

IMPACTO AMBIENTAL DE LA PRODUCCIÓN Y USO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Idalberto Águila

Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Central de Venezuela, e-mail: idalbertoaguila@gmail.com

RESUMEN

Esta ponencia está motivada por el impacto que genera la producción y uso de materiales de construcción sobre el medio ambiente y persigue desarrollar conciencia en los profesionales de la Construcción sobre esta problemática, a la vez que se ofrecen algunas recomendaciones de cómo actuar para contribuir a disminuir ese impacto. Se parte de un análisis general de algunos fenómenos atmosféricos de la actualidad, que acarrearán cierto riesgo a la sostenibilidad del planeta y de cómo podría la actividad de la construcción estar contribuyendo a su desarrollo. Luego se precisa en el impacto ambiental que provocan algunos materiales de construcción en particular. Se reflexiona sobre el impacto del concreto, el acero y la madera y se resalta el efecto de algunos productos considerados contaminantes o tóxicos y por tanto peligrosos para la salud de las personas. Se concluye con algunas reflexiones y recomendaciones de cómo construir de manera más sana y amigable con el ambiente, relacionadas con la experiencia del IDEC.

Palabras clave: sostenibilidad, impacto ambiental, contaminación, materiales de construcción, tóxicos.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional y el desarrollo económico mundial, sobre todos de los países del llamado tercer mundo y en especial del sureste de Asia, han traído como consecuencia una fuerte presión sobre el medio ambiente, lo cual es motivo de preocupación global. En particular la actividad de la construcción se presenta como uno de los factores que mayor impacto provoca sobre la naturaleza.

No se puede hablar de construcción sin mencionar a los materiales construcción como ya hoy no se puede hablar de materiales de construcción obviando su impacto ambiental. Pocas actividades humanas afectan tanto al medio ambiente como la producción y uso de materiales de construcción.

A los ritmos actuales de consumo de materiales de construcción se prevé un futuro insostenible para una actividad que constituye un elemento básico para lograr el desarrollo económico de estos países, con el cual se pueda garantizar la eliminación de la pobreza y mejorar el bienestar de la población en general.

Si bien los patrones de consumo de materiales, en estos momentos, ponen en peligro la sostenibilidad del planeta, tampoco se puede garantizar un mundo sostenible con los niveles

actuales de pobreza y subdesarrollo. Se trata entonces de encontrar fórmulas que permitan mantener y acelerar los ritmos de desarrollo actuales pero disminuyendo el impacto que éste provoca en el medio ambiente.

Los profesionales de la construcción no siempre toman en cuenta este aspecto, incluso muchos investigadores abordan el tema esforzándose por demostrar las “bondades ecológicas” de sus materiales favoritos sobre otros.

Así los defensores del uso masivo del acero, por ejemplo, se basan en que su materia prima fundamental, el hierro, constituye uno de los elementos químicos más abundantes en la tierra. Por su parte se argumenta que el concreto proviene de materias primas más abundantes y que el consumo energético de su producción resulta comparativamente inferior al del acero y otros metales como el aluminio. En el caso de la madera se parte del hecho de que constituye un “material renovable” y que durante su vida absorbe Dióxido de Carbono y emite Oxígeno.

Sin embargo no es común que se analicen los aspectos ambientalmente negativos de la explotación de estos materiales, a pesar que, de forma general, en mayor o menor medida todos los materiales de construcción generan un impacto apreciable sobre el medio ambiente durante su elaboración y uso. El énfasis no debería estar dirigido entonces a demostrar las bondades de uno u otro material. Sería más apropiado esforzarse por determinar los impactos ambientales de los materiales a utilizar y las acciones que se pueden acometer para reducirlos.

Con esta ponencia se pone en evidencia de que forma la utilización de un grupo de los materiales de construcción más importantes de nuestros días podría estar afectando al medio ambiente y atentando contra su carácter sostenible. Así mismo se muestran algunas experiencias que adelanta el grupo de Concreto del Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción para disminuir esa afectación. Este grupo está coordinado por este autor, e integrado además por las profesoras; Milena Sosa y Solangel Mejías, así como los estudiantes de postgrado; Yuraima Centeno, Francisco Lara, Nathalie Herrera y Luis Cañas.

1. DESARROLLO

1.1 Algunos fenómenos atmosféricos actuales

1.1.1 Smog fotoquímico

Se denomina *smog* a la contaminación atmosférica que se produce en algunas ciudades grandes como resultado de la acumulación de ciertos elementos o sustancias contaminantes bajo determinadas circunstancias climatológicas.

