

TC-1

CINCO ESTRATEGIAS DE ACERCAMIENTO A UN CONCRETO SOSTENIBLE

Águila, Idalberto

Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción (IDEC), Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Central de Venezuela, Caracas
iaguila@idec.arq.ucv.ve

Introducción

El concreto es, sin dudas el material de construcción por excelencia de nuestros días y así lo fue durante todo el Siglo XX, solamente se le compara, por su importancia, con el Acero. Ambos y la combinación entre ellos el Concreto Armado constituyen la base estructural de casi todas las edificaciones. Este privilegio lo ostenta gracias a sus excelentes cualidades para dar respuesta a las necesidades de infraestructura que normalmente poseen todos los países. Sin embargo, en las últimas décadas ha comenzado a cuestionarse su utilización de forma tan masiva debido al impacto ambiental que provoca su elaboración y uso, contándose, hoy día entre los materiales cuyo uso representa mayor afectación al medio ambiente.

Las demandas de edificaciones actuales hacen que no se pueda prescindir del uso de este material. El reto de los investigadores y especialistas está en encontrar fórmulas que permitan continuar utilizándolo, pero con menores afectaciones ambientales y trabajar de manera sostenida hasta convertir al concreto en un material más sostenible.

En este trabajo se plantea un grupo no exhaustivo de estrategias que siguen esa dirección y con él se pretende contribuir a enriquecer el debate y las ideas en torno a tan importante problema.

El Concreto y su impacto ambiental

Para la elaboración de concreto se utilizan fundamentalmente tres materiales; cemento, agregados y agua, aunque eventualmente podría incorporarse algún aditivo. El impacto ambiental generado por la producción y uso del concreto está asociado, en primera instancia a los procesos de obtención de estos materiales y luego a su propia elaboración y uso. Dicho impacto se manifiesta de cinco formas esenciales:

- 1.- Utilización de recursos no renovables: Tanto para la obtención de agregados, como para la producción de cemento se requiere extraer grandes cantidades de rocas naturales, proceso en el cual, además, se destruyen grandes superficies de capa vegetal y de plantas.
- 2.- Consumo energético: Los procesos de extracción y bombeo de agua, la extracción trituración y transporte de materiales pétreos para agregados y cemento y sobre todo, los procesos de clinkerización y molienda de cemento, conllevan un elevado consumo energético, tanto de electricidad como de combustibles fósiles.
- 3.- Contaminación ambiental: La emisiones constituyen otra de las formas en que, sobre todo la producción de agregados y de cemento, afectan al ambiente. Aquí se incluyen tanto la emisión de partículas de polvo, en las zonas aledañas a las plantas de producción, como las emisiones de gases contaminantes, entre los que se incluye el CO₂, gas de reconocido efecto invernadero.
- 4.- Generación de residuos: Durante toda obra se generan algunos residuos asociados a la utilización del concreto, sin embargo es al final de la vida útil que se produce el mayor volumen de desechos de concreto en forma de escombros. Estos desechos frecuentemente no quedan dispuestos de forma correcta, contaminando grandes áreas de terrenos, normalmente en zonas aledañas a las ciudades.
- 5.- Consumo y contaminación de agua: Aunque el agua, al igual que las rocas utilizadas en agregados y cemento, es un recurso natural, conviene analizarla de forma separada, por cuanto gran parte del agua que se utiliza durante la elaboración, colocación y curado del concreto, no se incorpora a este como uno de sus constituyentes, sino que es devuelta al subsuelo pero con altos grados de contaminación, sobre todo de sustancias químicas presentes en el Cemento.

Algunos análisis y cifras pueden ofrecer más claridad de cómo la producción de los constituyentes del concreto afectan al medio ambiente.

