

LA CONSTRUCCION CON TIERRA EN EL ECUADOR Y LA NECESIDAD DE LA NORMA

Patricio Cevallos Salas

Ingeniería Alternativa. Red Iberoamericana PROTERRA. cevallos.patricio@gmail.com

Palabras claves: normativa; construcciones con tierra; sismo; adobe

Resumen

A partir del sismo de 1987 se retoma la construcción con tierra y se reconstruyen los sectores afectados. En el sector urbano se construye para sectores de clase media y, en el rural, se mantiene la tradición de la minga. Actualmente el Ecuador ha publicado la norma ecuatoriana de la construcción (NEC) y en lo que ha tierra se refiere menciona que se debe aplicar la norma peruana E.80. Es importante marcar la necesidad de una norma propia que se ajuste a nuestra sismicidad, por ello se insiste en mostrar las patologías constructivas, contrastando con las recomendaciones de la norma peruana, de manera que el usuario de tecnología en tierra haga conciencia de la necesidad de capacitarse.

1. INTRODUCCIÓN

El Ecuador ha sido víctima de varios eventos sísmicos de mediana y baja intensidad; los sectores más afectados han sido los rurales, consecuentemente los más pobres del país. En el balance de los daños ocasionados a las viviendas, se puede apreciar que aquellas construidas con tierra son las que mayores daños han sufrido y esto deja entrever la fragilidad del material si su construcción no se la realiza dentro de una normativa adecuada a la realidad sísmica del país.

Los países andinos limítrofes con el Ecuador -Colombia y Perú- han elaborado sus normas y con ello tratan de mitigar los efectos del sismo en las viviendas de tierra. Perú ha sido pionero en la aplicación de una norma con carácter de obligatoria.

En el Ecuador y a principios del presente año se publicaron las normas ecuatorianas de la construcción (NEC) y, dentro de lo que interesa, la norma para “viviendas de hasta dos pisos con luces de hasta 5 metros”. Al revisar esta norma y en lo que tiene que ver con el tema de la construcción con tierra, se refiere de la siguiente manera (NEC-SE-VIVIENDA, 2014):

6.7.1. Muro portante de adobe

La construcción de paredes consiste en la colocación de las unidades de adobe trabado, las cuales deben cumplir con características de granulometría apropiadas.

Las paredes deberán tener en su interior refuerzos de carrizo, caña o madera, de manera que sean capaces de resistir esfuerzos de compresión, de corte y de tensiones para evitar la separación de las paredes, consiguiendo así el sistema encajonado deseable para conseguir un sistema idóneo.

Para el diseño de muros portantes de adobe regirse al Código de Construcción con Adobe del Perú, norma E.080 para construcción con adobe.

6.7.2. Muro portante de tapial

Se denomina tapia o tapial a una antigua técnica consistente en construir muros con tierra arcillosa, compactada a golpes mediante un pisón, empleando un encofrado para formarla, denominado tapialera. La tapialera va cambiando de posición logrando el sistema continuo (véase la Figura 24).

Es importante que el movimiento de la tapialera permita conformar un sistema trabado para evitar planos verticales de falla.

Los muros de tapial deben contar con refuerzos verticales de madera, carrizo ó caña y refuerzos horizontales flexibles como alambres, mallas, etc. Estos

refuerzos permiten que el tapial pueda resistir esfuerzos de compresión, corte y tracciones, a fin de evitar que fallen por corte y que las paredes se separen.

Para el diseño de muros portantes de tapial regirse al Código de Construcción con Tapial del Perú, norma E.080 para construcción con tapial.

6.7.3. Muro portante de bahareque o quinchá

Sistema estructural conformado por un sistema de paredes portantes constituidas por madera o cañas entretejidas y barro, que forman un sistema encajonado, de modo que su forma garantice estabilidad espacial para obtener capacidad portante tanto vertical como horizontal (véase la Figura 25).

Es importante conseguir en el diseño que existan suficientes paredes en planta tratando de conseguir un sistema continuo, sin que existan paredes sueltas y contar con un sistema de entrepiso o cubierta que ejerza la capacidad de integrar las paredes, este diafragma puede ser de madera o similar.