El más común es el *smog fotoquímico* que consiste en una mezcla de contaminantes de origen primario como óxidos de nitrógeno (NOx) e hidrocarburos volátiles (HV), con otros de origen secundario como ozono, peroxiacilo, radicales hidroxilo, etc. que se forman por reacciones producidas por la acción de la luz solar al incidir sobre los primeros. Esta mezcla oscurece la atmósfera dejando un aire teñido de color marrón rojizo cargado de componentes dañinos para los seres vivos y los materiales. Entre otros efectos pueden producir importantes daños en las plantas, irritación ocular y problemas respiratorios.

Lo importante aquí es resaltar que cualquier proceso productivo donde se emitan cantidades importantes de óxidos de nitrógeno y de hidrocarburos volátiles, es potencial contribuyente con este fenómeno.

1.1.2 Efecto invernadero

El efecto invernadero se origina por la presencia de algunos gases en la atmósfera que tienen la propiedad de absorber la energía que emite la tierra al reflejar parte de la radiación que recibe del sol. Como consecuencia la temperatura del aire es mayor en unos 33° que la que existiría si no estuvieran presentes estos gases. Este fenómeno existe desde antes que apareciera la vida en la tierra y por tanto no representa ningún peligro. El problema se presenta cuando se eleva la concentración de esos gases en la atmósfera, a niveles fuera de lo normal, generando desequilibrios que hacen subir peligrosamente la temperatura global.

El más importante de los gases de efecto invernadero es el dióxido de carbono (CO₂) por lo que es una prioridad actual disminuir lo más posible sus emisiones.

1.1.3 Lluvia Ácida

Algunas industrias, que usan combustibles de baja calidad, liberan al aire importantes cantidades de óxidos de azufre (SO_x) y nitrógeno (NO_x). En la atmósfera los óxidos de nitrógeno y azufre son convertidos en ácido nítrico (HNO₃) y sulfúrico (H₂SO₄) que vuelven a la tierra con las precipitaciones de lluvia o nieve (lluvia ácida). Otras veces, aunque no llueva, van cayendo partículas sólidas con moléculas de ácido adheridas (deposición seca). La lluvia ácida puede afectar lagos y sus ecosistemas, árboles, construcciones, obras de arte, etc. y para evitarla se deben controlar las emisiones de estos óxidos.

1.1.4 Agujero de la capa de ozono

En las diferentes capas de la atmósfera existen cantidades variables de ozono. En las zonas más cercanas a la superficie terrestre, la troposfera se encuentra en cantidades muy bajas y constituye un contaminante que suele formar parte, como ya se vio, del smog fotoquímico.

En cambio, en la estratosfera, donde es más abundante, juega un importante papel para la vida en el planeta al impedir que las radiaciones ultravioletas lleguen a la superficie. Uno de los principales problemas ambientales detectados en los últimos años ha sido la destrucción de este ozono estratosférico por átomos de Cloro liberados en esa zona de la atmósfera. El cloro atómico (Cl) actúa como catalizador en la destrucción de las moléculas de ozono (O₃), por lo que un solo átomo puede atacar cientos de miles de moléculas de ozono.

El incremento de átomos de cloro en la estratosfera está originado, principalmente, por unos compuestos químicos denominados clorofluorocarbonos (CFC). Son productos muy poco reactivos, lo que hizo que fueran la solución óptima para la fabricación de frigoríficos, goma espuma, extintores, aerosoles, como fumigantes en la agricultura, etc. Su estabilidad les permite acumularse si son destruidos en la troposfera, pero cuando ascienden hasta la estratosfera las radiaciones ultravioletas del sol rompen las moléculas de CFC liberando los átomos de cloro responsables de la destrucción del ozono.

La reducción de los niveles de ozono es más crítica en la región de la Antártida, donde se ha creado un “agujero” que permite el paso de una radiación ultravioleta mucho mayor que en el resto del planeta y que alcanzó sus valores más altos a finales de la década de los 90.

1.1.5 Influencia de la producción de materiales de construcción en estos fenómenos

Cualquier proceso productivo donde se emitan cantidades importantes de los elementos mostrados; óxidos de nitrógeno, hidrocarburos volátiles, óxidos de azufre, dióxido de carbono y clorofluorocarbonos estaría contribuyendo al desarrollo de alguno o de varios de los fenómenos climáticos que más preocupan a la humanidad en los actuales momentos.

