

LAS CONSTRUCCIONES DE TIERRA EN ZONAS SISMICAS

Patricio Cevallos Salas

Av. 6 de Diciembre 2130 y Av. Colón. Edificio Antares, oficina 604
Casilla postal 17-15-442C Quito – ECUADOR
Teléfonos: (593 02) 2502 268; (593 09) 9804 185
p.cevallos@yahoo.es , Cevallos.patricio@gmail.com

Palabras clave: sismo; construcciones con tierra

RESUMEN

En América y, especialmente, en la zona andina donde la presencia de sismos es frecuente, las construcciones con tierra son las más afectadas y las pérdidas de viviendas y monumentos históricos son altas. Tradicionalmente se ha venido construyendo de mala manera y debido a los procesos de empobrecimiento de los sectores populares y el incremento de los costos de los materiales de construcción, varios elementos que conformaban la construcción tradicional, han sido eliminados provocando que la edificación este aún más expuesta al efecto de los sismos.

En la zona andina del Ecuador se ha observado que los errores constructivos y la mala calidad de los materiales han provocado la pérdida de miles de viviendas, las que han debido ser reemplazadas con el apoyo nacional e internacional y con la mano de obra de los damnificados. Lamentablemente, la construcción con tierra con todos sus errores constructivos y la falta de criterios sismorresistente, a la hora de construir de manera comunitaria e inclusive con dirección profesional se continúa ejecutando lo que demuestra una falta de conocimiento de esta tecnología y de criterio técnico a la hora de definir un proyecto.

El mirar los errores develados por los sismos, analizarles y darles explicación técnica y proponer soluciones, permitirá que las nuevas construcciones sean de mejor calidad y presenten un mejor comportamiento ante los esfuerzos, especialmente de corte, provocados por los sismos.

En varios sismos ocurridos en Ecuador se han inventariado algunos de los daños que sufrieron las construcciones de tierra, se ha procurado una explicación técnica para cada una de las fallas y las posibles soluciones o recomendaciones para corregirlas. Estas recomendaciones están vinculadas a normas constructivas existentes y/o propuestas de norma. Mediante la sistematización de las experiencias anteriores y de la adopción de normas, de una tecnología blanda y de la presencia de profesionales capacitados en estas tecnologías se podrá preparar a los futuros constructores, especialmente a las comunidades andinas que continúan construyendo de manera intensiva con este material y así lograr reducir la pérdida de viviendas y, especialmente, de vidas humanas.

1. INTRODUCCIÓN

En América los sismos continúan asolando las construcciones cuyo material principal es la tierra que conformando muros portantes, se han venido construyendo de manera tradicional y con tecnologías no adecuadas para las zonas, especialmente las andinas, donde la incidencia de los sismos es muy recurrente y las pérdidas de viviendas y, lamentablemente, de vidas humanas es alto.

La construcción con tierra como elemento portante, ha recuperado espacio en la construcción de viviendas periurbanas, la tendencia de salir de las grandes urbes para construir las viviendas en la periferia, ha permitido que varias familias se decidan por construir en tapial, adobe o bahareque. En el sector rural, especialmente en Los Andes, se construyen obras nuevas con las limitadas condiciones económicas que hace que prevalezcan las formas tradicionales y comunitarias de construcción, tradicionales por que se continua utilizando el adobe moldeado manualmente y el muro de tapial y, comunitarias porque la vivienda o la obra de uso público se la construye mediante el sistema de mingas o presta manos, es decir que toda la

comunidad colabora en la construcción a condición de que el propietario provea la comida y bebida y, preste su mano para una futura construcción comunitario o de un comunero.

En las obras que ejecutan las poblaciones indígenas y campesinas, se mantienen los errores constructivos que tradicionalmente provocaron el colapso de sus viviendas ante sismos de mediana intensidad, por tal razón el trabajo de difusión de tecnologías adecuadas a zonas sísmicas es importante en estas zonas donde el uso de la tierra es vital para su supervivencia en el páramo.

Urbanamente la construcción en tierra se abre su espacio por varias razones, siendo la principal la económica sin olvidarnos de los “clientes” interesados en recuperar el uso de materiales tradicionales y aquellos que por razones ecológicas y de salud así lo solicitan.

En todo caso el tema de la vivienda tanto en el sector urbano como en el periférico y rural está permanentemente discutido y no solo desde el aspecto de durabilidad y costo sino como elemento de asenso social (status), por tal razón si en los ochentas y algo de los noventas las viviendas se diseñaron imitando viviendas españolas antiguas, ahora el requerimiento cada vez más generalizado es la vivienda con diseños arquitectónicos de corte moderno, este es el reto y esto permite competir con la vivienda de materiales “modernos”.