Cemento

Si bien es cierto que el cemento constituye, técnicamente, un excelente material de construcción, que goza de gran aceptación popular y posee una serie de propiedades que lo hacen muy utilizado en la mayoría de las obras de nuestros días, no es menos cierto que constituye, a su vez, uno de los materiales de construcción cuya producción provoca mayor daño al medio ambiente. Sus efectos están ligados fundamentalmente al consumo de materias primas y energía y a las emisiones que genera.

- Consumo de materias primas naturales

La caliza y la arcilla, principales materias primas de la producción de cemento, son materiales naturales que, afortunadamente, se encuentran en abundancia en casi todo el planeta, sin embargo, como todo recurso natural, no son inagotables, además que sacarlos de su estado natural provoca afectaciones en la zona donde se encontraban originalmente. Esta situación se agrava por el hecho de que los volúmenes de materiales que se requieren para la producción de cemento son muy grandes.

La producción mundial de cemento en el año 2005, según (Oficemen, 2006), supera los 2.200 millones de toneladas anuales. Si se conoce que para producir una tonelada de cemento se consumen 1,6 toneladas de materias primas naturales, esto indica que, anualmente se deben extraer de la naturaleza más de 3.500 millones de toneladas de Caliza y Arcilla de primera calidad, las cuales nunca serán renovadas.

Asociado a la extracción de materias primas aparece otro fenómeno, que es el deterioro de la capa vegetal y de casi todo tipo de vida animal o vegetal, en el área de emplazamiento de la cantera donde se produce la explotación.

- Consumo energético

El proceso de calcinación en los hornos para la formación del clinker, consume la mayor parte del combustible que necesita la producción de cemento, mientras que son los molinos de cemento los que consumen la mayor parte de la energía eléctrica.

Según Cachán (2001), en la obtención del clinker se requiere quemar en el horno una cantidad de combustible capaz de generar una energía de 3.200 a 5.500 MJ/ton de clinker, en tanto que durante el proceso de molienda se consume una energía eléctrica de 90 a 130 Kwh/ton de cemento. Según Huete (2000) la producción de cemento en España, por ejemplo, consume el 0,6 % de toda la energía que se utiliza en el país.

- Emisiones

Las principales emisiones se producen durante el proceso de calcinación de las materias primas para la obtención del clinker y están dadas por dos actividades fundamentales; la combustión de los materiales usados como combustibles y las reacciones químicas que se producen durante la formación de los componentes del clinker.

Los principales contaminantes que se emiten en este proceso, reconocido por la literatura técnica y de acuerdo a las regulaciones de la comunidad europea son:

Óxidos de Nitrógeno (NO_x) y otros compuestos nitrogenados

Dióxido de Azufre (SO_2) y otros compuestos sulfurosos

Partículas

Dióxido de Carbono (CO_2)

Los Óxidos de Nitrógeno son los principales componentes de los gases emitidos y se forman como consecuencia inevitable de las altas temperaturas de combustión (alrededor de 2.000 °C de temperatura de la llama). El origen se debe a la oxidación del Nitrógeno del aire y a la oxidación del Nitrógeno presente en el combustible, que se producen espontáneamente al elevarse la temperatura a esos niveles.

El Azufre entra en el proceso por dos vías; como componente de los combustibles y en forma de sulfatos o sulfuros en la composición de las materias primas. El azufre de los combustibles y los sulfatos de las materias primas son incorporados al clinker durante el proceso de calcinación no generando emanaciones, sin embargo una parte del sulfuro contenido en las materias primas se

evapora en las primeras etapas del proceso, pasando directamente a la atmósfera. El resto del sulfuro, que no se evapora, se incorpora igualmente al clinker en el resto del proceso.

Conjuntamente con los gases, durante gran parte del proceso de producción de cemento, incluyendo la extracción de materias primas se emiten a la atmósfera cantidades importantes de polvo que contribuyen a la contaminación del aire.