La producción de materiales de construcción no es ajena a esta problemática. Por ejemplo, en los hornos europeos para producir una tonelada de cemento se emiten a la atmósfera entre 0,4 y 6 kg de óxidos de nitrógeno, entre 0,02 y 7 kg de óxidos de azufre y entre 800 y 1040 kg de dióxido de carbono (Junta de Andalucía, 2011). En el caso del acero, por cada tonelada producida se generan 3 kg de óxidos de nitrógeno, 4 kg de óxidos de azufre y 1950 kg de dióxido de carbono (Medina, 2006). La producción de una tonelada de aluminio genera entre 1600 y 1700 kg de CO₂ además de cierta cantidad de Dióxido de Azufre. Materiales como poliestireno, poliestireno expandido, aerosoles incluyen CFC en su composición

En la transportación de cualquiera de estos materiales los vehículos a base de gasolina emiten fundamentalmente: óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono e hidrocarburos volátiles

1.2 Reflexiones sobre el uso de algunos materiales básicos

Tres de los materiales más utilizados en la construcción son el acero, el concreto y la madera, de hecho constituyen las opciones principales para las soluciones estructurales de las edificaciones. Al comparar estos materiales desde el punto de vista ecológico asoman a la vista las ventajas y desventajas de cada uno y es común ver como investigadores y otros profesionales que utilizan alguno de ellos se centran en sus ventajas particulares, obviando o minimizando sus aspectos negativos.

Así los defensores del uso masivo del acero, por ejemplo, se basan en que su materia prima fundamental, el hierro, constituye uno de los elementos químicos más abundantes en la tierra. Es cierto, pero sucede que la mayor parte de este hierro se encuentra en el inaccesible núcleo metálico del planeta y el que se encuentra, en cantidades relativamente abundantes, en la corteza, aparece normalmente combinado con otros materiales rocosos en proporciones que hace inviable su extracción de forma económica. Solo en lugares muy específicos de la superficie terrestre se encuentra en condiciones explotables y aún en estos casos las afectaciones ambientales de su explotación y el alto consumo energético de su procesamiento, resultan motivos suficientes para ser racionales en su explotación.

Por su parte el concreto proviene de materias primas más abundantes y el consumo energético de su producción resulta comparativamente inferior al del acero y otros metales como el aluminio. No es menos cierto, sin embargo, por su resistencia mecánica, en una edificación cualquiera, se consume mucho más concreto que su equivalente en acero para un uso similar, por lo que globalmente el impacto ambiental del concreto probablemente sea superior.

Otro material básico comúnmente considerado un “material renovable” es la madera. Tienen razón en considerarlo renovable, más no se puede absolutizar, basta revisar lo que pasó con los bosques que cubrían casi toda Europa a comienzos de la edad media. La construcción de viviendas, barcos y la explotación como leña, entre otras actividades, redujo la superficie boscosa a niveles mínimos en pocos siglos y no hubo renovación. Algo similar ocurrió con los bosques de Norteamérica. En general se estima que el 80% de los bosques originales del mundo han desaparecido. Hoy en día se pierden más de 4 millones de hectáreas de bosques tropicales al año. Solo en casos, lamentablemente no muy comunes, de plantaciones con explotación controlada se ha logrado un uso verdaderamente sostenible de este recurso. También se esgrime que la madera tiene otro valor ecológico porque absorbe Dióxido de carbono y devuelve Oxígeno. Sin embargo, esto es mientras el árbol está vivo, al cortarlo para construir con él estamos generando un impacto negativo sobre el ambiente.

Desde mi punto de vista e independientemente de las preferencias sobre uno u otro material, la primera conclusión sería que en mayor o menor medida la explotación de cualquier material tiene un impacto importante sobre el ambiente.

La segunda sugeriría que el énfasis no debería estar en demostrar las bondades ecológicas del material que decidimos utilizar y por tanto justificar su uso. Sería mucho más provechoso identificar donde están los impactos ambientales de ese material, en su utilización tradicional y tratar de disminuirlos con soluciones técnicas novedosas.