Por ser el Ecuador un país ubicado en zona sísmica es importante que las construcciones mantengan presentes los criterios sismorresistentes y por lo tanto las obras en tierra deberán ejecutarse bajo estos conceptos, que si bien no existe una norma en nuestro país, se deben considerar las recomendaciones y normas que la experiencia de otros países nos señalan

2. LAS CONSTRUCCIONES EN EL ECUADOR

2.1 El sector rural

En el área rural las construcciones que se han mantenido en pie han sido las de “mayor edad”, aquellas construidas con criterios adecuados al uso de de la tierra. En las viviendas “nuevas” donde los constructores han tratado de simular viviendas modernas y urbanas, se han suprimido varios elementos vitales para la estabilidad de la construcción como la cimentación, las soleras y todos aquellos que, en su criterio, son innecesarios y evidentemente consumen recursos económicos que casi siempre resultan escasos e insuficientes.

En todo caso, 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 en especial dentro del sistema de autoconstrucción en lo que respecta al diseño de la planta arquitectónica y a los refuerzos utilizados.



Fotografía 01

Estas viviendas son un ejemplo de construcciones que pese a no tener ningún servicio de mantenimiento, se han conservado.



Fotografía 02

La presencia de técnicos no siempre ha sido provechosa, la falta de conocimientos y de rigurosidad constructiva en los proyectos por ellos asistidos, han dado lugar a mantener errores que venían arrastrándose, de manera reiterativa en los procesos de autoconstrucción como lo evidencian los daños ocasionados a programas de viviendas.



Fotografía 03

Vivienda auto construida en la zona andina del Ecuador



Fotografía 04

Viviendas debidamente conservadas, cuya condición de estabilidad es adecuada.



Fotografía 05

Vivienda de BTC en un programa de reasentamiento luego del sismo de 1996 con apoyo técnico



Fotografía 06

Vivienda afectada por el sismo de 1996 y que fuera construida con asistencia técnica.

2.2 El sector urbano

En el sector urbano, la construcción con tierra está siendo aceptada por los técnicos. Por la presión existente en el mercado (de altos costos y pocos recursos financieros), el cliente solicita la construcción de una vivienda con tal o cual material, viéndose los profesionales obligados a incursionar en el manejo de estas tecnologías y, varios carentes de la capacitación requerida, se han aventurado a "copiar" elementos constructivos en tierra sin considerar el planteamiento general de una estructuración sismorresistente de muros portantes.



Fotografía 07



Fotografía 08

Ejemplos de viviendas urbanas construidas en tapial y bahareque.



Fotografía 09



Fotografía 10

Vivienda de construcción mixta (madera/adobe) y vista de una vivienda de tapial.

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 la temática.

Pese a lo señalado, la tierra es considerada como parte importante del sector de la construcción y los técnicos conocedores del tema son invitados a dictar conferencias, seminarios y cursos en distintas universidades, bienales de arquitectura, colegios profesionales y, en general, en foros donde el tema de la construcción es aludido.

De ahí la necesidad de sistematizar y organizar de manera sostenida y consistente la capacitación profesional en el uso de la tierra.

3. LAS PATOLOGIAS

Es evidente que si una estructura de tierra, madera u hormigón armado no está debidamente capacitada para soportar un sismo, ésta se daña severamente y colapsa. El material utilizado en la construcción no es sinónimo de seguridad.

Los errores patológicos encontrados en la construcción en tierra se ubican generalmente en las fases y en los elementos que tienen relación con 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.



Fotografía 11
Estructura de hormigón armado colapsada por mal diseño y posibles errores constructivos. Cubierta liviana mal diseñada, con



Fotografía 12
colapso en el encuentro de hormigón armado, falló la unión y el anclaje a las vigas-solera de la cubierta



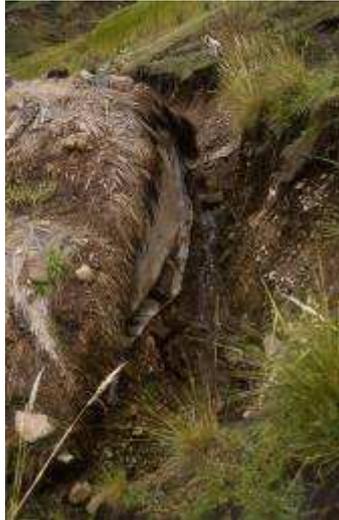
Fotografía 13
Construcción en adobe ejecutada fuera de normativas, es muy susceptible de sufrir la disgregación de sus muros.



