

Arquitectura en Tierra:

Tecnología sostenible y reutilización patrimonial

XIV CIATTI 2017 MÉXICO
Congreso Internacional de Arquitectura en Tierra,
Tradición e Innovación

Coordinadores:
José Luis Sáinz Guerra
Félix Jové
Luis Fernando Guerrero Baca

ISBN: 978-84-09-06433-5
D.L.: VA 829-2018
Impreso en España
Noviembre de 2018

Publicación online.

Para citar este artículo:

To cite this article:

VIZCARRA, María de los Ángeles; GARCÍA, Diego Andrés. "Documentación de tapias de piedra poma: aportaciones para la sostenibilidad de la arquitectura en tierra". En: *Arquitectura en tierra. Tecnología sostenible y reutilización patrimonial*. [online]. Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid, Valladolid 2018. Pp. 81-88

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.

DOCUMENTACIÓN DE TAPIAS DE PIEDRA POMA: APORTACIONES PARA LA SOSTENIBILIDAD DE LA ARQUITECTURA EN TIERRA

XIV CIATTI 2017. Congreso Internacional de Arquitectura de Tierra, Tradición e Innovación.
Ciudad de México

*María de los Ángeles Vizcarra de los Reyes. * Maestra en Arquitectura
Diego Andrés García Ruiz. Pasante de arquitectura*

Facultad de arquitectura, UNAM, México

PALABRAS CLAVE: Tapia, cal, tradición constructiva en tierra

1. Introducción

Este trabajo se enmarca dentro del proyecto de investigación del Laboratorio de procedimientos y sistemas constructivos tradicionales como alternativa para una arquitectura sustentable, desarrollado en la Facultad de Arquitectura de la UNAM. Este proyecto reflexiona sobre cómo el rescatar, estudiar y experimentar con las tradiciones constructivas de nuestro país puede contribuir a generar conocimiento en el campo de la sostenibilidad en la arquitectura en términos económicos, técnicos, sociales, culturales y ambientales.

Se han documentado diez sistemas constructivos de cuatro regiones del país, entre ellos un tapial hecho con piedra pómez (llamada piedra poma en el lugar donde se encontró), residuos de cal y tierra cruda, encontrado en la localidad de Tepeyahualco, en Puebla.

La investigación se sustenta en el trabajo de campo que documenta mediante fotografías y dibujos los restos de estructuras históricas de tapia y de terrados de la zona. Si bien es un sistema constructivo relativamente reciente

según los datos encontrados en trabajo de campo, se infiere que ha sido conformado a partir del aprendizaje y la fusión de dos técnicas constructivas de mayor antigüedad presentes también en la región nororiente de Puebla: los terrados hechos con piedra pómez y cal empleados en las techumbres, y las tapias de tierra cruda. También se han realizado entrevistas videograbadas a maestros constructores de la localidad que todavía conocen la técnica, identificando tres variaciones en cuanto al tipo y dosificación de los materiales, granulometría, proceso de hidratación, nivel de compactación y tiempo de fraguado. Finalmente se han realizado modelos a escala para identificar estas variables asociadas al sistema constructivo, y hemos comenzado a realizar pruebas en laboratorio.

Este estudio resulta relevante ya que no existe ningún tipo de documentación precedente. Asimismo, los análisis realizados permiten prever el desarrollo de acciones para su conservación patrimonial así como para su aplicación en la generación de conocimientos en el área de la sostenibilidad arquitectónica.

2. Antecedentes históricos

2.1 La tapia

Al hablar del sistema constructivo de muros de tapia, es necesario hacer referencia a la construcción con tierra y entender su función durante el proceso evolutivo del ser humano con la tierra como material de construcción, el cual se ha utilizado por más de 9000 años, desde las primeras edificaciones que datan del neolítico (7000 a.C.) hasta el siglo XXI. Durante este proceso el uso de la tierra ha sido practicado en diferentes épocas por la mayoría de las culturas a nivel global, compartiendo, adaptando y mejorando los métodos y técnicas, de esta misma forma ha trascendido el conocimiento que se tiene de la práctica a través del tiempo mediante los diferentes grupos culturales del mundo.

