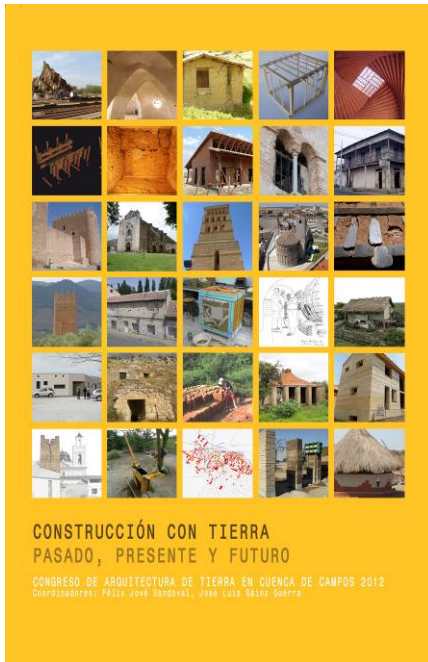




Construcción con Tierra Pasado, presente y futuro

Congreso de Arquitectura de Tierra en Cuenca de Campos 2012.

Coordinadores: Félix Jové Sandoval, José Luis Sáinz Guerra.

ISBN: 978-84-616-3485-9

D.L.: VA 257-2013

Impreso en España

Abril de 2013

Publicación online.

Para citar este artículo:

Soria, F; Guerrero, L; Larrondo, M; "TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN CON TIERRA. DESARROLLO DE PROTOTIPO EXPERIMENTAL." En: *Construcción con tierra. Pasado, presente y futuro. Congreso de Arquitectura de tierra en Cuenca de Campos 2012*. [online]. Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid. 2013. P. 297-304. Disponible en internet: <http://www5.uva.es/grupotierra/publicaciones/digital/libro2013/29in-soria.pdf>

URL de la publicación: <http://www5.uva.es/grupotierra/publicaciones.html>

Este artículo sólo puede ser utilizado para la investigación, la docencia y para fines privados de estudio. Cualquier reproducción parcial o total, redistribución, reventa, préstamo o concesión de licencias, la oferta sistemática o distribución en cualquier otra forma a cualquier persona está expresamente prohibida sin previa autorización por escrito del autor. El editor no se hace responsable de ninguna pérdida, acciones, demandas, procedimientos, costes o daños cualesquiera, causados o surgidos directa o indirectamente del uso de este material.

This article may be used for research, teaching and private study purposes. Any substantial or systematic reproduction, re-distribution, re-selling, loan or sub-licensing, systematic supply or distribution in any form to anyone is expressly forbidden. The publisher shall not be liable for any loss, actions, claims, proceedings, demand or costs or damages whatsoever or howsoever caused arising directly or indirectly in connection with or arising out of the use of this material.

Copyright © Todos los derechos reservados

© de los textos: sus autores.

© de las imágenes: sus autores o sus referencias.

TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN CON TIERRA. DESARROLLO DE PROTOTIPO EXPERIMENTAL.

IX Congreso de Tierra en Cuenca de Campos, Valladolid, 2012

*Francisco Javier Soria - Luis Guerrero * - Mario Larrondo*

Profesores –investigadores

Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco

División de Ciencias y Artes Para el Diseño

Calzada del Hueso 1100, Colonia Villa Quietud, México D. F., C.P.

04960 MÉXICO

Teléfono +55 5483 7232

emails: fjsl_62@hotmail.com luisfg1960@yahoo.es

larrosh@hotmail.com

PALABRAS CLAVE: Construcción alternativa, Barro colado, BTC-Cal.

Resumen

Como parte de un proyecto de investigación encaminado al desarrollo de tecnologías innovadoras para edificaciones armónicas con el ambiente, se propuso la realización de un módulo experimental, a escala real, que utilizara la tierra como material de construcción base. El proyecto se llevó a cabo en tres grandes fases: una primera de indagación, caracterización y selección de las técnicas de construcción con tierra a utilizar; una segunda que implicó el desarrollo del proyecto arquitectónico a construir; y la tercera, dedicada a la aplicación de las técnicas seleccionadas en un prototipo a escala real.

El diseño del módulo experimental es parte de un proyecto de mayor envergadura que pretende instalar un centro de investigación sobre innovaciones de beneficio ambiental que refleje dicha filosofía en sus propias instalaciones.

