



PROTOTIPO DE VIVIENDA CON MUROS DE TIERRA VERTIDA Y CUBIERTA DE BAMBÚ. AVANCES DEL PROYECTO

**Yolanda Aranda Jiménez, Teresa Sánchez Medrano, Rubén Roux G.,
Jorge Rivera B., Fabiola San Pedro C.**

Universidad Autónoma de Tamaulipas, México.
yoli212@yahoo.com.mx, tesamed@hotmail.com

Palabras clave: Sustentabilidad, tierra vertida, bambú.

Resumen

Este proyecto se fundamenta en elevar la calidad de vida de las familias tamaulipecas en México, promoviendo las oportunidades de acceso a vivienda digna por medio de la autoconstrucción asistida técnicamente.

En México, el tema de acceso a la vivienda por parte de los sectores más desfavorecidos ha sido preocupación de los gobiernos federal y estatales, lo cual ha llevado a incluir dentro del Plan Estatal de Desarrollo, objetivos y líneas de acción que promuevan el acceso a vivienda digna.

Uno de los propósitos principales de la política pública de vivienda sustentable, es que las nuevas edificaciones de viviendas y el parque habitacional pueda integrarse en un entorno sustentable, en el 2010 la Comisión Nacional para la vivienda apoyando la cita del Centro de Investigación y documentación para la vivienda afirma: *ya no se puede seguir construyendo viviendas igual que antes, los antiguos métodos deben sustituirse por nuevos procesos y tecnologías que reduzcan el efecto que ejerce la construcción habitacional sobre el medio ambiente.*

Por parte de la comunidad científico-académica la inquietud se enfoca en el desarrollo de nuevos materiales, tecnologías y la implementación de sistemas constructivos sustentables que coadyuven a que dichos objetivos del Plan de Desarrollo se materialicen.

El presente proyecto es denominado prototipo de Vivienda Experimental Sustentable y es financiado por el Consejo Tamaulipeco de Ciencia y Tecnología (COTACYT).

Objetivo General:

Realizar un prototipo de vivienda sustentable, que cumpla con las características de una vivienda mínima, cuyo diseño estructural esté basado en las propiedades del bambú y muros de carga a base de tierra vertida estabilizada con cemento.

Objetivos Particulares:

Selección de los materiales adecuados para tal efecto.

Elaboración de un manual y las especificaciones que permita la reproducción del prototipo por medio de la autoconstrucción asistida.

Monitoreo del prototipo.

1. ANTECEDENTES

Existen diversos sistemas constructivos para la construcción con tierra, de los más conocidos se pueden mencionar para mampostería: adobes, bloques de tierra comprimida y otros como el tapial y bahareque.

Houben y Guillard (1994) en su libro *Earth Construction* divide en tres los sistemas de construcción con tierra.

1. Sistema monolítico
2. Sistemas a base de bloques o tabiques.
3. Sistemas con estructuras diversas

La tierra vertida queda dentro de la clasificación de sistemas monolíticos donde se encuentran otros sistemas como son: el tapial, el cob, moldeado o bauge, la tierra en sacos y el excavado directo.

Otros autores la definen como hormigón de tierra estabilizada: hormigón de tierra en el cual un estabilizante (cal, por ejemplo) mejora las cualidades del material (resistencia, etc.) Doat et al, (1990).

En el 2010 el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y el Ministerio de Ciencia y Tecnología (MINCYT) por la parte mexicana y argentina, respectivamente, aprueban el proyecto de investigación "Tierra vertida. Hormigón verde. Estudio de los materiales componentes, su dosificación, interacción y puesta en obra en dos contextos", dentro del marco del programa de cooperación bilateral México-Argentina (Aranda-Jiménez; González-Defelice, 2012). Esta investigación se centró en resolver la siguiente pregunta:

¿Cuáles son las proporciones de los componentes de la tierra vertida, así como los porcentajes de estabilización con cemento y cal para obtener una mezcla trabajable¹ y determinar la resistencia de acuerdo al proceso de cálculo para muros de carga?

Paralelamente se desarrolla la investigación: "Estudio del comportamiento a flexión del bambú como refuerzo del concreto en sistemas de piso y cubiertas" (Sanchez, 2011) cuyos fundamentos teóricos se aprovechan para el presente prototipo.

