto de la corrosión los efectos expansivos de ésta.

La carbonatación es un fenómeno que conlleva la disminución de alcalinidad en forma importante. Para determinar su presencia en el concreto, se utiliza un método consistente en el tratamiento de una superficie acabada de romper con una solución al 1% de fenolnaftaleína en alcohol etílico con objeto de observar la coloración rosada que se adquiere en ausencia de la carbonatación a ciertas profundidades. En realidad la prueba de fenolnaftaleína da una medida del pH. Esta solución es incolora para valores de pH inferiores a 8. Para valores superiores a 9.5 se torna color rojo púrpura y para valores entre 8 y 9.5 la coloración es de color rosado (Andrade et al, 1988).

La carbonatación ocurre progresivamente desde el exterior del concreto expuesto al  $\text{CO}_2$ , pero lo hace a una rapidez decreciente pues el  $\text{CO}_2$  se ha de difundir a través del sistema de poros, que incluye la zona superficial carbonatada del concreto. Tal difusión es un proceso lento si los poros de la pasta de cemento hidratado están llenos de agua, ya que la difusión del  $\text{CO}_2$  en el agua es cuatro órdenes de magnitud más lenta que en el aire. La rapidez de carbonatación más alta sucede a una humedad relativa cuyo valor se ubica entre 50 y 70 por ciento. En condiciones hidrométricas constantes, la profundidad de carbonatación aumenta en proporción con la raíz cuadrada del tiempo. Es posible expresar la profundidad de Carbonatación D en milímetros, como:

$$D = Kt^{0.5} \quad (1)$$

Donde:

K= coeficiente de carbonatación en mm. /año

T= tiempo de exposición en años.

Los valores de K son con frecuencia más de 3 ó 4 mm. /año para concreto de baja resistencia (Lago y Paula, 1997). En particular, si la superficie del concreto está expuesta a una humedad variable, con mojado periódico, la rapidez de Carbonatación se reduce por causa del retardo de difusión del  $\text{CO}_2$  a través de los poros saturados de la pasta de cemento endurecido.

Otsuki *et al* (2001) propusieron un método para mejorar la resistencia a la penetración de cloruros y carbonatos en el concreto elaborado a base de agregados reciclados. Para ello diseñaron 5 tipos de agregado reciclado y 4 niveles de relación agua-cemento. Sin embargo, el efecto de dichos agentes ambientales, como ya se dijo antes, puede ser tardado. La velocidad de carbonatación está sujeta a la facilidad de penetración del  $\text{CO}_2$  que a su vez depende del medio (humedad relativa y concentración del  $\text{CO}_2$ ), de las características del concreto (humedad, composición, tipo de cemento utilizado y relación agua/cemento), y de la presencia de fisuras. Por ello, autores, como Linares y Sánchez (2003) en Venezuela y Moreno *et al* (2004) en Yucatán, emplearon una cámara para carbonatación acelerada, fabricada en forma de prisma rectangular con vidrio y acrílico donde se inyecta  $\text{CO}_2$  y se controlan las condiciones de temperatura y humedad, obteniendo resultados bastante apegados a la realidad.

En forma similar, Carvajal *et al* (2004) en Chile, sometieron en un ambiente marino simulado una serie de probetas fabricadas con distintos tipos de cemento, para estudiar el efecto de penetración de los cloruros y el potencial de corrosión. Los resultados estuvieron muy apegados a lo esperado, pues a menor razón agua-cemento en las mezclas, se observó una menor penetración de cloruros. Por su parte Zongjin *et al* (2005) en Hong Kong, decidieron simular pruebas aceleradas para evaluar la durabilidad del concreto utilizando un sistema computarizado, combinando distintos ensayos como resistencia al congelamiento, permeabilidad, agrietamiento y profundidad de carbonatación.

En otro tipo de estudio, Malavé *et al* (2006) evaluaron la durabilidad de bloques de adobe (tierra-cemento-sisal) armado con una barra de acero de 3/8" expuestos durante 1000 días a un ambiente marino simulado, utilizando una solución al 3% de cloruro de sodio. La penetración de cloruros fue determinada en forma tradicional aplicando el método de Mohr al polvo extraído de las muestras. Para los ensayos electroquímicos que sirvieron determinar el potencial eléctrico y la velocidad de corrosión se empleó el conocido sensor Gecor 6. De acuerdo con los datos obtenidos, se llegó a la conclusión que la cantidad de cloruros libres en todos los casos fueron suficientes para despasivar el acero y que por tanto el uso de este tipo de material no es recomendable en zonas de litoral.