Fueron cuatro las técnicas seleccionadas y utilizadas, tres dirigidas a muros: bloques de tierra comprimida estabilizados con cal, tapial estabilizado con cemento, barro colado estabilizado con cal y cemento, y una cuarta aplicada a cubiertas, utilizando también el sistema de barro colado, con un armado de refuerzo mínimo de acero sin el uso de cim-

CONSTRUCCIÓN CON TIERRA.

bra y con base en superficies alabeadas, cuya forma contribuye de manera importante a su estabilidad.

Se ha llevado a cabo un monitoreo de todas las fases de la construcción en laboratorio a fin de determinar la caracterización de los materiales, pruebas de dosificación, así como pruebas de resistencia a la compresión de los componentes aplicados. La construcción pretende tener, además de los objetivos de investigación y desarrollo del proyecto global, un carácter demostrativo que ayude a difundir y promover en la comunidad el uso de la tierra como material de construcción contemporánea en armonía ambiental.

Ponencia

1.- La búsqueda de tecnologías de construcción consecuentes con el ambiente.

En el contexto internacional actual, no cabe duda ya que la acción humana ha tenido a lo largo de la historia, un efecto creciente de impacto negativo sobre el entorno natural. De una naturaleza sin intervención alguna, hemos llegado a una artificialización casi absoluta del planeta. El equilibrio se ha perdido y el entorno no tiene capacidad para absorber dichos efectos, sin que esto represente ya un riesgo inminente de cambios, los cuales han terminado por revertirse contra el propio bienestar del ser humano: contaminación atmosférica, desertificación, cambio climático, agotamiento de recursos, destrucción del paisaje, por mencionar los más conocidos.

En estos términos el entorno construido es uno de los vehículos de mayor transformación e impacto sobre el entorno natural, aspecto ampliamente documentado en las últimas décadas. De ahí la importancia de considerar dichos efectos sobre la naturaleza en todas las fases de vida de lo construido, es decir, desde la obtención de materias primas, su transformación industrial, traslado, incorporación en los edificios, hasta la propia operación y posterior desmantelamiento. Se trata además de una problemática cada vez más presente:

La construcción es una actividad en permanente desarrollo, porque responde a necesidades y demandas sociales siempre crecientes. Por lo tanto, su impacto ambiental también es constante y genera, por un lado, un gran consumo de recursos, y por el otro, una importante producción de residuos, agravado esto por determinadas

actitudes frente al consumo y las tecnologías adoptadas¹.

Los esfuerzos para intentar disminuir o al menos controlar de una manera más efectiva el impacto ambiental del entorno construido se han multiplicado y se centran en tres aspectos fundamentales que deben tomarse en cuenta en todas las etapas o ciclo vital del entorno:

- La energía: todo proceso de producción, transformación, transportación, operación e incluso demolición implica una fuente de energía para llevarlo a cabo. Dichas fuentes, sobre todo las de origen fósil, deben evaluarse y cuantificarse.

- Los materiales: todo material tiene su punto de partida en la naturaleza, para ser posteriormente desplazado, transformado y utilizado en la creación de un entorno construido determinado. El origen, la disponibilidad, las posibilidades de renovación, el grado de alteración, son aspectos a considerar para entender el verdadero impacto que implica la obtención de cualquier material para construir.

- Los residuos: La construcción, como cualquier proceso de transformación, genera en mayor o menor medida desechos, muchas veces nocivos, que es indispensable manejar y disponer de forma que afecten lo menos posible el entorno natural y al propio ser humano.

Esta preocupación por disminuir el impacto ambiental del entorno construido en lo general y de la arquitectura en particular, está generando nuevos materiales y sistemas de construcción. Los materiales a seleccionar deben hacer honor a los tres aspectos mencionados: materiales en estado natural, de bajo consumo energético en su obtención, transportación y transformación; materiales renovables, cuya disponibilidad sea de preferencia permanente; materiales limpios, cuyos desechos puedan ser reinsertados, al final de su vida útil, sin afectar el entorno. Sin embargo no se debe olvidar el fin último de esta postura, la cual está enfocada no sólo a conservar nuestros entornos "... sino, sobre todo, como medio para mejorar la calidad de vida de los habitantes de dichos espacios" 2.