El Dióxido de Carbono (CO_2), aunque comúnmente no se considera de por sí un elemento contaminante, debido a que no es tóxico, si se debe considerar como otra de las emisiones dañinas de la producción de cemento y quizás una de las peores, debido a los grandes volúmenes en que se presenta y a su condición de gas de efecto invernadero que, como es sabido, contribuye al exceso de calentamiento del globo terrestre. Hoy día los fenómenos climáticos asociados al incremento del efecto invernadero preocupan a la mayor parte de la población del planeta y es política de una cantidad grande y creciente de gobiernos nacionales y organizaciones internacionales, encontrar vías para la reducción de las emisiones de CO_2 . Según Cachán (2001), por cada tonelada de clinker que se produce se emiten a la atmósfera entre 800 y 900 kg de CO_2 , una parte proviene de la calcinación de la roca caliza para obtener Óxido de Calcio y la otra de la combustión de los combustibles. Según Mehta, 2001 el cemento ocasiona alrededor del 7 % de toda la carga de Dióxido de Carbono en la Atmósfera

Además de estas sustancias se incorporan a la atmósfera, en mucha menor medida, otras emisiones de compuestos orgánicos volátiles, metales y sus compuestos, así como dioxinas y furanos.

Sin embargo, en la actualidad, la mayor parte de los productores de cemento realizan esfuerzos por disminuir el impacto sobre el medio ambiente, (Pórtland Cement Association, 2005). En esta dirección existe una fuerte tendencia actual a utilizar la vía seca como procedimiento de producción de cemento, toda vez que en ella se consume mucho menos energía que en los procesos por vía húmeda o semi húmeda. Se trata de captar las partículas de polvo mediante electro filtros que se colocan en los extremos de las chimeneas. Se utilizan parcialmente combustibles no convencionales para disminuir el consumo de petróleo. Se utilizan algunos desechos como materia prima o como combustible para disminuir el empleo de recursos naturales. Estas y otras innovaciones se están desarrollando gracias a un incremento de la conciencia ambiental de productores y autoridades.

Agregados

- Consumo de materias primas naturales

No existen datos confiables de producción mundial de agregados, sin embargo partiendo de la proporción promedio en que se utilizan el cemento y los agregados para la elaboración de concreto (alrededor del 12 % de cemento y del 80 % de agregados, en masa) se puede estimar que para una producción de cemento de 2.200 millones de toneladas corresponde una cantidad de 18.300 millones de toneladas de concreto a elaborar las cuales demandarían unos 14.600 millones de toneladas de agregados.

- Consumo energético

Las técnicas empleadas en los procesos de extracción y molienda de agregados son muy variadas y así mismo, lo son los consumos energéticos, sin embargo, en general estos procesos se consideran altos consumidores de energía, tanto eléctrica como combustible.

- Emisiones de partículas y gases contaminantes

En general, donde quiera que se manipulen, de alguna forma, los agregados, se emiten partículas, pero en particular en las canteras, es notable el alto volumen de polvo que se genera, tanto en las actividades de extracción como de molienda.

- Destrucción de la capa vegetal

Uno de los procesos productivos que mayor afectación provoca en la superficie terrestre es la explotación en cantera, donde numerosas hectáreas son afectadas, en cada una de ellas, por muchos años, presentándose incluso muchos casos en que al final de la explotación, no se hace ningún trabajo de recuperación, quedando en estas condiciones por muchos años más.

Agua

El agua se convierte cada vez más en un recurso importante y escaso en el mundo, haciéndose necesario aumentar la conciencia de su ahorro y de hacer un uso más racional de la misma. En la producción de concreto se consumen inmensas cantidades de agua, lo cual se puede apreciar en las cifras siguientes, las cuales son aproximadas pues varían mucho de un concreto a otro en función de diversas variables.