Se debe lograr continuidad vertical para garantizar que no se acumulen esfuerzos sísmicos en la planta baja y evitar así pisos blandos.

Preferentemente estas edificaciones deben tener máximo dos pisos.

Para el diseño de muros portantes de tapial tomar como referencia la norma peruana de construcción con quinchá.

Como se puede apreciar, la NEC–SE-VIVIENDA, cuando de construcción con tierra se trata, se refiere a la norma peruana NTE E.080 (figura 1).

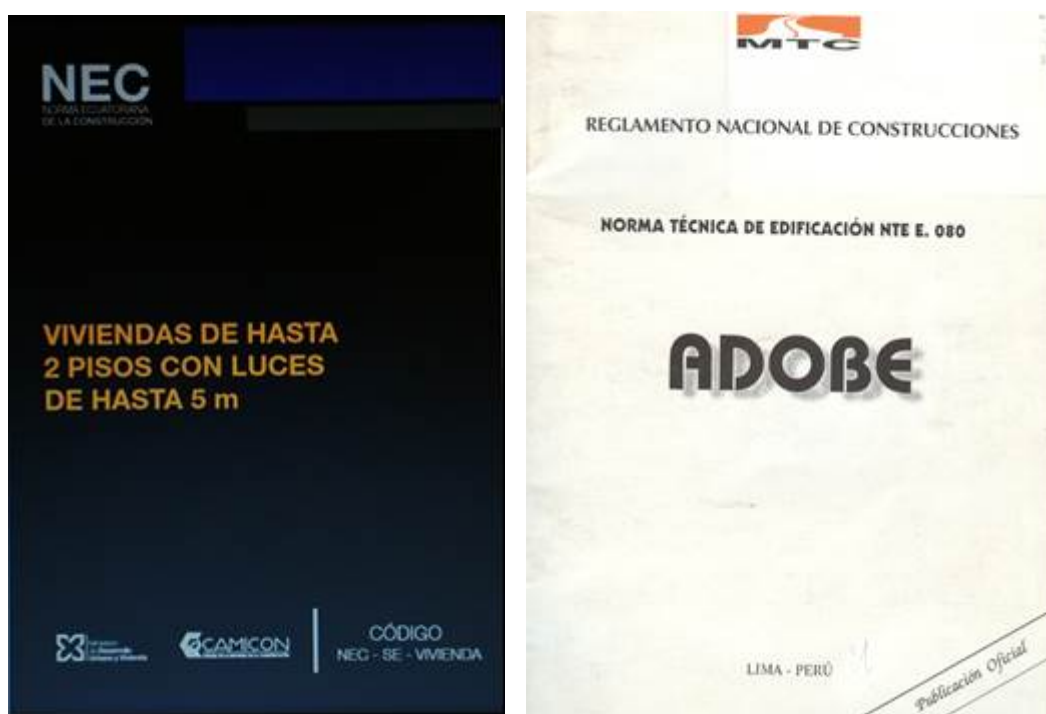


Figura 1 – Normas técnicas ecuatoriana y peruana

2. LAS CONSTRUCCIONES EN EL ECUADOR

Aunque es importante distinguir la tecnología de construcción entre el sector rural y el urbano, no es menos cierto que en los dos sectores se comenten serios errores de concepto y de aplicación de los buenos y adecuados criterios técnicos para el uso de la tierra como material de construcción. Uno de los primeros factores que determinan la calidad de la construcción será la granulometría del suelo, en esto la NTE E.080 recomienda:

La gradación del suelo debe aproximarse a los siguientes porcentajes: arcilla 10-20%, limo 15-25% y arena 55-70%, no debiéndose utilizar suelos orgánicos. Estos rangos pueden variar cuando se fabriquen adobes estabilizados. El adobe debe ser macizo y sólo se permite que tenga perforaciones perpendiculares a su cara

de asiento, cara mayor, que no representen más de 12% del área bruta de esta cara.