La tierra apisonada, compactada o mejor conocida en México y países de habla hispana como tapia o tapial, es una pieza o unidad que en conjunto trabaja un muro de carga formando de esta manera el sistema constructivo de muro de tapia. Esta unidad monolítica se realiza a partir de tierra dispersa previamente seleccionada, compuesta por arcillas, arenas y limos normalmente, sin embargo dependien-



Figura 1. Muro tradicional de tapia de tierra en San Andrés Payuca, Puebla, México. Fuente: Acervo del Laboratorio de procedimientos y sistemas constructivos tradicionales como alternativa para una arquitectura sustentable, FA/UNAM (LABPySC)

do de los materiales que se presenten en el contexto inmediato se puede utilizar algún tipo de roca y estabilizador o cementante. Esta tierra se humedece ligeramente con agua antes de ser vertida dentro de una cimbra o encofrado llamado tapial, formado por cuatro superficies: dos paralelas y dos perpendiculares a éstas en sentido vertical, separadas dependiendo del espesor del muro de tapia que se necesite. La cimbra se rigidiza mediante piezas de madera ya sean horcones o polines en el sentido vertical ajustados y fijados con cuerdas o tornillos largos y tuercas para conservar la forma de la tapia y evitar deformaciones durante el apisonado de las capas de tierra. Cada una de estas capas tiene un espesor de 10 cm a 20 cm y se compacta de forma manual con un pisón de madera o de acero o con un pisón hidráulico, hasta llenar el encofrado y así formar la tapia.

La tapia se caracteriza por su forma racional de prisma rectangular con una altura de 1 a 1.50 metros, un largo de 2 a 2.50 metros y con un espesor de 20 cm hasta 1.20 metros, dependiendo de las necesidades de carga de



Figura 2. Vestigios de tapias de piedra poma en Tepeyahualco, Puebla. Fuente: Acervo del LABPySC FA/ UNAM.

la estructura. De igual forma las proporciones de la tapia están ligadas a la lógica estructural, donde cada unidad transmite el peso de forma proporcional y uniforme dentro del muro de carga en conjunto. Estas piezas deben ir contrapeadas para evitar fracturas en las juntas. Por otro lado las proporciones de la tapia tienen una directa relación antropomórfica con el proceso de construcción, el uso de los materiales y herramientas de acuerdo a la escala del ser humano y su posibilidad de manejar estos elementos. Sin embargo, a lo largo del tiempo han evolucionado los métodos, compuestos, técnicas y herramientas para hacer tapias, pero siempre basados en la misma lógica de compactar un material que llega a una densificación mayor y consecuentemente a una mayor estabilidad (fig. 1).

2.2 La tapia en México

El desarrollo de este sistema constructivo en México ha tenido distintos puntos de inicio en diferentes tiempos históricos, la primera noción acerca de esta técnica de compactar la tierra, se inició con la edificación de la pirámide del sol en la era del imperio Teotihuacano en el año 150 d.C. Por otra parte en el año 300 d.C. la cultura Olmeca-Xicalanca construyó los cimientos de la zona de Cacaxtla mediante la compactación de tierra y con adobes. También existieron otras aproximaciones como la técnica de “moldeado en húmedo” o “barro colado”, que se produjo en Paquimé, Chihuahua.

No fue hasta la llegada de la cultura española que se consolidó esta práctica constructiva, mediante la fusión de diferentes técnicas existentes en el continente americano junto con las nuevas tecnologías consolidadas con anterioridad en Europa y Oriente. A pesar de que en la era colonial muchos arquetipos principalmente religiosos fuesen impuestos por los conquistadores, la misma práctica de los obreros americanos sirvió para asimilar y experimentar con el sistema constructivo de muro de tapia. De esta forma la tapia a través del tiempo se fue integrando a las culturas constructivas de México.

Dentro del México colonial, el sistema constructivo de muro de tapia fue utilizado para diferentes tipos de edificios, como en el levantamiento de bardas para limitar y proteger los predios, muros perimetrales en vivienda, muros divisorios y a una escala mayor templos religiosos, haciendas, casonas, edificios públicos e infraestructura vial e hidráulica, junto con la combinación de diferentes técnicas y otros sistemas constructivos. Sin embargo la difusión y uso de la tapia no fue tan expansiva, ésta se desarrolló principalmente en el altiplano central de México, en los estados de Puebla, Tlaxcala, Hidalgo, Estado de México, Morelos, Querétaro y parte de Veracruz.