Por cada metro cúbico de concreto se requieren alrededor de 200 litros de agua para su elaboración. Volviendo a la cifra estimada de 18.300 millones toneladas de concreto elaboradas anualmente, se puede estimar un consumo de agua de 1.500 millones de metros cúbicos, solo en agua de constitución. A esto habría que añadir una demanda de entre 15 y 50 litros de agua por cada metro cuadrado de superficie de concreto colocado, para el curado del mismo y además, una difícil de estimar que se gasta en la limpieza de las herramientas utilizadas en el proceso de elaboración, transporte y colocación. A manera de ejemplo se puede destacar que para la limpieza de camión trompo se gastan aproximadamente 2,25 metros cúbicos de agua diario.

De la misma forma colocar estas cantidades de agua en obra, requiere no importa el método de transporte que se emplee una cantidad de energía apreciable, imposible de estimar.

Finalmente, a todo esto hay que añadir el consumo de energía que se requiere para los procesos propiamente de elaboración, transporte, colocación y compactación del concreto, valores que son difíciles de establecer pero que en suma con lo demás ofrecen un panorama donde se hace urgente encontrar fórmulas que permitan hacer un uso más racional del concreto y sus constituyentes.

Estrategias para un uso más sostenible del Concreto. Ejemplos

1.- Reducción del Consumo de concreto por m² de edificación

Obviamente, la mejor manera de evitar el impacto ambiental del uso del concreto es no usándolo, sin embargo hoy día resulta un material del que no se puede prescindir por múltiples razones, entre las que destacan: el no contar con un sustituto adecuado en la construcción, el poseer cualidades extraordinarias que lo hacen muy apropiado para los usos que tiene y el ser

un material con mucha aceptación cultural y arraigo. Las necesidades actuales de edificaciones que cubran los requerimientos de una población creciente y en desarrollo, obligan a mantener un alto nivel de construcción y como consecuencia una demanda proporcional de materiales.

Lo que si podría lograrse es racionalizar su uso aprovechando al máximo sus potencialidades. Se trata de disminuir el consumo de material por m² de construcción, con lo cual se podrían satisfacer las necesidades de edificaciones actuales, con menos extracción de materiales al medio ambiente.

Una forma de lograr esta racionalización se puede encontrar en la tecnología del ferrocemento (mortero armado) donde se logran componentes de buena capacidad portante con espesores de concreto de 2 ó 3 cm. En el IDEC se han desarrollado varias investigaciones que han producido a un grupo de componentes constructivos, tanto de pared como de techo y entrepiso para viviendas, como la propuesta desarrollada por la Arq. Laura Ramírez (figura 1).



Figura 1: Componentes de entrepiso y techo en ferrocemento (Fuente: Foto tomada por Laura Ramirez)

Existen otras maneras de racionalizar el uso del concreto, como es el caso del Sistema Constructivo VICOCA (Figura 2), desarrollado por este autor con la participación del Arq. Jaime Villarroel, donde se conforman paneles y losas de entrepiso y techo con una geometría en la que se aprovecha racionalmente la capacidad resistente del concreto. La forma de producción de los componentes garantiza una terminación superficial que evita el uso posterior de friso u otras formas de acabado de las paredes y techos.



Figura 2: Paneles del Sistema VICOCA (Fuente: Foto tomada por Jaime Villarroel)

2.- Reducción del consumo de cemento por m³ de Concreto

Si el cemento representa el material que mayor impacto genera sobre el ambiente, además de lo que se pueda lograr por reducir el consumo de concreto en general, se debe y existen notables posibilidades de reducir la cantidad de cemento a colocar dentro del concreto. En este sentido el uso de aditivos plastificantes puede contribuir a disminuir la demanda de agua y con ello se puede reducir proporcionalmente la cantidad de cemento. Sin embargo la vía más importante que se explora en estos momentos para disminuir el consumo de cemento, es las adiciones puzolánicas. Puzolanas de origen artificial, comúnmente residuos de otras producciones, como microsílíce, cenizas volantes, escorias de alto horno, provenientes de procesos industriales y las cenizas vegetales de cascarilla de arroz, de bagazo de caña y de hoja de maíz, entre otros, se emplean de forma creciente en sustitución parcial de cemento, en algunos casos en volúmenes cercanos al 50 %, sin afectar o incluso mejorando algunas de las principales propiedades del concreto.