Encaminado al mejoramiento de la durabilidad del concreto natural o reciclado, se ha experimentado con otros materiales aditivos. Udoeyo *et al* (2006), probaron con distintas dosificaciones que van del 5% al 30% por peso de cemento, el uso de cenizas de residuos de madera como aditivo del concreto. Los esfuerzos a la compresión y flexión en las muestras preparadas, estuvieron en el rango de 12.83 a 28.66 N/mm<sup>2</sup>, y 3.65 a 5.57 N/mm<sup>2</sup>, respectivamente. Como era de esperarse, los valores más bajos de resistencia correspondieron a aquellas muestras donde el contenido del aditivo fue mayor.

En otra investigación, Pacheco *et al* (2007), propusieron la utilización de materiales cementantes complementarios como las puzolanas naturales en reemplazo de cemento Portland ordinario en dosificaciones del 10 y 20%. En su experimento sometieron una serie de probetas a un proceso acelerado de penetración de cloruros sumergiéndolas en una solución de 35 g/L de Na Cl y secado a 40° C. Posteriormente realizaron pruebas mecánicas, eléctricas y electroquímicas, determinando que con el uso de la puzolana natural tiende a disminuir la velocidad de degradación asociada a un proceso de corrosión.

En resumen, el concreto fabricado con agregados obtenidos mediante procesos de reciclaje de residuos de construcción y demolición ofrece útiles y variadas aplicaciones, pero aún con mucha incertidumbre en cuanto a su respuesta ante las cargas ambientales y resistencia que podría alcanzar. Por ello, se recomienda el estudio de este material experimentando con aditivos o adiciones que puedan mejorar su comportamiento y durabilidad.

## **OBJETIVO GENERAL**

Estudiar el comportamiento de especímenes de concreto reciclado con aditivos especiales o adiciones, preparados bajo condiciones controladas en laboratorio, ante la acción acelerada de



cargas ambientales típicas de la costa, a fin de encontrar una mezcla óptima para el mejoramiento de su durabilidad, factible de ser aplicada en la industria de la construcción.

### OBJETIVOS PARTICULARES

1. Caracterizar material pétreo obtenido de residuos de construcción y demolición en la región.
2. Identificar materiales aditivos y/o adiciones que puedan ser mezclados con el concreto para mejorar sus características físicas.
3. Preparar especímenes de concreto con residuos de construcción y demolición, utilizando aditivos especiales o adiciones, haciendo variar la relación agua-cemento para obtener diferentes resistencias a la compresión.
4. Caracterizar microclimas y condiciones ambientales típicas de la costa en el Estado de Quintana Roo, específicamente temperatura y humedad relativa.
5. Diseñar y construir una cámara de simulación para estudiar la acción acelerada de cargas ambientales, como son humedad, cloruros y dióxido de carbono.
6. Evaluar el comportamiento de cada tipo de muestra ante diversas pruebas de durabilidad en el laboratorio.

### JUSTIFICACIÓN

La industria de la construcción constituye un factor substancial de desarrollo para los países denominados economías emergentes, y por lo mismo la principal fuente generadora de residuos sólidos, pues durante sus procesos se utilizan en gran medida diversos materiales asociados a otras industrias, como cemento, acero, piedra, cartón, vidrio, madera, aluminio, plásticos, cerámicas, entre otros. Por lo mismo, el consumo de recursos naturales para sostener el crecimiento de esa industria, aumenta día con día, contribuyendo al deterioro del medio ambiente, comprometiendo el progreso de las generaciones futuras. Por citar algunas cifras, en países desarrollados se ha reportado que la producción de residuos va de 520 hasta 760 kilogramos per cápita al año sin considerar guerras ni desastres naturales (Domínguez *et al*, 2004).