1.1 Características y comportamiento mecánico del bambú

Las características mecánicas de la guadua son afectadas por el clima, suelo, ubicación, edad, tiempo de cosecha, humedad, etc. También se presentan diferencias que se distribuyen sobre la longitud principal (cepa, basa y sobrebasa) y la sección transversal. La densidad de las fibras es muy variable en el espesor de la guadua. También depende de la forma de aplicación de las cargas, en forma paralela o perpendicular a la fibra.

Cada tallo de guadua es diferente, razón por la cual no se puede estandarizar su geometría (diámetro, espesor, longitud) y su comportamiento. Teniendo en cuenta que las características mecánicas de la guadua dependen de las especies botánicas, su localización, la edad del tallo, cosecha, su contenido de agua y naturalmente del diámetro y grueso de pared, la clasificación se recomienda con esos parámetros. Pues aún especímenes de la misma familia, pero crecidos en zonas geográficas distintas, dan variantes en los resultados sobre sus propiedades.

La guadua tiene un valor alto de resistencia a la tensión paralela a la fibra, menor resistencia a la compresión paralela a la fibra y a la flexión. Su módulo de elasticidad es relativamente bajo si se compara con el del acero, lo cual obliga en el diseño a controlar las deformaciones especialmente cuando se diseñan elementos largos a flexión.

En general, la resistencia a la compresión paralela a la fibra es tres veces menor que su resistencia a la tensión paralela (Ghavami; Marinho, 2001). Los protocolos de ensayo para las pruebas de compresión también están incluidos en las normas ISO n314 22157, con la intención de estandarizar los ensayos, pues si bien, se han realizado infinidad de pruebas, no es posible categorizarlas, debido a la falta de un protocolo, pues en algunos caso se han probado culmos con edades que van desde los tres hasta los siete años, o bien, el número de ensayos ha sido muy reducido, lo cual no permite tener datos representativos en las mediciones (Takeuchi et al, 2007).

1.2 Bambucreto

En México la investigación relativa a las propiedades del bambú y del bambucreto (concreto reforzado con bambú) es escasa, la investigación que apoya este proyecto ha realizado una recopilación del estado del arte que abunda en este tema (Sánchez, 2011).

Es preciso señalar las limitaciones de este material, que deben ser atendidas. Investigadores como Hidalgo (1978), Lima et al, (2005) y otros coinciden en que el uso del bambucreto debiera darse para claros y cargas pequeñas, sugiriendo su uso incluso solo

para vivienda rural, sin embargo, otros como Ghavami (1995) y González (2005) continúan investigando al respecto, señalando que dentro de los mayores problemas está la adherencia y que los problemas se presentan por la necesidad de utilizar cierto tipo de pegamentos que resultan costosos en el global de la construcción.

El bajo módulo de elasticidad del bambú provoca grandes deflexiones por lo que se requiere utilizar una mayor cuantía, pues debe garantizarse que las deflexiones no sobrepasen a las permisibles.

Hidalgo (1978) comenta que si no se tiene especial cuidado en el tratamiento para preservar el bambú del ataque de insectos y pudrición, las estructuras con este material tendrán una vida útil muy corta, aproximadamente de dos a tres años.

2. UBICACIÓN Y MARCO DE REFERENCIA

Dicho prototipo estará ubicado en los terrenos de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, en la ciudad y puerto de Tampico, Tamaulipas, México.



Figura 1: Ubicación del lugar del prototipo.

La zona conurbada de Tampico, Madero y Altamira, limitada al este con el Golfo de México y al sur con el caudal del río Pánuco. La ubicación geográfica de Tampico es: Coordenadas: 22° 15' 19" latitud norte 97° 52' 07" longitud oeste. El clima predominante es de tipo subtropical, húmedo. La temperatura promedio es de 24° C con máxima de 37° C y mínima de 9° C. Tampico se encuentra localizado sobre la Costa del Golfo de México, en la parte sureste del estado de Tamaulipas, colindado con el estado de Veracruz a través del Río Pánuco.

Se caracteriza por una topografía perceptiblemente llana, y zonas ribereñas de valores en cotas más altas que las del sistema lagunario existente lo cual genera inundaciones en tiempos de lluvia.

Los vientos predominantes en otoño e invierno son los denominados "nortes", mientras que en las otras estaciones varían de sur a norte. Por estar la región expuesta a los fenómenos de tipo hidrometeorológico son comunes los ciclones y vientos huracanados, que en más de una ocasión han afectado seriamente a los habitantes del municipio.