Figura 3: Ceniza de cascarilla de arroz a la salida del horno (Fuente: Elaboración propia)

En el IDEC hemos estudiado las cenizas de algunos residuos agrícolas con capacidad puzolánica, entre las que destaca la cascarilla de arroz (Figura 3) que permiten sustituir hasta un 25 % de cemento por ceniza, sin afectar o incluso mejorando algunas de sus principales propiedades.

La Figura 4 muestra el comportamiento a compresión de mezclas elaboradas con diferentes proporciones de Cemento Pórtland Ordinario (CPO) y Ceniza de Cascarilla de Arroz (CCA), así como algunas combinaciones de CCA con Cal. Los resultados muestran un incremento en la resistencia a compresión en la medida en que se incrementa el porcentaje de sustitución de cemento por cenizas hasta un 20 % que es el óptimo a partir del cual comienza disminuir los valores de resistencia.



Figura 4: Resultado del ensayo de Resistencia a Compresión de materiales puzolánicos (Fuente: Elaboración propia)

3.- Sustitución del acero de refuerzo por materiales alternativos no metálicos

La producción del acero, utilizado como refuerzo en el concreto armado, produce también un importante impacto sobre el ambiente, sobre todo en el consumo de materias primas y de recursos energéticos. No es objetivo de este trabajo el análisis del impacto ambiental del acero propiamente, sin embargo la sensibilidad que posee ante la corrosión y la afectación que provoca este fenómeno en la masa del concreto hace que sea motivo de análisis en este trabajo. La corrosión del acero disminuye la durabilidad del concreto, lo cual lo hace menos sostenible, debido a que con esto se requerirá remplazarlo más rápidamente por un nuevo material. Existen numerosos materiales que con mayor o menor eficacia se estudian para aportar al concreto las propiedades que le proporciona el acero. Se han utilizado tanto elementos alargados en forma de barra, en plástico, fibra de vidrio, etc, como pequeñas fibras de plástico o vegetales. Una de las alternativas más reconocidas constituye la utilización de fibras de sisal, un producto vegetal renovable y que se puede cultivar convenientemente.

En la investigación realizada, como trabajo de grado, por la Arq. Yuraima Centeno, bajo la tutoría de la Arq. Milena Sosa y de este autor se desarrolló una propuesta de paneles prefabricados de concreto reforzado con fibras cortas de sisal para su uso como cerramiento de viviendas (Figura 5).



Figura 5: Probeta de mortero reforzado con fibras de Sisal ensayado a la flexión (Fuente: Fotografía tomada por Yuraima Centeno)

El trabajo de muestra como el comportamiento del concreto a la flexión y su ductilidad mejoran con la colocación de fibras repartidas en su masa. La Figura 6 muestra el comportamiento a la flexión de una probeta de mortero simple (sin fibras), apreciándose una carga de rotura a la flexión promedio de alrededor de 1200 Kg, con un fallo brusco o frágil, para valores de deformación máximos de 1 mm aproximadamente.