2.1 El sector rural

Las experiencias vividas a raíz de los sismos de 1987 y de 1996, durante los cuales vastas áreas rurales fueron fuertemente afectadas, han propiciado la conciencia de revisar errores y la necesidad de reforzar muros y demás elementos, lográndose un uso más adecuado de la tierra especialmente dentro del sistema de autoconstrucción.

La presencia de técnicos no siempre ha sido provechosa, la falta de conocimientos y de rigurosidad constructiva en los proyectos por ellos asistidos, ha dado lugar a mantener errores que venían arrastrándose reiterativamente, Esto se evidencia con los daños ocasionados por los sismos.

2.2 El sector urbano

En el sector urbano, la construcción con tierra está siendo aceptada por los técnicos. Debido a la presión existente en el mercado, los profesionales que aceptan estos proyectos no siempre están capacitados para enfrentarlos y se han aventurado a “copiar” elementos constructivos en tierra sin considerar el planteamiento general de una estructuración sismo resistente de muros portantes.

Existen ejemplos de un buen manejo de tecnologías con tierra, sin embargo, la realidad permite constatar que se cometen errores de concepto, pues prima la formación académica en hormigón y acero. Por ello es importante propiciar la capacitación a nivel de universidades y colegios profesionales. La poca capacitación iniciada en algunas ciudades se caracteriza por ser parcial, temporal y dispersa y por tanto no se puede lograr un verdadero y sistemático interés por esta temática.

En todo caso el tema de la formación y capacitación será siempre importante a todo nivel, esto es: a profesionales, mano de obra y usuarios y procurar apoyar a la formulación de la norma ecuatoriana de construcciones con tierra

3. LAS PATOLOGIAS

Es evidente que si una estructura del material que sea no está debidamente diseñada y construida para soportar un sismo, ésta se daña severamente y puede colapsar. El material utilizado en la construcción no es sinónimo de seguridad.

Las patologías de las construcciones con tierra se las encuentra en todos los procesos de elaboración de la vivienda, que se los puede enlistar como: la implantación, la cimentación, la elaboración de adobes, muros, esquinas, encuentros de paredes, vanos, diseño y construcción de la cubierta y, evidentemente, las características de la mano de obra. La norma NTE E.080 pone énfasis en estos elementos y hace recomendaciones al respecto.

3.1- Implantación

La ubicación o implantación de la vivienda es de vital importancia. La vivienda debe estar retirada de taludes, ríos y cualquier accidente geográfico que pudiere, en algún momento, afectar su estabilidad. En el acápite 2.4 de la NTE E. 080 recomienda:

No se harán construcciones de adobe en suelos granulares sueltos, en suelos cohesivos blandos, ni arcillas expansivas. Tampoco en zonas propensas a inundaciones cauces de avalanchas, aluviones o huaycos o suelos con inestabilidad geológica.

Las viviendas que se adosan a otra deben tener una junta mínima de 10 centímetros, de manera que, en la presencia de un sismo, los muros de adosamiento no se golpeen entre sí, pues los muros tienen o pueden tener diferentes períodos de vibración y diferentes tipos de rigidez, lo que provoca que uno de ellos martille al vecino.

Las figuras 2 y 3 son ejemplos de viviendas dañadas debido a su localización.



Figura 2 – Vivienda implantada muy cerca del talud. El deterioro del muro correspondiente al talud ocurrió debido al deslizamiento del suelo



Figura 3 – Vivienda de hormigón construida junto a la de tierra golpeó y fracturó el muro de adobe

3.2- La cimentación

Como se conoce la cimentación es el elemento que permite que la vivienda se sujete contra el suelo y que las cargas sean transferidas de manera eficiente. El cimiento, en consecuencia, tiene especial importancia para evitar que las viviendas “caminen” o se deslicen (figura 4).



Figura 4 – Construcción literalmente “barrida”, se aprecia que no existen huellas de una posible cimentación

Esto ocurrió -por ejemplo- en la comunidad de La Gloria en Pujilí – Ecuador, donde las viviendas implantadas en la ladera de una colina, permanentemente “camaban” y, al momento del sismo, no resistieron el deslizamiento y se destruyeron todas las existentes en el área.