La precipitación anual varía de 788,6 a 1.044,10 milímetros cúbicos y el mes más lluvioso es julio, arriba de los 1.000 milímetros cúbicos.

3. MEMORIA DESCRIPTIVA

3.1 Anteproyecto

Se realizan 2 propuestas de casa habitación, donde los parámetros para seleccionar el proyecto idóneo fueron: Adaptación y modulación al sistema constructivo, funcionalidad para el usuario de una vivienda de interés social y la optimización de la ventilación natural.

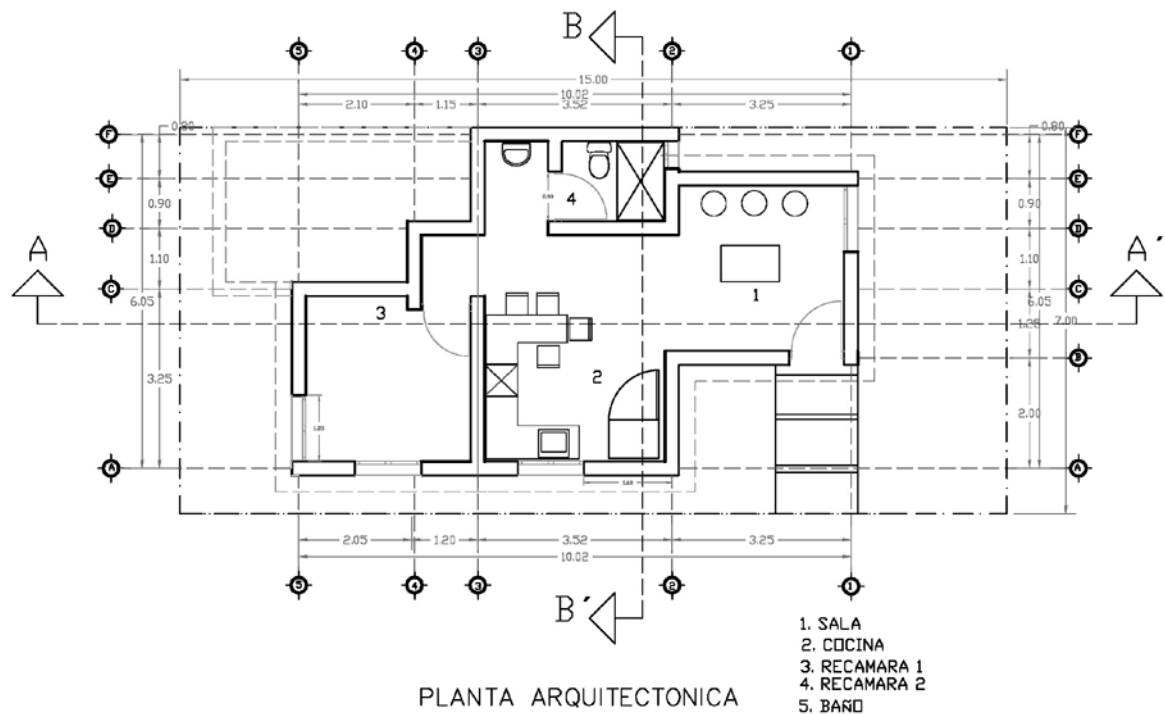


Figura 2: Plano de planta arquitectónica de vivienda experimental sustentable

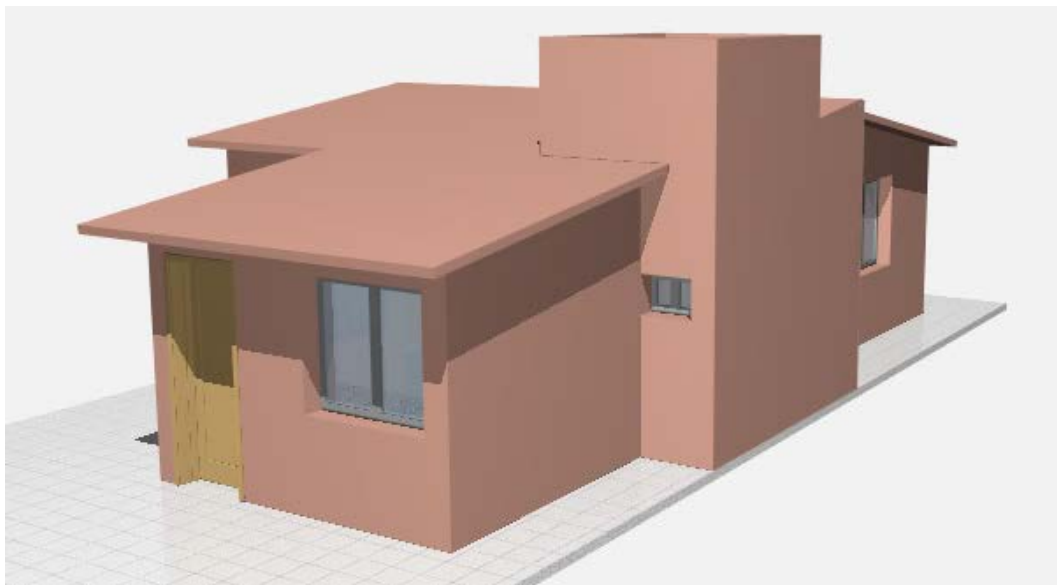


Figura 3: Perspectiva de vivienda experimental sustentable

3.2 Selección del material

Se selecciona la guadua angustifolia por ser un material con resistencia comprobada para su uso en construcción y por poseer uniformidad en su longitud, característica requerida en el sistema de cubierta del prototipo. Esta especie aunque no es endémica, ha sido introducida y crece en abundancia en el sureste de México.

Para los muros se trabajó con 2 tipos de suelo:

Mezcla 1: Basada en las proporciones de la investigación antecedente con 1 lata de arcilla, 4 de arena limosa y 5,5 latas de agregado grueso por 2 de cemento. Esta mezcla ya estaba probada su resistencia y en pruebas de laboratorio el $f'c$ dio hasta 15 MPa (150 kgf/cm²).

Suelo 2: Suelo de la región denominado champayan que, según análisis composicional de suelo, está formado por 2,5% arcilla, 18% limo, 79,5% arena y agregados gruesos (rocas) de buena calidad compuestas por sulfatos cálcicos. Proporción usada: 90% de suelo y 10% de cemento (1:5), y se logró reducir a 1:6, estabilizando con 6% de cemento.

3.3 Localización del prototipo con respecto al sitio

Fue localizada en la zona de investigación de vivienda dentro de los terrenos de la Facultad de Arquitectura Diseño y Urbanismo (FADU).

3.4 Terreno