Evidentemente que el aspecto de los materiales y sistemas constructivos es apenas una parte de la complejidad real que implica la búsqueda de una sociedad medioambientalmente sostenible, los factores son diversos y multidimensionales. Sin embargo, para el ámbito de la arquitectura, debería ser uno de los pilares en la toma de decisiones en un proceso de diseño que adquiera



Fig. 1.- Planta de conjunto del anteproyecto para el Centro de Investigación y Desarrollo Sustentable de la UAM-Xochimilco en el poblado de Tulyehualco, al sur de la Ciudad de México. Fuente: Francisco Javier Soria

responsabilidad con el entorno natural y humano al que impactará.

2.- El Centro Experimental Biocéntrico. (CEB)

La propuesta para desarrollar un espacio dentro de la universidad dedicado al tema del desarrollo sostenible surge, en parte, por un modesto proyecto de investigación enfocado a experimentar materiales de bajo impacto ambiental, pero también en buena medida, por diversas coincidencias sobre la importancia de abordar este tema desde distintas perspectivas. En el ámbito universitario casi todo campo del conocimiento ha incorporado en su radio de acción, los problemas medioambientales, que como bien se sabe, abarcan prácticamente toda la realidad: lo social, lo económico y lo natural.

Nuestra institución, la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Xochimilco, cuenta con tres Divisiones de estudio: Ciencias y Artes para el Diseño (CyAD), Ciencias Sociales y Humani-

dades (CSH) y Ciencias Biológicas y de la Salud (CBS). Dichas Divisiones han ideado la posibilidad de generar un centro de investigación donde se pudieran reunir las condiciones adecuadas para propiciar e incentivar el trabajo colectivo de investigación, docencia y difusión en materia de conservación del medio ambiente.

La responsabilidad inicial de la División de CyAD fue la de generar un proyecto arquitectónico del conjunto, el cual debía construirse bajo criterios de diseño sostenible, es decir, incorporando aspectos de carácter bioclimático, ecológico, de bajo impacto ambiental y alta eficiencia energética, buscando que las propias instalaciones se conviertan en un elemento demostrativo de las posibilidades y beneficios de este tipo de construcción. Cada una de las Divisiones contaría con los espacios necesarios (aulas, laboratorios, cubículos, etc.) para desarrollar sus labores académicas enfocadas a esta materia.

CONSTRUCCIÓN CON TIERRA.



Figura 2. Fig. 3.- Los muros del ala poniente del Módulo se diseñaron para edificarse con BTC-Cal asentados con barro y cal. Fuente: Luis Guerrero



Figura 3. Frente con tres bodegas consecutivas.

El lugar seleccionado fue un amplio terreno de casi cuatro hectáreas enclavado en un entorno, hasta hace algunas décadas de carácter semi-rural, en proceso de cambio, que se utiliza actualmente como campo de prácticas para actividades agropecuarias. El predio conocido como “Las Ánimas” resulta ideal para este proyecto y se localiza en el poblado de Tulyehualco, en la delegación de Xochimilco, a 20 km. del plantel de la propia universidad. Se trata de un sitio en proceso de urbanización acelerada que requiere de nuevos paradigmas en la forma de ocupar el terreno, cada vez más escaso y de recuperar un entorno construido en sintonía con el contexto natural y cultural del sitio.

El planteamiento general consiste en ocupar un porcentaje máximo de 10% de la superficie total del terreno, respetando los campos de cultivo experimentales que ya existen como parte de la infraestructura de la UAM. El hilo conductor del proyecto es el diseño y funcionamiento de un entorno construido que minimice su impacto sobre el entorno natural y mejore, al mismo tiempo, la calidad de vida de sus usuarios. Cada una de las Divisiones determinó los espacios que consideró necesarios para desarrollar actividades de investigación, docencia, difusión y atención a la comunidad. Por otro lado con el fin de optimizar el proyecto y no rebasar el porcentaje máximo de terreno por ocupar con edificación, se compartirán espacios colectivos como auditorio, biblioteca, estacionamientos y bodegas, entre otros.