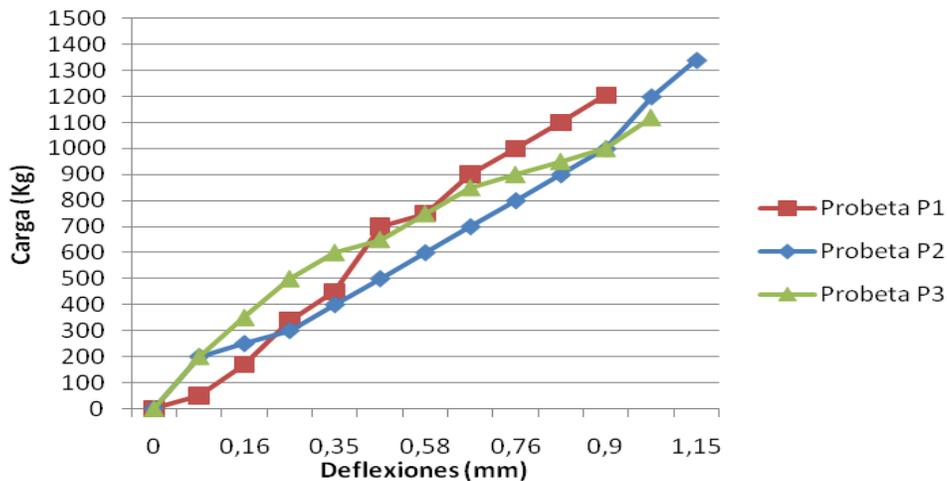


Figura 6: Resultados del Ensayo de Flexión de muestra de mortero simple (Fuente: Elaborado por Yuraima Centeno)

La Figura 7, en cambio, muestra el comportamiento de una muestra de concreto reforzado con fibras, donde la carga de rotura promedio alcanza los 2000 Kg aproximadamente, con una deformación máxima de 3 mm, ambos superiores a la muestra patrón y sobre todo con un tipo de fallo dúctil, lo cual es muy deseable en este tipo de componentes.

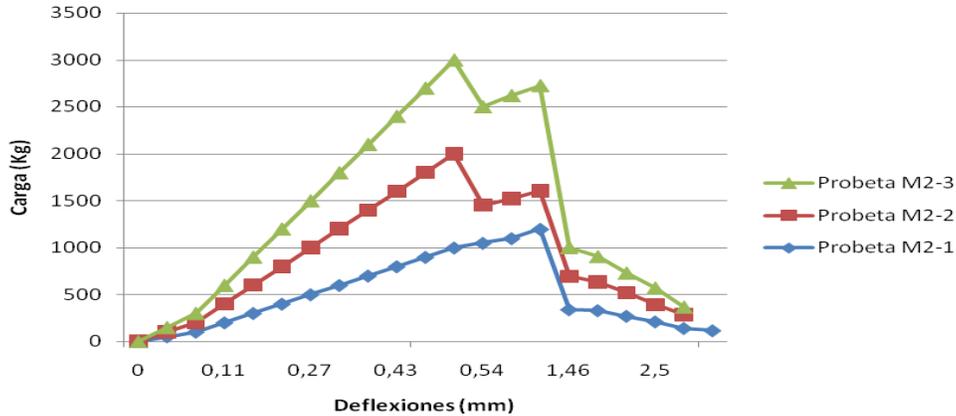


Figura 7: Resultados del Ensayo de Flexión de muestra de mortero reforzado con fibras (Fuente: Elaborado por Yuraima Centeno)

Otro ejemplo lo constituye el Trabajo de grado de la Arq. Solangel Mejías bajo la tutoría de este autor en el cual se propone la elaboración de un tipo de ferrocemento donde las mallas de refuerzo que se utilicen no sean de acero, sino de plástico, aumentando aún más el carácter sostenible de este material (Figura 8)



Figura 8: Panel de mortero reforzado con mallas de plástico (Fuente: Fotografía tomada por Solangel Mejía)

4.- Diseño de componentes de concreto previendo su facilidad para el reciclaje posterior

En el momento de la elaboración del concreto existe un elemento que puede contribuir, de manera importante, en el carácter sostenible del mismo, que consiste en prever desde la concepción de los elementos a fabricar como sería su reciclaje una vez cumplida la vida útil. La incorporación de acero u otros elementos de refuerzo, la aplicación superficial de yeso, cal,

pintura, etc, dificultaría en un futuro el reciclaje de los elementos por cuanto los fragmentos quedarían mezclados con otros materiales, disminuyendo su calidad u obligando a realizar procesos adicionales de limpieza. En la medida en que los componentes elaborados posean el concreto en una condición más limpia, se facilitaría el proceso de reciclaje, que en la mayoría de los casos consiste en la trituración, para convertir los desechos de concreto en agregados.