Se sacaron las curvas de nivel del terreno y dado que la diferencia entre la cota del terreno natural con respecto a la cota de desplante era significativa se procedió a rellenar con material el cual se compactó con rodillo vibratorio, para dar el nivel requerido. Se realizaron pruebas de compactación. Las pruebas dieron 90% y 92% en la prueba Proctor.

3.5 Trazo

Se obtiene el nivel 0.00 de la banqueta de la casa experimental ubicada al norte de este prototipo, el trazo se realiza de forma manual, marcando los ejes de la vivienda.

3.6 Cimentación

Se propuso losa de cimentación con un peralte de 12 cm, dadas las características de capacidad de carga del suelo, con contratraveses de 25 cm x 30 cm armadas con varilla de $\frac{1}{2}$ ". El concreto utilizado fue premezclado con $f'c=19,61$ MPa (200 kgf/cm²).

3.7 Preparaciones para instalaciones hidro-sanitarias

Se utilizó tubería de CPVC (policloruro de vinilo clorado) para las instalaciones hidráulicas y sanitarias, dejando las preparaciones de alimentación y descarga indicadas en los planos.

3.8 Estructura

Todos los elementos de bambú fueron limpiados con cepillo de alambre, teniendo cuidado de no lastimar las reglillas por el lado cóncavo, retirando las impurezas y polvo, posteriormente fueron impermeabilizados aplicando una capa con brocha de producto para impermeabilizar concreto, base agua, que en estudio antecedente registró resultados aceptables, dando una absorción apenas del 3,18%.

3.8.1 Refuerzos horizontales

Se colocaron a cada 60 cm, para evitar el agrietamiento en los antepechos de las ventanas y cerramientos, reglillas de bambú de 3 cm de ancho y 5 cm de espesor, unidas con grapas de alambro de $\frac{1}{4}$ ".

3.8.2 Castillos de reglillas de bambú

Se armaron de dimensiones de 25 cm x 25 cm con 8 reglillas de $\frac{3}{4}$ " de ancho x 0,005 m de espesor superponiendo 2 en cada vértice con estribos alambro # $\frac{1}{4}$ " @ 20 cm y se colaron con tierra vertida al tiempo de colado con los muros.