Un primer anteproyecto generado arrojó un total de 3160 m² (menos del 10%) donde se contemplaban cuatro grandes zonas: Área de Agronomía (CBS), Policlínica Veterinaria y Zootecnia de Grandes Especies (CBS) Centro de Educación Continua (CSH) y Taller de Construcción Sostenible (CyAD). Por el momento el desarrollo de un proyecto global de carácter ejecutivo no se ha iniciado formalmente. Se acordó realizar un prototipo que pudiera servir como modelo demostrativo del potencial de los materiales propuestos y así se llevó a cabo la construcción de uno de los módulos que conformarían el Espacio de Usos Múltiples. Uno de los planteamientos fundamentales del proyecto de investigación sobre materiales de bajo impacto ya mencionado, es buscar la implementación de los sistemas desarrollados, y que estos tengan un carácter demostrativo y funcional a la vez; de ahí la idea de “...diseñar un espacio multifuncional que sirva a futuro como apoyo para la realización de actividades de docencia e investigación en el propio campo de la sustentabilidad ambiental”³.

3.- El Módulo Experimental

El diseño del prototipo o módulo experimental está basado específicamente en tecnologías de construcción con tierra. Desde luego que hablar de materiales y tecnologías de construcción de bajo impacto ambiental implica una extensa gama de posibilidades como lo son, además de la tierra: la madera, la piedra, fibras naturales, aprovechamiento y reciclaje de materiales, sistemas de ahorro de energía, de recuperación de

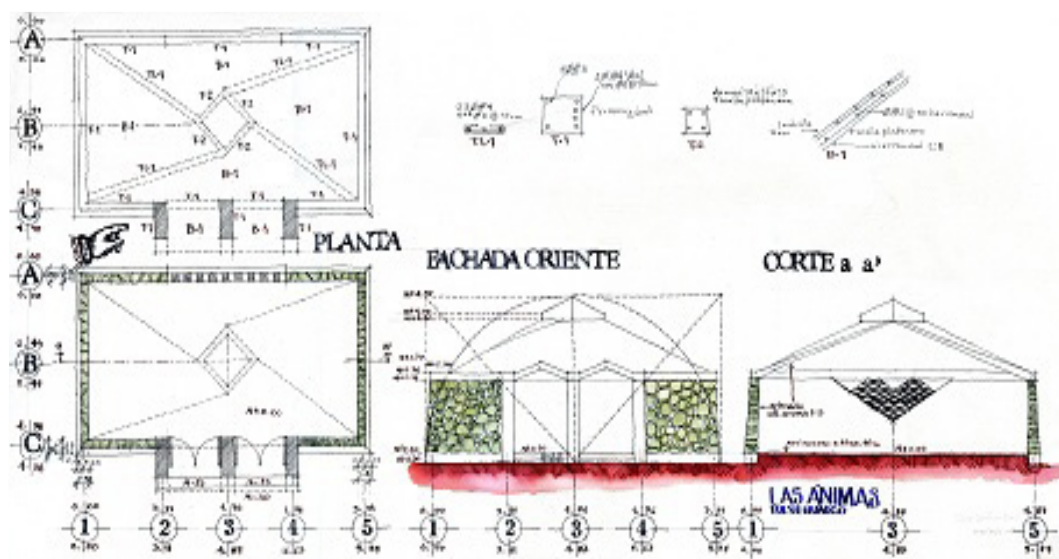


Figura 4. Plantas arquitectónicas, cortes, fachadas y detalles estructurales. Mario Larrondo.

aguas, de tratamiento de residuos. Se trata de un amplísimo universo que en el desarrollo del proyecto deberá explorarse y en su momento seleccionar e implementar aquellos sistemas que resulten más apropiados para cumplir con los criterios de bajo impacto establecidos.

La planta arquitectónica del módulo es un rectángulo de 50 m² de superficie, dispuesta en lados de 10m x 5m con vanos de acceso e iluminación en los paramentos longitudinales, hacia el oriente y el poniente.

La cubierta, a base de superficies alabeadas surgidas de cuatro hipotenusas dispuestas en los vértices de los muros hacia el domo, permite la circulación del aire interior de abajo hacia arriba en una regeneración constante, con efectos de condiciones óptimas de habitabilidad en el interior

Las características de la tierra como material de construcción se complementan al mantener en el interior diferencias de temperatura con el exterior aumentando la calidad de la habitabilidad.