En toda vivienda es necesaria y debe existir una cimentación implantada sobre un suelo duro o medianamente duro y estable. Recomendaciones de la NTE E: 080 son:

6.1.2 La cimentación deberá transmitir la carga de los muros al terreno de acuerdo a su esfuerzo permisible y tendrá una profundidad mínima de 60 cm medida a partir del terreno natural y un ancho mínimo de 40 cm.

6.1.3 Los cimientos para los muros deberán ser de concreto ciclópeo o albañilería de piedra. En zonas no lluviosas de comprobada regularidad e imposibilidad de inundación, se permitirá el uso de mortero Tipo II para unir la mampostería de piedra.”

6.1.4 El sobrecimiento deberá ser de concreto ciclópeo o albañilería de piedra asentada con mortero tipo y tendrá una altura tal que sobresalga como mínimo 20 cm sobre el nivel del suelo

Es conveniente el sobrecimiento mínimo de 20 centímetros sobre el nivel natural del terreno, para evitar el ascenso de agua por capilaridad y el respectivo deterioro de la base del muro de tierra.

3.3- Los adobes

Los muros deben estar contruidos con adobes o con BTC, pero necesariamente deben cumplir los requisitos de una elaboración adecuada. La NTE E.080 dice:

4.1 Requisitos Generales

La gradación del suelo debe aproximarse a los siguientes porcentajes: arcilla 10-20 %, limo 15-25% y arena 55-70%, no debiéndose utilizar suelos orgánicos. Estos rangos pueden variar cuando se fabriquen adobes estabilizados. El adobe debe ser macizo y sólo se permite que tenga perforaciones perpendiculares a su cara de asiento, cara mayor, que no representen más de 12% del área bruta de esta cara.

El adobe deberá estar libre de materias extrañas, grietas, rajaduras u otros defectos que puedan degradar su resistencia o durabilidad.

4.2 Formas y Dimensiones

Los adobes podrán ser de planta cuadrada o rectangular y en el caso de encuentros con ángulos diferentes de 90°, de formas especiales.

Sus dimensiones deberán ajustarse a las siguientes proporciones:

4.2.1 Para adobes rectangulares el largo será aproximadamente el doble del ancho.

4.2.2 La relación entre el largo y la altura debe ser del orden de 4 a 1.

4.2.3 En lo posible la altura debe ser mayor a 8 cm.

4.3 Recomendaciones para su elaboración

Remojar el suelo y retirar las piedras mayores de 5 mm y otros elementos extraños.

Mantener el suelo en reposo húmedo durante 24 horas.

Secar los adobes bajo sombra.

3.4 Los refuerzos

Para que el muro tenga la capacidad para soportar los esfuerzos de tracción que se producen en un sismo, deben tener algún tipo de refuerzos, sean de caña, madera, acero, malla exterior, etc. Las figuras 5 y 6 presentan lo que puede ocurrir con una vivienda sin refuerzos.



Figura 5 – Ausencia de refuerzo en los muros



Figura 6 – Esquinas mal trabadas y sin refuerzo alguno, el contrafuerte falla por aplastamiento

Los refuerzos verticales deben anclarse en el cimiento y llegar hasta la viga solera y los horizontales se colocarán cada 3 o 4 hiladas, de manera que el muro tenga la capacidad requerida para disipar los esfuerzos de tracción y su comportamiento sísmico resistente mejore de manera sustancial, evitando la disgregación de los elementos constitutivos del muro y el colapso total de la vivienda.

Las esquinas y encuentros de paredes son los sitios donde se concentran los esfuerzos y por lo tanto deben tener suficientes refuerzos, de manera que éstos funcionen como “costura” de las paredes.

Los refuerzos deben ser diseñados de acuerdo con la esbeltez de los muros, para ello la norma peruana propone lo indicado en la tabla 1.