La tercera y última es que la forma más básica de reducir el impacto ambiental de los materiales de construcción es disminuyendo su uso. Esto no significa necesariamente construir menos, si no ser más racionales en su utilización. Durante los últimos siglos (revolución industrial incluida) el énfasis en los procesos productivos ha estado dirigido hacia la “productividad del trabajo”, el rendimiento de los equipos y el ahorro de mano de obra. Las materias primas eran consideradas recursos que se obtienen de la naturaleza en forma ilimitada. En estos momentos el agotamiento de los recursos naturales se ha convertido en una posibilidad real y la prioridad se ha ido desplazando hacia el “rendimiento de los recursos materiales”, aún a costa de desarrollar procesos productivos menos eficientes, más artesanales y de uso más extensivo de la fuerza de trabajo.

1.3 La toxicidad asociada a los materiales de construcción

Caso aparte requiere el análisis de algunos materiales cuyo impacto resulta aún más dramático, representando peligros serios a la salud de las personas, por los niveles de toxicidad que poseen. Son numerosos los casos de personas que han resultado seriamente afectadas con el contacto con algunos materiales, a muchos de los cuales poco a poco se va prohibiendo su uso en Europa y otras zonas del mundo desarrollado, pero que lamentablemente en los países en vías de desarrollo aún se depende sensiblemente de su uso.

Entre otros se pueden mencionar el arsénico o la creosota, utilizados para el tratamiento de la madera. El arsénico es cancerígeno y puede causar vómitos, manchas en la piel y la muerte. En tanto que la creosota provoca irritación de la piel, convulsiones y es potencial

cancerígeno. Por su parte el plomo también es cancerígeno y produce convulsiones intestinales (cólico saturnino), afecta al aparato nervioso y reproductor y al desarrollo de los niños. El PVC incorpora compuestos de plomo, cadmio y ftalatos y en su elaboración y uso emite gases de cloro, ácido clorhídrico, etileno y compuestos clorados como las dioxinas; elementos todos muy dañinos para la salud. La espuma de poliuretano, debido al poliuretano, afecta al sistema nervioso central y reproductor y es potencialmente cancerígeno y por la presencia de formaldehídos, causa irritación en los ojos y vómitos. La presencia de fibras de asbesto en el fibrocemento puede provocar asbestosis y eventualmente cáncer pulmonar. El poliestireno es potencialmente cancerígeno por el uso de benceno y requiere Cloro Fluoro Carbonos (CFC) que afectan la capa de ozono.

En todos estos casos, por la gravedad de las posibles afectaciones lo más aconsejable es tratar de buscarle sustitutos para ir eliminándolos progresivamente de las listas de materiales de construcción.

1.4 Estrategias del IDEC en el área de concreto

El grupo de Concreto del IDEC, en la búsqueda de contribuir a la disminución del impacto ambiental de los materiales de construcción trabaja en tres estrategias bien definidas:

- 1.- Reducción del consumo de concreto por m² de edificación
- 2.- Reducción del consumo de cemento por m³ de concreto
- 3.- Sustitución del acero de refuerzo por materiales alternativos no metálicos

1.4.1 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.

Lo que sí 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 materias primas 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 investigaciones para producir componentes constructivos, tanto de pared como de techo y entrepiso para viviendas. En estos momentos se trabaja en el desarrollo de un sistema constructivo completo a base de componentes de pared, entrepiso y techo para la producción de viviendas. En este caso se trata de elementos muy delgados alrededor de 3 cm de espesor elaborados con mortero de cemento reforzado con varias capas de mallas de plástico. (Figura 1).

Figura 1: Componente de mortero reforzado con mallas de plástico



Fuente: Solangel Mejías

Existen otras maneras de racionalizar el uso del concreto, como es el caso del Sistema Constructivo VICOCA (Figura 2), desarrollado por este autor 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 (Águila, 2003).

Figura 2: Paneles del Sistema VICOCA



Fuente: Foto tomada por Jaime Villarroel

1.4.2 Reducción del consumo de cemento por m³ de Concreto

Dentro del concreto el cemento representa el material que mayor impacto genera sobre el ambiente, por tanto 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 utilizar en la dosificación. 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 microsílice, 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 (Águila, 2001). Además de la cascarilla de arroz se estudiaron las cenizas de bagazo de caña y de hoja de maíz, con buenos resultados para esta última (Águila y Sosa, 2008)

Una combinación de ambas estrategias se aplica en un nuevo proyecto que se encuentra en formulación y tiene como objetivo producir un concreto de alta resistencia a partir de la incorporación combinada dentro de la mezcla de concreto de un aditivo superplastificante (policarboxilato) (Figura 4) y una adición puzolánica (microsílice) (Figura 5)

Figura 4: Policarboxilato



Figura 5: Microsílice



Por esta vía se espera lograr un concreto que al menos duplique la resistencia de un concreto ordinario manteniendo una buena trabajabilidad. A partir de aquí se podrían diseñar elementos estructurales con secciones muy racionales que conlleven a un sustancial ahorro de materiales.