Otra influencia particular dentro del proceso de evolución de la tapia en México, fue la influencia arquitectónica y tecnológica de Francia a finales del siglo XIX. En los años 40 y 50 de este período se desarrollaron una gran



Figura 3. Techo de vigería y entortado de cal y piedra pómez en la Hacienda Pizarro, Puebla. Fuente: Acervo del LABPySC FA/UNAM.



Figura 4. Encofrado tradicional para tapia de tierra en San Andrés Payuca, Puebla. Fuente: Acervo del LABPySC FA/UNAM.

cantidad de haciendas y se cree que hubo un uso muy significativo de la tapia con nuevas tecnologías y técnicas para su producción.

Naturalmente en la vivienda popular de la época colonial se vio reflejada la trascendencia del tapial, ya que la práctica constante de este sistema constructivo fue incorporada a la vida cotidiana convirtiéndola en una forma tradicional de edificar, que además resultaba económicamente viable. De esta forma la tapia tomó presencia dentro de la arquitectura de México, formando parte de la memoria y creatividad colectiva, que se ha mantenido en constante cambio.

2.3 La Tapia de piedra poma en Tepeyahualco, Puebla

La práctica constructiva de tapial se ha ido consolidando a través del tiempo en la zona central de Puebla, en municipios como Cuyoaco, Calpan, y Tepeyahualco, entre otros. Este sistema constructivo se ha desarrollado de manera particular en cada uno de sus municipios adecuándose al contexto de cada región, desde el tipo de materiales que se emplean para la tapia, la forma en que se elabora, las herramientas que se ocupan y los costos de construcción.

En la localidad de Tepeyahualco, se encontró una variante muy interesante de esta técnica constructiva: un tapial que conserva el mismo procedimiento constructivo pero que sustituye los materiales del muro. La tierra ha sido

reemplazada por una mezcla de residuos de cal y una piedra ligera producto de la espuma volcánica, la piedra pómez, que en el sitio es llamada piedra poma. Estos materiales, al igual que la tierra, son también de origen local. Este hecho, aunado a la continuidad del uso del encofrado para hacer el tapial, permite aseverar que este tapial es una evolución de una técnica tradicional, y que a diferencia de lo que se observa en la mayoría de las tradiciones constructivas de nuestro país, ha encontrado una manera de cambiar sin el riesgo de desaparecer (Fig. 2).

El sistema constructivo de tapial de piedra pómez y residuos de cal es un sistema relativamente reciente. Según los datos encontrados en trabajo de campo surge a principios del siglo XX; sin embargo, ha sido conformado a partir del aprendizaje y la fusión de dos técnicas constructivas tradicionales de mayor antigüedad presentes también en el norte de Puebla: por un lado, de los terrados hechos con piedra poma y cal para cubrir los tejados de madera en las viviendas y las haciendas de la zona (fig. 3), toma la combinación de materiales; y por otro, del tapial de tierra empleado en la misma región, utiliza el encofrado de madera para cimbrar los muros (fig. 4). El resultado es un muro de un espesor menor que el de la tierra cruda -25 a 30 cm vs. 50 a 60 cm-, que representa una mayor eficiencia en el trabajo estructural, en la cantidad de material utilizado, en el procedimiento constructivo y en el tiempo de ejecución. Continúa utilizando materiales locales, conserva la



Figura 5. Tapias de piedra poma y residuos de cal en Tepeyahualco, Puebla. Fuente: Acervo del LABPySC FA/UNAM.