Tabla 1 – Recomendaciones de la norma peruana para diseño de refuerzos

Esbeltez ¹	Arriostres y refuerzos obligatorios	Dimensiones mínimas del muro	
		Espesor (m)	Altura (m)
$\lambda \leq 6$	Solera	0,40 - 0,50	2,40 - 3,00
$6 \leq \lambda \leq 8$	Solera + elementos de refuerzo horizontal y vertical en los encuentros de muros	0,30 - 0,50	2,40 - 4,00
$8 \leq \lambda \leq 9$	Solera + elementos de refuerzo horizontal y vertical en toda la longitud de los muros	0,30 - 0,50	2,70 - 4,50

¹En casos especiales, la esbeltez podrá ser mayor de 9, pero menor de 12, siempre y cuando se respalde con un estudio técnico que considere refuerzos que garanticen la estabilidad de la estructura

Los contrafuertes deben ser lo suficientemente resistentes para evitar el desplazamiento lateral del muro, deben convertirse en un verdadero apoyo con la debida resistencia. De no ser así, los contrafuertes son despedidos o se fisuran con mucha facilidad, quedando el muro expuesto a mayores esfuerzos de flexión.

3.5- La mano de obra

En la construcción de los muros, la mano de obra debe ser debidamente calificada. Los errores en la elaboración del mortero y de la colocación de los adobes, son causas muy comunes para la fisuración y colapso de estas paredes. En la figura 7 se observa como la falla es potenciada debido a errores constructivos.



Figura 7 – Esquinas con defectos por trabajos de albañilería

Las puertas y ventanas deben llegar, de preferencia, hasta la solera y, si se requieren dinteles, éstos deben rebasar a cada lado del vano mínimo 40 centímetros, de lo contrario los dinteles romperán las esquinas de los vanos. Esta fisura es a 45°.

3.6- Los vanos

Cuando los vanos son mayores que la tercera parte de la longitud del muro, se concentran muchos esfuerzos y la rotura es casi inevitable, transformándose este vano en un posible plano de falla (figura 8). La NTE E.080 recomienda:

6.2.3 El espesor de los muros se determinará en función de la altura libre de los mismos y la longitud máxima del muro entre arriostres verticales será de 12 veces el espesor del muro (ver Tabla 4).

6.2.4 En general los vanos deberán estar perfectamente centrados. El borde vertical no arriostrado de puertas y ventanas deberá ser considerado como borde libre.

El ancho máximo de puertas y ventanas (vanos) será de 1/3 de la longitud del muro y la distancia entre el borde libre al arriostre vertical más próximo no será menor de 3 ni mayor de 5 veces el espesor del muro. Se exceptúa la condición de 3 veces el espesor del muro en el caso que el muro esté arriostrado al extremo.



Figura 8 – El tamaño del vano se transforma en un plano de falla

Es recomendable que se coloque algún tipo de refuerzo en los antepechos

3.7- Las soleras

Las soleras o cadenas de cubierta, que pueden ser de madera o de hormigón armado, deben estar debidamente ancladas a las paredes, así se logra que se consolide y sujete la cubierta contra el muro y que la transmisión de los esfuerzos sea más uniforme, logrando que la solera actúe como un collar superior que evite la fisuración de las esquinas y encuentros de muros (figura 9). La norma peruana recomienda:

6.4.3 Columnas y vigas de concreto armado

La utilización de columnas de concreto armado como confinamiento de muros de adobe debe utilizarse en casos en que el espesor del muro no exceda los 25 cm y se utilice para unir los adobes un mortero que contenga cemento para poder anclar alambre de ¼" cada tres hiladas con la finalidad de conseguir una adecuada transmisión de esfuerzos entre el muro y la columna.

La utilización de vigas soleras de concreto armado tiene como objetivo contribuir a formar un diafragma rígido en el nivel en que se construya, puede ser colocado en varios niveles formando anillos cerrados, pero principalmente debe colocarse en la parte superior. Se puede combinar con elementos de refuerzos verticales como cañas o columnas de concreto armado.

De acuerdo al espesor de los muros, se deberá colocar el refuerzo que se indica en la Tabla 4.

En casos especiales se podrá considerar espesores de muro de 20-25 cm, siempre que se respalde por un estudio técnico que considere refuerzos verticales y horizontales.



Figura 9 – La falta de vinculación de la solera con el muro libre de adobe, permitió que este se “desprendiera” de la cubierta y colapsara

En el caso de los muros con un extremo libre, la solera tiene una vital importancia. Si el anclaje no es adecuado el muro flamea y colapsa.