La selección de la tierra como material base obedece a que se pretende aprovechar los trabajos de investigación que un grupo de profesores de la División de CyAD ha realizado en los últimos años. La tierra se considera como una

de las alternativas viables para su desarrollo constructivo en nuestro país. Los sistemas seleccionados como una primera posibilidad para construir algunos de los edificios del CEB son los siguientes:

Bloques de Tierra Comprimida (BTC-Cal). Se trata de una técnica ya conocida, que retoma en su proceso características similares al uso del adobe, pero utilizando bloques de mayor resistencia y durabilidad. El uso de la cal, para estabilizar dichos bloques, es otro de los elementos que se buscó incorporar. Las propiedades de la cal estabilizan y consolidan los bloques, mejorando notablemente su resistencia a la humedad. Se experimentó con diversas variables y combinaciones, tanto con diferentes porcentajes de cal en la mezcla, el empleo de tierras de diferentes bancos y por lo tanto de contenido y granulometría diversa. Así mismo, se trabajó con diferentes procesos de curado y secado. Otro factor que se trabajó fue el tamaño de los bloques así como el tipo de máquinas (hidráulicas y manuales) utilizadas. Se incorporaron al prototipo en muros de carga.

Tapia de tierra estabilizada. Esta técnica se ha trabajado poco en México; si bien existen ejemplos históricos de su uso, estos son muy limitados. Sin embargo, se trata de una técnica que ofrece grandes posibilidades de desarrollo por

CONSTRUCCIÓN CON TIERRA.

su resistencia, sencillez de construcción, apariencia, inercia térmica, entre otras cualidades. En este caso la estabilización fue dada con cemento y no con cal debido al alto contenido de arenas en la

tierra empleada. Se experimentó con dos tipos de moldeado, buscando eliminar, en uno de ellos, la fragilidad de las esquinas mediante un achaflanado de las aristas. Este sistema se incorporó en los muretes de carga que enmarcan los accesos del prototipo.

Barro colado. El tercer sistema que se introdujo para la conformación de los muros del prototipo fue el barro colado, conocido en otras latitudes como “hormigón de barro” o “barro vertido”. Se trata del uso de una mezcla de tierra con mayor contenido de humedad que la de requerida para hacer tapias y que es vaciada en encofrados, aplicando un procedimiento similar al concreto u hormigón. En este caso la estabilización de la tierra se realizó mediante una combinación de cemento y cal, en porcentajes relativamente altos del primero (20%), lo que dio como consecuencia una buena resistencia a la compresión de los muros donde se implementó esta técnica (48 kg/cm² a los 14 días).

Barro lanzado o moldeado. Se trata de una variante de la técnica anterior, en la que también de emplea una mezcla muy plástica de tierra, cemento y cal, con la humedad necesaria para obtener una mezcla manejable para ser empujada o lanzada sobre un soporte ligero de ma-

lla de acero. Al no utilizar encofrado, la mezcla ha de tener la suficiente densidad y viscosidad para no caer del soporte. Al mismo tiempo no puede estar demasiado “seca” ya que su resistencia se da por un proceso de fraguado y secado y no mediante compactación. El soporte de la estructura de la cubierta, que fue diseñada para conformar cuatro paños de superficies regladas, se genera por un doble efecto del material y la forma. Se utilizó un porcentaje mínimo de acero de refuerzo (varilla) para implementar cuatro nervaduras principales que transmiten las cargas hacia un anillo de compresión y enlace de planta cuadrangular en la parte alta de la cubierta, y hacia una cadena de cerramiento que corona los muros. La forma de catenaria de nervios y superficies alabeadas que se producen entre los anteriores, hacen que la cubierta se comporte de manera auto portante.

El diseño arquitectónico del módulo cambió durante el proceso de experimentación, especialmente en lo que respecta al tipo de cubierta. Originalmente se había determinado que el techo estaría conformado por una combinación de bóvedas de BTC con cubiertas planas de vigas de madera y terrado, sin embargo dicha propuesta se sustituyó por las superficies regladas hechas con barro lanzado que se han descrito. Parte de los objetivos del Módulo consiste en la incorporación de ideas y experiencias que han trabajado profesores de la UAM.