3.8.3 Cimbra

Tableros de triplay de $\frac{5}{8}$ " de espesor de madera de pino dimensiones: 1,22 m x 2,44 m reforzados con marcos de madera de 5 cm x 10 cm para evitar que el triplay tienda a deformarse, posterior a esto se realizó un recubrimiento de aceite quemado como antiadherente. Apuntalada con madera de 5 cm x 10 cm. Las hojas de triplay se nivelan y se troquelan, con torones de alambre de amarre de $\frac{1}{8}$ ".

3.8.4 Muros de tierra vertida

El colado o vertido de los muros se dividió en 3 partes, en sentido horizontal por la modulación de la cimbra propuesta y se repitió el proceso para alcanzar la altura del proyecto.

La mezcla 1 se utilizó en la primera parte del colado. Se estabilizó la tierra vertida al 10% con cemento, para obtener la resistencia adecuada para utilizarlo como muro de carga, según los resultados obtenidos de la investigación antecedente, así mismo el cálculo arrojó un espesor de 25 cm para un $f'c= 3,52$ MPa y da una capacidad de carga del muro de

177,87 kN (17.787 kgf). Después de los resultados obtenidos de las pruebas de compresión se reduce el cemento al 6%.

Para la segunda parte del vertido de los muros se utilizó el suelo de la región denominado Champayan, estabilizado al 10%. Las pruebas de resistencia a la compresión a los 4 días dieron un $f'c=5,49$ MPa. Lográndose reducir la estabilización del cemento hasta el 6%.

3.13 Losa de bambucreto

Al cierre del presente trabajo, se prepara la primera parte de la losa para colarse. Será a base de una losa compuesta formada por medias cañas de bambú de la especie *Guadua angustifolia* de 3,5 pulgadas de diámetro, apoyadas directamente sobre un culmo completo y éste, a su vez, sobre el muro de tierra vertida, unidas por conectores de $\frac{1}{4}$ pulgada; posteriormente se colará sobre éstas una mezcla de concreto aligerado con piedra volcánica con $f'c$ de 17,65 MPa con un espesor de capa de compresión de 5 cm.

Las medias cañas se prepararon cepillándolas y aplicándoles impermeabilizante. 3" $\frac{1}{2}$

4. ANÁLISIS CRÍTICO

Se analizan las cantidades de cemento.

Cantidades de cemento para 1 m² de muro convencional:

Block concreto= 13,75 kg

Mortero = 8,05 kg

Aplanado= 13,78 kg

Castillo= 10,35 kg

Total= 45,93 kg

Cantidades de cemento para 1 m² de muro de tierra vertida con mezcla 1:

- Cantidades de cemento por m² de muro de tierra vertida estabilizado al 10% = 39 kg
- Cantidades de cemento por m² de muro de tierra vertida, estabilizado al 6% = 23 kg.

Cantidades de cemento para 1 m² de muro de tierra vertida con suelo de la región:

- Cantidades de cemento por m² de muro de tierra vertida, estabilizado al 10% = 31 kg.

La tierra vertida es una técnica poco estudiada, pero factible, donde la selección del material de la región es fundamental para el desarrollo de la técnica.

No requiere de una capacitación especializada, pero sí de asistencia técnica por lo que se recomienda ésta para la autoconstrucción.

Como equipo se requiere solamente de una revolvedora o trompo para obtener una mezcla homogénea.

Monitoreo estructural del prototipo

Durante el vertido o colado de los muros se fueron realizando pruebas de compresión, así mismo se realizaron pruebas de absorción al bambú.

Al término del prototipo se monitoreará en cuanto a la transmitancia térmica de los muros.

5. REFLEXIONES FINALES

1. Dado que no existe normativa mexicana para la construcción con tierra y normativa para muros de tierra vertida, se partió como base de la norma técnica mexicana² para muros monolíticos. Tanto la mezcla de tierra vertida como el suelo de la región superan los valores mínimos permisibles para muros monolíticos.