1.4.3 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 del grupo de concreto 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 estudio del grupo. 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 (Centeno, 2012) se desarrolló una propuesta de paneles prefabricados de concreto reforzado con fibras cortas de sisal para su uso como cerramiento de viviendas (Figura 6).

Figura 6: Probeta de mortero reforzado con fibras de Sisal ensayado a la flexión



Fuente: Fotografía tomada por Yuraima Centeno

Otro ejemplo lo constituye el Trabajo de grado de la Arq. Solangel Mejías bajo la tutoría de este autor (Mejías, 2010) 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 7)

Figura 7: Panel de mortero reforzado con mallas de plástico



Fuente: Fotografía tomada por Solangel Mejía

En estos momentos se encuentra en desarrollo el Trabajo especial de grado de la Arq. Nathalie Herrera que incorpora dos técnicas para lograr los objetivos planteados. Primero la utilización de fibras de coco como refuerzo de bloques de abobe para fabricar paredes (Figura 8) y segundo la colocación de una malla de plástico como refuerzo al friso de estas paredes (Figura 9). Esto último permitiría disminuir el ancho del bloque con lo que se ahorraría mucho material.

Figura 8: Producción de bloques de adobe



Figura 9: Friso reforzado con malla de plástico



CONCLUSIONES

Los materiales de construcción constituyen elementos esenciales para el desarrollo humano, sin embargo su producción y uso generan impactos notables sobre el medio ambiente y de alguna forma pueden provocar afectaciones a la salud y el bienestar de las personas. Con esta dualidad debemos convivir y no debemos ignorarla si queremos contribuir con la sostenibilidad del planeta.

Si bien es cierto que no todos los materiales impactan de la misma forma e intensidad al medio ambiente, de una forma o de otra todos provocan efectos negativos, muchos de los

cuales no son percibidos a veces ni siquiera por los expertos. Lo recomendable entonces para los investigadores, que suelen trabajar con algunos de estos materiales, es que se trate de identificar donde radican los impactos fundamentales durante el ciclo de vida de los mismos y desarrollar sus mayores esfuerzos a minimizar los daños. Por otro lado y de forma general se debería tratar de disminuir el consumo de los materiales cualesquiera que sean y el desarrollo de tecnologías constructivas más racionales podría constituir un camino importante para lograr ese objetivo.

Aquellos materiales cuyos impactos son más severos, sobre todos los peligrosos para la salud de las personas, deberían ser utilizados solo si no existen otras opciones, en tanto que la ciencia debería ponerse en función de desarrollar nuevas alternativas que permitan irlos sacando gradualmente de las listas de materiales de construcción.

REFERENCIAS

Águila, I. (2001). Cementos puzolánicos, una alternativa para Venezuela. *Tecnología y Construcción*, 17(III), 27-34.

Águila, I. (2003). Técnica de producción de componentes de concreto y anime para viviendas. *Tecnología y Construcción*, 19 (III), 29-37.

Águila, I., Sosa, M. (2008). Evaluación físico química de cenizas de cascarilla de arroz, bagazo de caña y hoja de maíz y su influencia en mezclas de mortero, como materiales puzolánicos. *Revista de la Facultad de Ingeniería – UCV*, 23 (4), 55-66.

Centeno, Y. (2012). *Evaluación del desempeño del concreto reforzado con fibras de sisal y su factibilidad en la producción de paneles para cerramientos exteriores*, (Tesis de Maestría). Universidad Central de Venezuela. Caracas.

Junta de Andalucía. (2011). *Guía de apoyo para la notificación de la industria de fabricación de cemento y/o clínker*. Andalucía. Consejería de medio ambiente.

Medina, L. (2006). *Análisis de la viabilidad económica y ambiental del uso de armaduras corrugadas de acero inoxidable en elementos de hormigón armado sometidos a clases de exposición agresivas. Aplicación a elementos en contacto con aguas residuales agresivas*, (Minor Thesis). Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona. Extraído el 21 de Junio de 2013 de <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3319?locale=es>

Mejías, L. S. (2010). *Técnica de mortero reforzado con mallas de polipropileno para cerramiento de vivienda* (Tesis de Maestría). Universidad Central de Venezuela. Caracas.