Figura 6. Procedimiento constructivo: descimbrado de tapia de piedra poma, Tepeyahualco, Puebla. Fuente: Acervo del LABPySC FA/UNAM.

sencillez en el proceso de ejecución y como sus predecesores, no requiere herramientas sofisticadas. Para las tapias en Tepeyahualco, se utilizan diversos materiales de origen volcánico con alto contenido de silicatos y alúminas, tales como, la “pumita” o piedra pómez, “lapilli” o tepojal o “cacahuatillo”, “escoria” o tezontle y basalto o piedra volcánica. También se utiliza el excedente de cal o “granzón” el cual es un producto remanente de la producción de la cal elaborado por la calera de Tepeyahualco. Esta industria obtiene su materia prima, la piedra caliza, de montes que se encuentran a menos de dos kilómetros a la redonda. El excedente de cal está compuesto por un 15% de cal y un 85% de arena de piedra caliza triturada. Por otra parte también se emplea tierra de alto contenido limoso o “barro renegrido”, proveniente de las partes bajas de las montañas, donde se sedimenta este tipo de material. El banco de material utilizado en las pruebas de campo y de laboratorio se ubica en la carretera Tepeyahualco-Cantona a un kilómetro de Tepeyahualco, a un costado del cerro “Tepeyahualquense”.

El excedente de cal representa un factor clave en la fabricación de este sistema constructivo dentro de Tepeyahualco, Puebla. A partir de la creación de la calera y la producción del excedente de cal, se intensificó la práctica y uso del sistema constructivo de tapia, ya que se contaba con material para su fabricación y presentaba mejores características en la resistencia a compresión y mejor respuesta ante los agentes erosivos. Es pertinente acla-

rar que la práctica de la tapia no se inició a la par de la calera, este sistema constructivo ya se practicaba con anterioridad a partir de tierra, piedra pómez, piedra lapilli, basalto y en algunos casos cal producida de forma artesanal en hornos pertenecientes a las haciendas de la colonia. La calera de Tepeyahualco durante y después de la colonia fue una fábrica de fundición de metales y en la década de los 90 del siglo pasado se transformó en calera, dada su cercanía a grandes yacimientos de piedra caliza dentro de la región (fig. 5).

La mezcla de los materiales antes descritos se hace con las siguientes proporciones: 1 volumen de excedente de cal, 1 volumen de piedra poma, 1 volumen de cacahuatillo, 1/3 de volumen de tierra arcillo-limosa y aproximadamente un 5% de agua (dependiendo de la humedad de los materiales). La piedra poma y cacahuatillo deberán ser de diferentes tamaños para que el bloque tenga mayor consistencia. La mezcla ya lista se deposita dentro del cajón o encofrado en capas de 20 a 30 cm apisonadas, una vez lleno el cajón se empareja la superficie con cuchara, se quita la cimbra y se recorre sobre la cepa de cimentación (fig. 6).

Así, la práctica, el proceso de fabricación y la misma tapia de piedra poma se ha modificado a través del tiempo a partir de la inclusión y adaptación a nuevos escenarios sociales y económicos. Por otro parte la incorporación y uso de nuevas herramientas, alguna de ellas industriales, para su fabricación hacen

Materiales/proporciones	Mezcla	Mezcla	Mezcla	Mezcla
	Tepe-A	Tepe-B	Fuerte	combinada
Piedra poma (PP)	1	1	1	1
Cacahuatillo (C)	1	1	1	1
Excedente de cal (EC)	1	1	-	-
Barro renegrido (B)	0.333	-	-	0.333
Cal en bulto (CB)			0.15	0.15
Arena (A)			0.85	0.85

Tabla 1. Materiales y proporciones utilizados en las probetas. Fuente: Fuente: Acervo del LABPySC FA/ UNAM.

que su elaboración sea más rápida. Por otro lado se han experimentado y creado de forma empírica nuevas mezclas de materiales que han mejorado sus características.

3. Trabajo experimental

A la fecha, se tiene el avance de la documentación del sistema constructivo en campo y laboratorio; mediante fotografías, dibujos, levantamientos y entrevistas videograbadas a dos maestros constructores de la localidad.

Esta información se ha empezado a procesar en el laboratorio mediante la producción de modelos digitales, modelos a escala que intentan reproducir el sistema de manera fidedigna con el fin de identificar las principales variables asociadas al sistema constructivo. Se utilizan en la medida de lo posible materiales y procedimientos iguales a los empleados en la realidad.