3.8- La cubierta

La cubierta debe ser diseñada de manera que no produzca empujes laterales en los muros que pueden desestabilizarlos. Este elemento, tradicionalmente pesado ya sea porque se lo construye con madera y teja de barro y, en muchos casos, se lo usa en la cumbre como bodega de granos, produce importantes fuerzas de tracción que, en ausencia de un elemento que las equilibre, expulsa al muro y colabora con la fisuración de las esquinas, provocando en muchos casos que la cubierta se precipite al interior de la vivienda. La imagen de la figura 10 es elocuente, en especial, respecto de cómo la cubierta puede provocar la expulsión de los muros y como éstos se desplazan fuera de su plano y colapsan.



Figura 10 – La cubierta desplaza a los muros provocando su colapso

Cabe, en especial, señalar que los muros colapsados corresponden a los que soportan la estructura de la cubierta y por su diseño no permiten absorber los esfuerzos de tracción que desplazan finalmente a los muros. Por lo tanto, en las cubiertas que usan el sistema de tijerales, es conveniente y necesario que el sistema estructural del techado garantice la estabilidad lateral de los tijerales.

3.9- Los morteros

Los muros de adobe o de bloques de tierra comprimida (BTC) tienen la particularidad de fisurarse por las juntas de albañilería, por lo que es importante que los morteros tengan mínimo la misma calidad que la de los adobes o BTC. En la figura 11, nótese como varios adobes tienen las caras limpias, eso indica que no existía ninguna vinculación entre hiladas.



Figura 11 – El mortero debe garantizar la unión de las hiladas

Actualmente y pese a las dolorosas experiencias en los sismos pasados, la calidad de construcción, no en todos los casos, se mantiene con errores que antes se han señalado, como se puede observar en las imágenes de la figura 12.



Figura 12 – Construcción con poca mampostería; esquinas poco estables; se puede intuir que tiene poca área de muros

Como criterio general debe considerarse el uso de refuerzos sea al interior de los muros o en el exterior (mallas como lo ha ensayado el equipo de la PUCP), en el caso personal suelo utilizar el adobe amasado a mano en moldes fáciles de armar y desarmar como se muestra en la figura 13, en que moldes permiten que participe la comunidad y que pueda ser replicada la experiencia, de esta manera la transferencia tecnológica y las innovaciones a la tecnología que ellos utilizan se queda en y con la comunidad.

El adobe se elabora con suelos arcillo-arenosos donde el contenido de granos finos es de aproximadamente el 50%. Es importante señalar que no necesariamente se usa cemento. La estabilización es en función de la granulometría o con fibra natural. Los refuerzos son varillas de acero que se colocan en los alvéolos y son debidamente trabados en la cimentación y se anclan con la solera y cada tres o cuatro hiladas una malla electro soldada de 4,00 mm cada 10,00 cm y que tenga al menos tres hilos longitudinales. De manera que se conforma un elemento que puede soportar esfuerzos de tracción y compresión y por lo tanto su comportamiento ante un sismo es más eficiente ya que el adobe soporta esfuerzos de compresión y los refuerzos a los esfuerzos de tracción



Figura 13 – Elaboración de adobes en una escuela rural

La cubierta se convierte en un diafragma superior que le permite “amarrar” la cabeza de los muros y evitar su desplazamiento fuera de su plano, por esta razón la cubierta no puede generar empujes laterales que desestabilicen a los muros de fachada y preferiblemente debe ser liviana para evitar que el efecto de “péndulo invertido” afecta la estabilidad de la estructura.

4. LA CAPACITACIÓN

Para lograr trabajar en las comunidades rurales, se ha debido elaborar maquetas de los adobes de manera que el armado y trabe de los muros y la ubicación de los refuerzos puedan ser claramente entendidos y poder trasladar, este aprendizaje, a la obra la misma que se convierte en un taller de complemento de la capacitación (figura 14).