El mencionado sistema VICOCA constituye un ejemplo de que como desde su concepción los paneles del sistema están configurados para que al final de su vida útil puedan ser triturados con facilidad y queden totalmente limpios para ser utilizados como agregados de nuevos concretos (Figura 2). Los paneles no poseen acero de refuerzo ni acabados superficiales u otros materiales adheridos. Como consecuencia, al romperlos, los fragmentos quedarán limpios y los bloques de anime se desprenderán íntegros y fácilmente pudiendo ser reutilizados en la fabricación de nuevos paneles u otros usos.

5.- Desarrollo de procesos de producción prefabricada, a pequeña escala

La gran prefabricación, muy utilizada décadas atrás tiene como desventaja una alta demanda de energía, con la utilización de grandes equipos consumidores de combustible y energía eléctrica. Esto la hace una técnica poco sostenible y como tal ha sido desechada en muchos de los lugares en los cuales se utilizó masivamente. En contraposición la elaboración y colocación de concreto en obra conlleva a una elevada cantidad de desperdicios y disminución en la calidad de los elementos, lo cual puede disminuir también su durabilidad. Una solución intermedia, donde se minimicen las desventajas de ambos extremos podría ser más ventajosa y sostenible. Esto es utilizar técnicas prefabricadas de componentes constructivos pero en pequeñas plantas de tipo más artesanal donde no haya altos consumos de energía pero que se mantenga cierto control de la calidad y de la generación de desperdicios. La mayoría de las tecnologías desarrolladas en el IDEC se enmarcan dentro de esta corriente.

Conclusiones

Quedan suficientes evidencias de que el concreto tal y como se usa hoy, es un material con notables cuestionamientos ambientales, sobre todo por los volúmenes tan grandes de materias primas que consume, el elevado consumo energético y la contaminación ambiental que genera por sus emisiones y por la cantidad de escombros que produce al final de su vida útil.

Sin embargo también queda claro que existen potencialidades para disminuir ese impacto, por la vía de racionalizar su uso y el empleo de materiales alternativos que contribuyan a su ahorro. El diseño de componentes que permitan disminuir el área de su sección transversal y como consecuencia se consuma menos material, sin afectar su capacidad resistente; el empleo de materiales no metálicos como refuerzo, que permita ahorrar acero y alargar la vida útil de los elementos a producir; el empleo de adiciones puzolánicas para ahorrar cemento; así como la conformación de componentes constructivos adecuados para su reciclaje posterior, constituyen soluciones que pueden efectivamente contribuir a lograr que el concreto se convierta en un material más económico, más ligero, más durable y sobre todo más sostenible.

Referencias

- OFICEMEN. (2006). Producción mundial de cemento. 2006. Extraído el 15 de Agosto de 2007 de <http://www.oficemen.com/eventos/pdf/ProduccionMundial2005.pdf>.
- CACHAN, A. (2001). Cementos. Andalucía. *Encuentro Medioambiental Almeriense: En busca de soluciones*. Documento de Internet. 2001.
- HUETTE, R. (2000). Aproximación a un proyecto de construcción sostenible. *Curso de ampliación de conocimientos "La sostenibilidad de la construcción"*. Caracas. UCV. INEDITO.
- MEHTA, P. (2001). Reduciendo el impacto ambiental del concreto. El concreto puede ser durable y ambientalmente amigable. *Concrete internacional*. Octubre 2001, 61-66.
- PORTLAND CEMENT ASSOCIATION. (2005). Construyendo verde con cemento gris. *Construcción y Tecnología*, Febrero 2005, 40-43.