Con los antecedentes recopilados en el trabajo de campo, se han iniciado los primeros trabajos experimentales en los laboratorios tanto de la UNAM como de la UAM-Xochimilco.

Respecto al trabajo de laboratorio, se elaboraron probetas de 5x5x5 cm del material recopilado en sitio, para realizar pruebas mecánicas. También se hicieron pruebas caseras de sedimentación para identificar la composición de los materiales y sus proporciones, que después serán contrastadas con "realidad artesanal", es decir, la información recopilada en campo de manera verbal por los maestros constructores.

Para iniciar las primeras aproximaciones a las pruebas de compresión, se partió de las mezclas con las proporciones recabadas en cam-

po, que son dos variaciones de Tepeyahualco, y una más de un poblado aledaño, llamado El Fuerte, donde el excedente de cal es sustituido por una mezcla de cal industrializada y arena.

Para ayudar a la comparación de resultados, se añadió una cuarta mezcla, haciendo una combinación de las variantes de los dos poblados con el fin de tener más información sobre la función del barro. A continuación se enlista la dosificación de las mezclas mencionadas:

Las probetas cúbicas, una vez que secaron por completo durante 28 días en áreas con temperatura y humedad controladas, fueron sometidas a ensayos de compresión en una prensa manual digital ELVEC, modelo E 657-1 (ASTM C39; AASHTO T22). Se utilizaron tres probetas por mezcla. Los resultados promedio de cada una de las mezclas se muestran en la Tabla 2 (figs. 7 y 8).

3.1 Discusión de resultados

A la luz de estos primeros resultados, podemos inferir que las mezclas con barro tienen una mayor resistencia, en rangos bastante similares.

En un futuro se prevé hacer nuevas pruebas incrementando la dosificación de barro, además de hacer pruebas con distintas arcillas y tipos de tierra para saber si es factible utilizar este sistema constructivo con materiales similares en otras regiones.

Estos primeros resultados arrojan resultados prometedores, pues a primera vista resisten un 50% más en promedio que las tapias de tierra; lo que ya había sido inferido, pues el

Tipo de mezcla	Dosificación en volumen	Resistencia a la compresión simple (kgf/cm ²)
Tepe- A PP : C : EC : B	3:3:3:1	31.17
Tepe -B PP : C : EC	1:01:01	21.2
Fuerte PP : C : CB : A	6 : 6 : 1 : 5	20.02
Mezcla combinada PP : C : B : CB : A	5 : 6 : 2 : 1 : 5	34.49

Tabla 2. Síntesis de resultados de las pruebas de compresión. Fuente: Fuente: Acervo del LABPySC FA/UNAM.



Figura 7. Proceso de pruebas mecánicas en Laboratorio UAM-Xochimilco, con prensa marca ELVEC mod. E 657-1. Fuente: Acervo del LABPySC FA/UNAM.

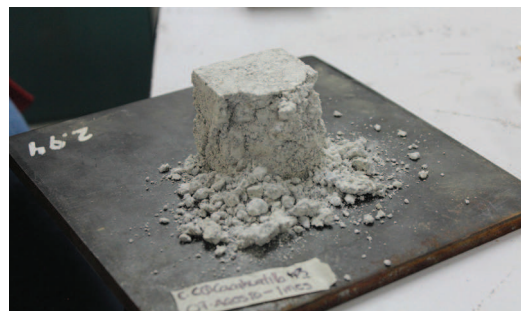


Figura 8. Probeta después de la prueba mecánica de compresión. Fuente: Acervo del LABPySC FA/UNAM

bloque de las tapias de Tepayahualco tiene un espesor de 25 cm en promedio, la mitad que las tapias de tierra.