Los materiales pétreos y sus derivados como el concreto y las cerámicas son los que mayor peso tienen en la generación de residuos. El concreto es un material 100% reciclable, siempre que no esté contaminado, y puede utilizarse en muchas estructuras diferentes cumpliendo con las especificaciones para los materiales agregados tradicionales. No obstante, al igual que el concreto tradicional, se ve afectado en su durabilidad por la acción de cargas ambientales. Las condiciones de exposición que acarrear los daños más comunes en el concreto provienen de los líquidos y gases que lo penetran, originando acciones químicas como la carbonatación y el ataque por cloruros, lo cual puede derivar en procesos de corrosión (Lamond, 1998). La necesidad de reciclaje de los residuos de construcción concierne a todas las comunidades, industrializadas o no. Desde un enfoque ambiental es trascendente, pues evita la degradación de recursos naturales no renovables. Ahora bien, si se mira desde el punto de vista económico, resulta atractivo cuando el producto es competitivo con otros materiales en relación al costo y calidad.

De acuerdo con lo anterior, sería muy importante establecer lineamientos técnicos apropiados para la fabricación de concreto reciclado que al ser combinado con aditivos especiales pudiera ofrecer a bajo costo, condiciones similares de resistencia y durabilidad que un concreto normal, contribuyendo así a la reducción de residuos y al cuidado de nuestro entorno.

## **METODOLOGÍA**

El desarrollo del trabajo ha sido dividido en 10 etapas, a saber:

1. Identificación, de vertederos de residuos de concreto, así como distintas obras en construcción y demolición en la ciudad de Chetumal, Quintana Roo, y sus áreas circundantes. La selección será determinística de acuerdo a la ubicación y aceptación de los propietarios de los predios donde se encuentren los residuos.
2. Acopio de material pétreo en forma selectiva, principalmente escombros de concreto, mosaicos de pasta, cerámica y bloques, cuidando que se encuentren libres de residuos como plásticos, acero, cartón y vidrio, entre otros. El material trasladado a la planta trituradora será colocado en pilas en un área específica.
3. Obtención por cuarteo y secado de muestras de materiales pétreos heterogéneos y trituración de los mismos en una planta industrial de producción de agregados de la localidad.
4. Caracterización física del material triturado de acuerdo a la normatividad oficial para muestreo y pruebas de materiales, como son:
  - a) Peso volumétrico seco suelto para obtener el peso de las partículas sólidas por unidad de volumen, expresado en Kg. por metro cúbico.
  - b) Análisis granulométrico para clasificar por tamaño las partículas del material pasándolo por una sucesión de mallas, obteniendo el peso de los retenidos como porcentaje de la muestra total.
  - c) Densidad relativa, a obtener como la relación de la densidad absoluta, incluyendo sus vacíos.
  - d) Porcentaje de absorción, para determinar la cantidad de agua absorbida por el material pétreo previamente saturado en agua a una temperatura entre 15° a 25° C durante 24 horas.
  - e) Equivalente de arena, cuyo objeto será determinar en la fracción que pasa la malla número 4.75, bajo condiciones de pruebas establecidas, la proporción volumétrica de partículas de tamaño mayor que el de las arcillas, con respecto al volumen de las partículas finas de tamaño similar al de las citadas arcillas.
  - f) Porcentaje de desgaste, a fin de conocer la calidad del material pétreo en cuanto al grado de alteración y presencia de planos de debilitamiento que pudieran provocar una desintegración de las partículas.
5. Identificación y obtención de materiales aditivos al concreto, para mejorar sus características físicas, principalmente porosidad y absorción. Tentativamente, se ha elegido PET, residuos de bagazo de la caña de azúcar, y/o desechos de madera (conocido como aserrín y viruta).