Fotografía 14
La falta de mantenimiento de la madera, especialmente de la expuesta a la intemperie causa su pudrición, se fractura y ocasiona colapsos en parte o toda la estructura

La ubicación o implantación de la vivienda es de vital importancia. La vivienda debe estar retirada de taludes, ríos y cualquier accidente geográfico que pudiese, en algún momento, afectar su estabilidad.

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.



Fotografía 15



Fotografía 16

Vivienda implantada muy cerca del talud. Su deterioro en el muro correspondiente al talud fue debido al deslizamiento del suelo. La vivienda de hormigón construida junto a la de tierra golpeó y fracturó el muro de adobe.

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”.

Esto ocurrió -por ejemplo- en la comunidad de La Gloria en Pujilí – Ecuador, donde las viviendas por efecto del sismo no resistieron el deslizamiento y se destruyéndose 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.



Fotografía 17

Pese a la destrucción total de la vivienda, se aprecia que no existen huellas de una posible cimentación, ésta construcción fue literalmente “barrida”.

La cimentación debe tener una profundidad mínima de 60 centímetros y un ancho 40 centímetros.

Debe estar construida con hormigón ciclópeo o con mampostería de piedra, dejando un sobrecimiento mínimo de 20 centímetros sobre el nivel natural del terreno, para evitar el ascenso de agua por capilaridad y el deterioro respectivo de la base del muro de tierra.

Los muros deben estar contruidos con adobes o con BTC, pero que necesariamente cumplan los requisitos de una elaboración adecuada.

Deberán tener la suficiente capacidad para soportar los esfuerzos de tracción que se producen en un sismo, por lo que para ello deben tener algún tipo de refuerzos, sean de caña, madera, acero, malla exterior, etc.

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



Fotografía 18



Fotografía 19

La ausencia de refuerzo en los muros, la mala calidad de morteros y la falta de cimentaciones producen el colapso de las viviendas. Como se aprecia en las fotografías.

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



Fotografía 20

Esquinas mal trabadas y sin refuerzo alguno.



Fotografía 21



Fotografía 22

Nótese la esquina de 30 x 30 ¿resistirá a empuje lateral?. Trabe esquinero mal elaborado



Fotografía 23

Unión en “T” donde el muro transversal no está debidamente trabado.

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 esfuerzos de flexión.



Fotografía 24



Fotografía 25

El contrafuerte es muy pequeño o no está debidamente trabado al muro. En las fotografías se aprecia que el contrafuerte disipó la energía, en un caso rompiéndose totalmente y en otro rompiéndose en su base. Es preciso indicar que la falla de la base puede ser por mala calidad de albañilería.

En la construcción de los muros en especial, 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 paredes de adobe. En las fotografías se observan como la falla es potenciada debido a errores constructivos.



Fotografía 26

Esquinas con defectos por trabajos de albañilería.



Fotografía 27

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

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.

Es recomendable que se coloque algún tipo de refuerzo en el antepecho



Fotografía 28



Fotografía 29

Mala calidad del mortero, las juntas no están debidamente selladas. En la fotografía de la derecha (29), nótese como varios adobes tienen las caras limpias, eso indica que no existía ninguna vinculación entre hiladas.



Fotografía 30



Fotografía 31

En la fotografía de la izquierda (30) se observa que la ventana tiene un dintel adecuado mientras que la puerta no lo tiene y colapsa; en la segunda fotografía (31), se aprecia como el tamaño del vano se transforma en un plano de falla.

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.



Fotografía 32

La cubierta mal diseñada, las soleras sin anclaje a los muros, los muros de mala calidad y con mucha altura, (problema de esbeltez).

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.



Fotografía 33

La falta de vinculación de la solera con el muro libre de adobe, en el caso expuesto en la fotografía, permitió que este se “desprendiera” de la cubierta y colapsara

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 cumbrera como bodega de granos, produce importantes fuerzas de tracción que en ausencia de un elemento que las equilibre, expulsan al muro y colaboran con la fisuración de las esquinas, provocando en muchos casos que la cubierta se precipite al interior de la vivienda.



Fotografía 34

Fotografía 35

Resultados causados por de cubiertas mal diseñadas. En la fotografía 34 se muestra como la cubierta expulsó al muro de su plano y lo colapsó; en la fotografía 35 se observa como las esquinas se abrieron lo necesario para que toda la cubierta se precipite al interior de la vivienda. Nótese la ausencia de soleras o cualquier rastro de elemento de arriostre o refuerzo.