Fig. 5.- Vertido del barro estabilizado con cal y cemento en el encofrado, para la conformación de los muros del ala oriente del Módulo. Fuente: Luis Guerrero



Fig. 6.- Estructura portante de malla metálica para el techo. Fuente: Francisco Javier Soria



Fig. 7.- Cubierta con cuatro superficies alabeadas soportadas por sendas nervaduras. Fuente: Luis Guerrero



Fig. 8.- El módulo experimental con la cubierta ya concluida, revestida con ladrillo de barro cocido. Fuente: Mario Larrondo.

Comentarios finales

No cabe duda que el compromiso que tiene el campo del diseño y construcción con los entornos preexistentes, sean naturales o culturales por igual, es enorme. El impacto que genera la creación, operación y eventual destrucción de lo edificado sobre el contexto natural va más allá de lo local, rebasa fronteras, es un problema globalizado.

La investigación y sobre todo, la aplicación de sistemas constructivos de bajo impacto ambiental, siguen sin poder incidir de manera importante en la producción de nuestros espacios habitables. Las dificultades son muchas, pero sin duda la falta de difusión y por lo mismo, el poco convencimiento de su efectividad, es el mayor prejuicio que hay que revertir.

En este sentido consideramos que los sistemas alternativos basados en tierra que utilizan procesos afines a ciertas técnicas tradicionales, como el adobe y otras más recientes como el hormigón, podrían ser más fácilmente aceptados por su arraigo en nuestro país. Sin embargo, es necesario generar modelos demostrativos, que ayuden en la tarea de difusión y experimentación real del potencial que estas técnicas tienen.

Además, estos componentes edilicios deben ser monitoreados con el paso del tiempo para poder contar con elementos científicamente sustentados acerca de su eficiencia y durabilidad y, de esta manera, contribuir en el enriquecimiento de la cultura constructiva con tierra.

Bibliografía

DANEELS, Annick, L. Guerrero y R. Roux, "Caracterización de los materiales y sistemas constructivos de tierra en la ciudad prehispánica de La Joya, Veracruz, México" en *Terra em Seminário*. IX SIA-COT, Lisboa, Argumentum, 2010.

Galíndez, Fernando, "Bloques de tierra comprimida sin adición de cemento (BTC); Aportación al ahorro energético", en *Revista Seguridad y Medio Ambiente*, No115, tercer trimestre de 23009, Fundación MAPFRE, Madrid, 2009.

GLINKA, María E. - Vedoya, Daniel E. - Pilar de Zalazar, Claudia A., "Reducción del Impacto Ambiental a partir de Estrategias de Reciclaje y Reutilización de Residuos Sólidos Provenientes de la Demolición de Edificios. UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE, Comunicaciones Científicas y Tecnológicas 2005.

Consultado en <http://www.unne.edu.ar/Web/cyt/com2005/7-Tecnologia/T-037.pdf>

GUERRERO, Luis, "Arquitectura en tierra. Hacia la recuperación de una cultura constructiva", en *Revista Apuntes*, Vol. 20 (2). Bogotá, Pontificia Universidad Javierana, 2007.

GUERRERO, Luis; L. Meraz y F. J. Soria, "Cualidades sismorresistentes de las viviendas de adobe en las faldas del volcán Popocatepetl", en *Patrimonio construido con tierra*, México D.F., U.A.M.-Xochimilco, 2007.

GUERRERO, Luis; R. Roux y F.J. Soria, "Ventajas constructivas del uso de tierra comprimida y estabilizada con cal en México" en *Palapa* Vol. V, No. 1 (10), Universidad de Colima, Colima, 2011.

HOFFMANN, Márcio. *Efeito dos argilo-minerais do solo na matéria prima dos sistemas construtivos com solo cal*, Tese de Grado de Maestria, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2002.

Notas

1. Glinka, María E. - Vedoya, Daniel E. - Pilar de Zalazar, Claudia A., "Reducción del Impacto Ambiental a partir de Estrategias de Reciclaje y Reutilización de Residuos Sólidos Provenientes de la Demolición de Edificios. UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE, Comunicaciones Científicas y Tecnológicas 2005. Consultado en <http://www.unne.edu.ar/Web/cyt/com2005/7-Tecnologia/T-037.pdf>

2.,3. Soria López, F. J., Guerrero Baca, L.F. y Roux, R., "Investigación interuniversitaria sobre construcción alternativa con tierra en México", Universidad de Valladolid, Valladolid 2011.