La composición de la mezcla de materiales ofrece una reacción química durante el proceso de fraguado de la mezcla, que tiene ventajas frente al tapial de tierra, su predecesor, que permite reducir el espesor de los muros en un 50%. Esto se explica porque la mezcla de residuos de cal tiene todavía elementos activos, y puesto que la cal es un cementante aéreo, es decir, endurece en contacto con el aire, a diferencia del cemento que endurece al agregarle agua. Por ello, la cal puede permanecer sin fraguar bajo el agua y conservarse en buen estado durante años en estas condiciones. Los morteros hidráulicos a base de cal se obtienen de dos formas: la primera, mezclando la cal hidráulica con arenas inertes. La segunda, mezclando cal aérea con arenas ricas en sílice y alúmina reactivas, como es el caso de las puzolanas (arenas de origen volcánico), como el tezontle y la piedra pómez. Esto es lo que la hace reaccionar con el agua. Según los testimonios de las entrevistadas, si llueve o le cae agua, endurece más

rápido. Así se infiere que existen reacciones puzolánicas en la mezcla que provocan los restos de hidróxido de cal presentes en los residuos de la cal al entrar en contacto con la piedra pómez, que contiene silicatos.

Así, el sistema constructivo de tapial de piedra poma y residuos de cal, optimiza procedimientos y materiales respecto a los sistemas constructivos que le han dado origen, ya que ofrece una mayor rapidez en la ejecución pero conservando la simplicidad constructiva, ofrece ahorros en material, un mejor funcionamiento mecánico, un menor mantenimiento y mayores periodos de vida útil.

4. Conclusiones

Después de la exposición de los conceptos que sustentan el trabajo de esta investigación, se observa una ruptura evolutiva y una tendencia a la desaparición de técnicas ancestrales y sus arquitecturas, que, como ya se argumentó en párrafos anteriores, pueden aportar lecciones que ayuden a encontrar caminos orientados a propuestas sostenibles en el ámbito de la arquitectura.

Este estudio ha probado la mejora en la eficiencia en el uso de los materiales y su respeto y apego al medio ambiente, logrando ser un sistema constructivo de transición que aporta elementos de la tradición en tapia y de la construcción con piedra pómez y cal, y aporta elementos que permiten competir, desde su propia línea evolutiva dentro de la tradición constructiva local, con las influencias de la arquitectura importada de ámbitos urbanos. Estas reflexiones han sido parcialmente corroboradas mediante el trabajo experimental, cuyas primeras pruebas y conclusiones se

han presentado en este documento. En la siguiente fase de investigación, se compararán estos resultados frente a los procedimientos constructivos que ya han invadido la localidad: block y tabicón de cemento, principalmente.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT), de la Universidad Nacional Autónoma de México. Proyecto PAPIIT IT-400317.

Bibliografía

CERVANTES, Agustín. "Tepeyahualco, en la redondez de los cerros". En *Tepeyahualco, identidad de un pueblo*, Conaculta, 2014. México.

GUERRERO BACA, Luis. "Pasado y porvenir de la arquitectura de tapia", en *Bitácora Arquitectura*, N° 22, Facultad de Arquitectura, UNAM, 2011. México.

GUERRERO BACA, Luis. "Tradición constructiva con tapial en las faldas orientales del Iztaccíhuatl". Revista *Palapa*. Universidad de Colima, 2014. México .

MERAZ QUINTANA, Leonardo; GUERRERO BACA, Luis. "Calpan (México), historia, urbanismo y tapial" En *Construcción con tierra. Tecnología y Ar-*

quitectura. Congresos de arquitectura de tierra en Cuenca de Campos 2010/2011. Valladolid, Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid, 2011. España.

OREA, Hayde. "El uso de la cal en la conservación de los monumentos arqueológicos e históricos: de la teoría a la práctica". En BARBA, L. & VILLASEÑOR, I. (Eds.). *La cal: Historia, propiedades y usos*. Instituto de Investigaciones Antropológicas, UNAM, y Asociación Nacional de Fabricantes de Cal, A.C., 2013. México.

RODRIGUEZ LICEA, Minerva. *El uso de tapia en las haciendas de Tlaxcala*. Dirección General de Bibliotecas, Tesis digitales, UNAM, 2014. México.

Citas y notas

***María de los Ángeles Vizcarra de los Reyes**, maestra en Arquitectura, Investigadora en el Centro de Investigaciones en Arquitectura, Urbanismo y Paisaje, Facultad de Arquitectura, UNAM.

Diego Andrés García Ruiz, pasante de Arquitectura, Facultad de Arquitectura, UNAM.