6. Diseño de mezclas del material pétreo obtenido y adiciones haciendo variar la relación agua-cemento para obtener especímenes con distintos valores de resistencia a la compresión. Se proponen 4 tipos de relación agua-cemento (0.55, 0.62, 0.70 y 0.80).
7. Caracterización de microclimas en la zona costera para determinar valores típicos de agentes ambientales, como son humedad, temperatura, Ion cloruro y carbonatos.
8. Diseño y construcción de una cámara de simulación acelerada de cargas ambientales para especímenes de concreto, a base de acrílico y vidrio.
9. Pruebas de durabilidad de los especímenes siguiendo los procedimientos normales de estudio en concretos tradicionales:
  - a. Concentración de cloruros. Para esta prueba se seguirá la Norma ASTM D 1411, utilizando una solución estándar 0.01 M equivalente a 355 mg. /l de Ag NO<sub>3</sub> para precipitar los cloruros, los cuales en cada caso serán referidos al peso de la muestra de concreto.
  - b. Profundidad de carbonatación. Se utilizará el método tradicional consistente en el tratamiento de las probetas con una solución al 1% de fenolnaftaleína en alcohol etílico para observar la coloración rosada que se adquiere en ausencia de la carbonatación.
  - c. Vacíos. La presencia de vacíos en los especímenes de prueba se determinará midiendo la porosidad, densidad y absorción. Estos parámetros serán obtenidos de igual forma en el laboratorio a partir del peso seco, saturado y sumergido de las probetas.
  - d. Resistencia a la compresión. Se efectuará en forma tradicional de acuerdo a la norma ASTM C 39-03 a 28 y 56 días.
10. Integración del informe final y conclusiones.

## RESULTADOS ESPERADOS

Con el presente trabajo de investigación se pretende profundizar en el estudio del comportamiento de los concretos reciclados, desde un enfoque de durabilidad, obteniendo una serie de especificaciones técnicas para la preparación de mezclas adecuadas, lo cual podrá servir de base en un futuro cercano para la formulación de un anteproyecto de norma. Asimismo, el proyecto ofrecerá el diseño de una cámara de simulación de cargas ambientales aceleradas, factible de ser construida en forma práctica y económica, útil para fines didácticos y de investigación en el ITCH y otras instituciones de la DGEST. Por último, con este trabajo se contribuirá a la formación de recursos humanos, en los programas de Ingeniería Civil y Maestría en Construcción vigentes en la institución.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Aïtcin-Pierre (1998) "High Performance Concrete. Cap. 17, E & FN Spon, EU. 461 pp.
- Agil, Umair et al (2005) "Strength and deformation characteristics of recycled concrete aggregate in triaxial compression" Journal of Materials in Civil Engineering. ASCE, Geo. Frontiers 2005 Congress, Austin, Texas, 24-26/01/05.
- Andrade, Carmen (coordinador) et al, (1988) "Manual. Inspección de obras dañadas por corrosión de armaduras" Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción, Madrid, 122 pp.
- Ávila J. y Genescá (1986) "Más allá de la Herrumbre" La ciencia desde México. No. 9, Fondo de Cultura Económica, pp. 39-41.
- Bonavetti, V., et al (2004) "Propiedades de hormigones elaborados con distinto contenido de polvo granítico" Revista de la Construcción. Pontificia Universidad Católica de Chile. Vol.3, núm. 1.
- Carvajal, Ana et al (2004) "Medidas de potencial de corrosión en sistema de penetración acelerada de iones Cl- en hormigón armado". Revista de la Construcción. Pontificia Universidad Católica de Chile. Vol. 3, núm. 1.
- Castro, Pedro (coordinador) et al., (2001), "Infraestructura de concreto armado: deterioro y opciones de preservación" IMCYC, México, 198 pp.
- Chini, Abdol et al (2001) "Test of recycled concrete aggregate in accelerated test track" Journal of Materials in Civil Engineering. ASCE, Vol. 127, núm. 6, pp. 486-492.
- De Oliveira, Marcio y Cassia Silveira (2006) "Aderência do aço-concreto produzido com agregado reciclado" Exacta, UNINOVE, Sao Paulo, Brasil, vol. 4, núm. 1, pp. 135-141.
- Domínguez, José, et al (2004) "Hormigones reciclados: una alternativa sustentable y rentable" Revista Cemento-Hormigón, Madrid, No. 867, pp. 10-21.
- Hernández, O. y C. J. Mendoza (2006) "Durabilidad e infraestructura: retos e impacto socioeconómico" Ingeniería Investigación y Tecnología, UNAM, vol. 7, núm. 1, pp. 57-70.
- Huete, Ricardo y Begoña Blandón (2004) "Caracterización del material obtenido por reciclado de residuos cerámicos de construcción" Tecnología y Construcción. IDEC, Universidad Central de Venezuela, vol. 20, núm. 1, pp. 9-22.
- Jiménez, Luis y Moisés Hernández (2007) "Reparación de pavimentos flexibles con materiales reciclados de construcción y demolición" Congreso Internacional de Reciclaje Metánica 2007. La Habana, Cuba. 10 al 12 de octubre de 2007.
- Khalaf, Fouad y Alan De Venny (2004) "Recycling of demolition masonry rubble as coarse aggregate in concrete: Review" Journal of Materials in Civil Engineering. ASCE, Vol. 16, núm. 4, pp. 331-340.