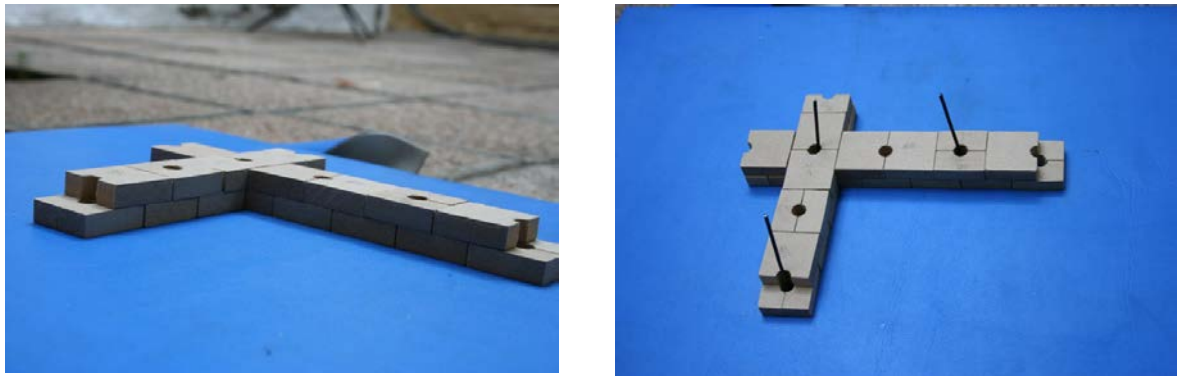


Figura 14 – Maquetas de adobes

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El análisis de los casos observados, lamentablemente frecuentes, torna necesario advertir sobre la importancia de que las construcciones con tierra se ajusten a normas técnicas y, en caso de no existir recomendaciones expresas, se rijan por lo menos a los criterios fundamentales de sismo resistencia en la construcción.

Es importante e imperativo –por responsabilidad con la comunidad- que se logre normar la construcción con tierra y en general con materiales alternativos y de esta manera “formalizar” el uso de estos materiales y exigir la capacitación de los técnicos en todas las instancias de formación.

De igual manera la formación del profesional orientado al manejo de estas tecnologías, especialmente en zonas sísmicas, es una responsabilidad que ya no se puede eludir por parte de los institutos superiores

El trabajo comunitario debe ser debido y responsablemente organizado. No cabe la improvisación cándida o audaz, ni la presencia de obreros no calificados que ejecuten tareas para las que no están capacitados.

Esto sucede con frecuencia en la construcción de viviendas generalmente promovidas por organizaciones que en el afán de reducir los costos utilizan mano de obra comunitaria no capacitada, carente de supervisión, cuyos resultados, en algunos casos, son expuestos en este documento. En consecuencia la capacitación y formación de mano de obra para estas tecnologías es urgente y necesario.

La construcción en tierra debidamente ejecutada, es estable. Lamentablemente la carencia de normas hace que se omita mucha información existente sobre criterios adecuados para su construcción.

En la modalidad muy común de la minga en el área rural, donde las tareas de construcción se hacen de manera comunitaria y en el caso de las viviendas, todos hacen las casas de todos, es necesaria la capacitación a los líderes o jefes de construcción de las comunidades. Las experiencias personales de estas acciones han sido satisfactorias.

En el trabajo comunitario, la organización de tareas debe ser hecha técnica, y profesionalmente a conciencia, ya que éste garantiza la calidad de la construcción.

Las tecnologías aplicadas en los sectores rurales, donde es común la construcción con tierra, es necesario que se impongan tecnologías blandas que permitan una reproducción total sea para obra nuevas promovidas desde la comunidad o para ampliaciones o reparaciones de obras existentes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Norma Ecuatoriana de la Construcción (2014). NEC-SE-VIVIENDA Vivienda de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 m. Ecuador: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda; Cámara de Industria de la Construcción.

Reglamento Nacional de Construcciones (2000). Normas técnica de edificaciones NTE E. 080. Adobe. Lima. Perú: Sencico. 2000

AUTOR

Patricio Cevallos, Ingeniero Civil por la Pontificia Universidad Católica del Ecuador; Asesor y consultor de construcciones con tierra y otros materiales naturales; Director de Tecnología Alternativa; Miembro de PROTERRA