2. Como prototipo experimental se opta por usar 2 tipos de suelo: la mezcla 1 para comprobar los resultados de la investigación antecedente y el suelo de la región para probar que es factible esta técnica.
3. Con respecto a la construcción tradicional de la zona de muros de block de concreto se logró reducir el cemento en más de un 50%.
4. Se elimina el acero en losa y castillos, sustituyéndolo por bambú.
5. El empleo de esta tecnología ofrece ventajas al utilizar materiales de la región, disminuyendo el impacto ambiental, al contrastarse con los materiales convencionales empleados en la construcción de vivienda en Tamaulipas, México.



Figura 4: Fachada principal y sur del prototipo, aparece en primer plano el suelo de la región.
Foto: Aranda, Marzo 2013



Figura 5: Fachada principal, proceso de cimbrado. En primer plano los castillos de reglillas de bambú.
Foto: Aranda, Marzo 2013.



Figura 6: Armado de la losa de bambu-creto. Foto: Aranda, Marzo 2013.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aranda-Jiménez, Y.G.; González-Defelice, A.A. (2012). *Tierra vertida. Hormigón verde. Estudio de los materiales componentes, su dosificación, interacción y puesta en obra de dos contextos. Informe Técnico*. Programa de cooperación bilateral México- Argentina. CONACYT-MINCYT

Doat, P. et al (1990). *Construir con tierra*. Tomo I. Fondo Rotario Editorial. Bogotá, Colombia.

Ghavami, K.; Marinho, A. B., (2001). *Determinação das propriedades dos bambus das espécies: Mosó, Matake, Guadua angustifolia, Guadua tagoara e Dendrocalamus giganteus para utilização na engenharia*. 1. ed. RMNC do Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio., Rio de Janeiro, Brasil.

Ghavami, K. (1995). *Ultimate Load Behaviour of Bamboo-Reinforced Lightweight Concrete Beams*. Departamento de Ingenieria civil de la Universidad Pontificia Católica, PUC-Rio. Rio de Janeiro Brasil. Cement and concrete composites. Elsevier Science Limited.

Gonzalez, S. (2005). *Diseño modelo de vigas de concreto reforzado con tallos de guadua (bambuceto), Guadua angustifolia Kunth*. Tesis (MSS in Engineering: Civil Engineering), Newport Univesity, School of Engineering. Newport Beach.

Houben, H.; Guillard H. (1994). *Earth construction. A comprehensive guide*. Great Britain: ITDG publishing.

Hidalgo, L. (1978). *Nuevas tecnologías de construcción con bambú*. Estudios Técnicos Colombianos Ltda. Editores. Universidad Nacional de Colombia.

IMCYC. (2004). *Conceptos básicos del concreto*. Instituto Mexicano del Cemento y Concreto, A.C. D.F. México.

Lima, J. et al, (2005). *Concrete Beams reinforced with dendrocalamus giganteus bamboo. II : modeling and design criterions*. Revista Brasileira de ingenieria agricola y ambiental. Disponible en http://www.scielo.br/scielo.php ?=S1415-436620050040031&script=sci_abstract

Sánchez, M (2011). *Estudio del comportamiento a flexión del bambú utilizándolo como refuerzo del concreto en sistemas de piso y cubiertas*. Tesis para obtener el grado de doctor. Universidad Autónoma de Tlaxcala.

Takeuchi, T et al (2007). *Resistencia a la compresión de la Guadua angustifolia y Determinación del módulo de elasticidad*. Ingeniería y Universidad ene-jun, año/vol. 11 núm. 001. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia. pp 89-103 Redalyc.

Notas

¹ Trabajabilidad: Una de las cuatro propiedades del concreto. Es la facilidad con la cual pueden mezclarse los componentes, y la mezcla resultante puede manejarse, transportarse y colocarse con poca pérdida de homogeneidad (IMCYC, 2004).

² Normas técnicas complementarias del reglamento de construcciones para el Distrito Federal. (1.5.1.2) resistencia a la compresión para muros monolíticos

Currículos

Yolanda Gpe. Aranda Jiménez, Arquitecta, Doctorado en Arquitectura con énfasis en vivienda. Mención Honorífica. Premio Universitario a la Investigación de Excelencia 2010

Teresa Sánchez Medrano, Ingeniera Civil, Doctorante del Doctorado en Arquitectura con énfasis en vivienda de la FADU.

Rubén Roux Gutiérrez, Doctor por la Universidad de Sevilla, España. Jefe de Investigación FADU.

Arq. Jorge Rivera B. y Arq. Fabiola SanPedro, Masters en Diseño con énfasis en Diseño arquitectónico.