- Lago, Helene y Paula R. Do (1997). Manual para Reparación, Refuerzo y Protección de las Estructuras de Concreto. IMCYC. México, DF.
- Lamond, Joseph F. (1998) "Diseñar para obtener durabilidad" IMCYC, <http://www.imcyc.com>, obtenido el 9 de marzo de 2007.
- Linares, Douglas y Miguel Sánchez (2003) "Construcción, operación y puesta en funcionamiento de una cámara para carbonatación acelerada" Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia, Venezuela, [www.scielo.org.ve](http://www.scielo.org.ve), recuperado el 01/03/08.
- Malavé R. E., et al (2006) "Evaluación de la durabilidad de bloques de tierra-cemento-sisal armado, al someterlos a la acción de iones cloruros" Materiales de Construcción. CSIC. Instituto Eduardo Torroja. Vol. 56, núm. 284, pp. 5-16.
- Martínez, I. E. y C. J. Mendoza (2006). "Comportamiento mecánico de concreto fabricado con agregados reciclados" Ingeniería Investigación y Tecnología, UNAM, vol. VII, núm. 3, pp. 151-164.
- Metha, Kumar y Paulo Monteiro, (1998) "Concreto estructura, propiedades y materiales" IMCYC, México, 381 pp.
- Moreno, Eric et al (2004) "Efecto de la relación agua/cemento en la velocidad de carbonatación del concreto utilizando una cámara de aceleración" Ingeniería: Revista Académica de la Facultad de Ingeniería Universidad Autónoma de Yucatán, vol. 8, núm. 2, pp. 117-130.
- Nataatmadja, A. (2001) "Resilient response of recycled concrete road aggregates" Journal of Materials in Civil Engineering. ASCE, Vol. 127, núm. 5, pp. 450-453.
- Neville A. (2001) Maintenance and Durability of Concrete Structures. Concrete International.
- Normas técnicas complementarias para el diseño y construcción de estructuras de concreto. RCDF (2004), Gaceta Oficial del Distrito Federal, pp. 124-128.
- Orozco J. (1998). Cálculo de las pérdidas económicas por corrosión en el Estado de Yucatán y su impacto en el PIB. CINVESTAV Unidad Mérida.
- Otzuki, Nobuaki et al (2003). "Influence of recycled aggregate on interfacial transition zone, strength, chloride penetration and carbonation of concrete" Journal of Materials in Civil Engineering. ASCE, Vol. 15, núm. 5, pp. 443-451.
- Pacheco J., et al (2007). "El Rol de las Puzolanas Naturales en el Mejoramiento de la Durabilidad del Concreto Reforzado" Ciencia Fic. UANL. Núm. 1, pp. 5-18.
- Park, Taesoon (2003) "Application of construction and building debris as base and subbase materials in rigid pavement" Journal of Materials in Civil Engineering. ASCE, Vol. 129, núm. 5, pp. 558-563.
- Pérez, I., et al (2007) "Propiedades mecánicas de mezclas bituminosas en caliente fabricadas con áridos reciclados de residuos de construcción y demolición" Materiales de Construcción. CSIC. Instituto Eduardo Torroja. Vol. 57, núm. 285, pp. 17-29.

- Sanjuán M., y Pedro Castro (2001). "Acción de los Agentes Químicos y Físicos sobre el Concreto" IMCYC, México.
- Sobhan, Khaled (1999) "Fatigue behavior of fiber-reinforced recycled aggregate base course" Journal of Materials in Civil Engineering. ASCE, Vol. 11, núm. 2, pp. 124-130.
- Udoeyo, Felix et al (2006) "Potential of wood waste ash as an additive in concrete" Journal of Materials in Civil Engineering. ASCE, Vol. 18, núm. 4, pp. 605-611.
- Zongjin, Li et al (2005) "Accelerated Assessment and Fuzzy Evaluation of Concrete Durability" Journal of Materials in Civil Engineering ASCE, Vol. 17, núm. 3, pp. 257-263.