Las fotografías son elocuentes, en especial, respecto de cómo la cubierta mal diseñada provoca la expulsión de los muros y como éstos se desplazan fuera de su plano y colapsan.

Cabe en especial señalar que los muros colapsados corresponden a los que soportan la estructura de la cubierta y por su mal 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”.

Los muros de adobe o de bloques de terro-cemento (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



Fotografía 36.

Cubiertas con tijerales que no tienen elementos que equilibren los esfuerzos laterales y provocan empujes en la cabeza del muro.



Fotografía 37

La mala calidad de trabes en el muro produjo una falla tipo sandwich y colapsó la mitad de éste.

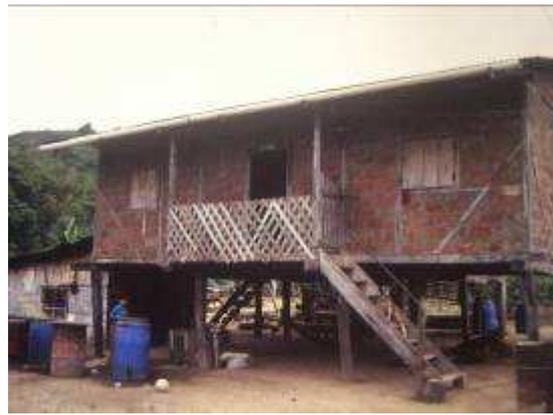


Fotografía 38

Esta aula de bahareque se comportó de manera adecuada. Los muros disiparon la energía mediante la fisuración de su material de relleno, la estabilidad de la estructura se mantuvo luego del sismo.



Fotografía 39



Fotografía 40

Las viviendas de las fotografías 39 y 40 debidamente arriostradas y bien mantenidas, pese a su edad, se mantienen sin problemas en los requerimientos de sismos.

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 fotografías siguientes.



Fotografía 41



Fotografía 42



Fotografía 43

Nótese como la construcción tiene poca mampostería y las esquinas son poco estables, se puede intuir por la fotografía 42 que la planta tiene poca área de muros.

Como criterio general deberá 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 las fotografías 44, 45, 46 y 47, moldes que 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 utilizo cemento y la estabilización o 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 anclas 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



Fotografía 44



Fotografía 45



Fotografía 46

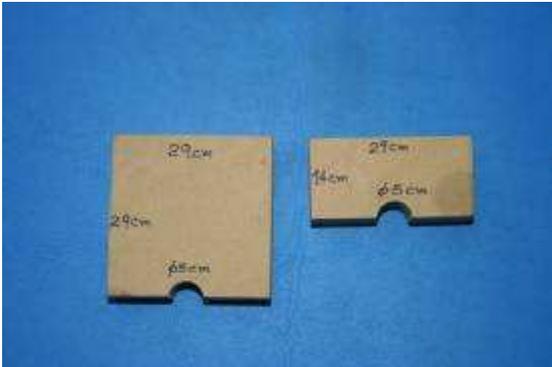


Fotografía 47

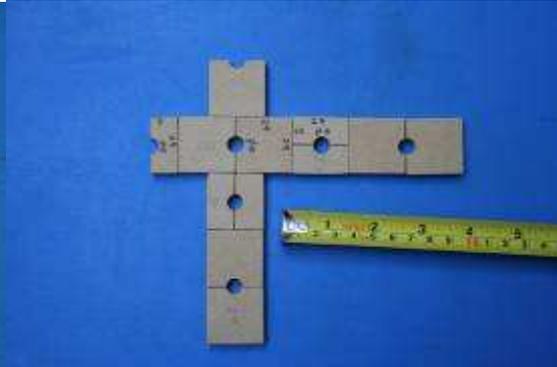
La cubierta se convierte en un diafragma superior que le permite “amarrar” la cabeza de los muros y evitar su desplazamiento fuera de su plano, por esta razón la cubierta no puede generar empujes laterales que desestabilicen a los muros de fachada y preferiblemente debe ser liviana para evitar que el 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 que cuando es la primera se transforma en un taller de complemento de la capacitación.



Fotografía 48



Fotografía 49



Fotografía 50



Fotografía 51

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El análisis de los casos observados, con frecuencia lamentablemente, torna necesario advertir sobre la importancia de que las construcciones en y 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.

BIBLIOGRAFÍA

REGLAMENTO NACIONAL DE CONSTRUCCIONES. NORMA TÉCNICA DE EDIFICACIÓN
NTE E. 080. ADOBE. Sencico. Lima. Perú. 2000

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