



CONSIDERACIONES PARA INCLUIR LA TÉCNICA DEL TAPIAL EN LA NORMATIVA DE TIERRA PERUANA

Julio Vargas Neumann

Pontificia Universidad Católica del Perú. jhvargas@pucp.edu.pe

Palabras Claves: Tierra, Tapial, Norma. Refuerzos sísmicos.

Resumen

En el Perú se viene revisando la Norma NTE E-080 Adobe, para incluir avances tecnológicos y corregir ciertas deficiencias detectadas. La nueva norma será una Norma de Tierra que incluirá la técnica ancestral del tapial.

El tapial, ha demostrado experimentalmente ser una técnica más eficiente que la mampostería de adobe por su mayor resistencia, menor costo en el área rural y menor tiempo de construcción. Es una técnica que en usos modernos ha permitido destacar por su enorme potencial estético.

El oportuno lanzamiento del Programa de Apoyo al Habitat Rural (PAHR) por parte del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS), requiere con urgencia contar con información técnica sobre tapial, para aplicar los bonos de subsidio en las zonas andinas escogidas para el inicio del PAHR, que utilizan tradicionalmente la técnica del Tapial.

Se presenta consideraciones útiles para una normativa basada en numerosas investigaciones sobre reforzamiento de construcciones de tierra y varias específicamente sobre la técnica del Tapial, realizadas en el Laboratorio de Estructuras de la PUCP durante las últimas dos década, donde destaca la investigación relativa al reforzamiento sísmico del Tapial, que auspició el Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO), organismo del MVCS que también desarrolla las propuestas de normatividad constructiva con la participación de profesionales del sector construcción.

1. ANTECEDENTES

Tierra, piedra, maderas y cañas, son los primeros materiales utilizados, hace miles de años para la construcción, debido a su accesibilidad. Muchas veces se encuentran combinados, como es el caso de la Cultura de Caral hace 5000 años, a 180 km al Norte de Lima (Vargas et al, 2011). En el Perú existen las construcciones con tierra más antiguas de América, en Sechín Bajo (Casma), se encontraron los primeros adobes de formas tronco piramidales alargados, luego ovoides y más tarde cónicos (Huaca Santa Cristina), hace 5400 años (Bischof, 2009). El Tapial como tecnología compactada, no existió en el Perú antiguo. Lo que se desarrolló en tiempos pre-hispanos, fue una técnica de masas de tierra colocada o tierra vertida, presumiblemente con ayuda de rústicos moldes flexibles de totora, junco o mallas de fibras vegetales de muy poca altura (alrededor de 15 cm). Los Ychsma (1000 D.C.) fueron grandes constructores de estos muros con apariencia semejante al tapial hispano-árabe. Destaca Maranga, la ciudadela de tapia con numerosas pirámides truncas erigidas con esta técnica.

La tecnología actual de tapial llega al Perú con los europeos y hoy existen versiones regionales muy diversas que es necesario distinguir para establecer programas de apoyo, consolidación o ampliación.

Es necesario desarrollar trabajos de investigación y encuestas técnicas a los maestros tapialeros de las múltiples zonas en que operan, para conocer la realidad constructiva del tapial. Las primeras encuestas realizadas en los valles del Mantaro (Tarma), como en la ciudad de Cajamarca, revelan que se usan en el Perú tecnologías muy diversas, que parecen a primera vista, de comportamiento estructural similar estando ambas ubicadas en zonas de actividad sísmica medianamente activa (Zona 2).

En la actualidad, en el Perú existe una norma de adobe que está en revisión. Lo deseable es desarrollar una norma de tierra que incluya las tecnologías más importantes que se utilizan en el País (adobe, tapial y quincha).

Estudios e investigaciones realizadas en la Pontificia Universidad Católica del Perú, PUCP, revelan que el tapial es una técnica más económica, rápida, durable y resistente que la de mampostería de adobe (Vargas et al, 1984; Vargas, 1993). Se estima que cerca del 40 % de peruanos viven en construcciones de tierra, según datos de los censos que realiza el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, alrededor de la mitad vive en construcciones de tapial, en zonas urbanas y rurales.

2. OBJETIVOS PARA UNA BUENA TÉCNICA DE TAPIAL EN EL PERÚ

¿Qué propiedades y características deberían tener las construcciones de tapial en el Perú, teniendo en cuenta que se utiliza en zonas de mediana y alta actividad sísmica? ¿Cómo se debe abordar el apoyo a la vivienda en zonas donde el déficit habitacional no es de cantidad sino de calidad?

Estas preguntas son fundamentales para orientar las decisiones de ingeniería. Se podría decir que existen seis objetivos primarios: que las viviendas sigan siendo realizadas con un alto ingrediente de auto-construcción dirigida, que sean económicas, seguras, durables, confortables y compatibles con el valor vernáculo de sus "caseríos". Obviamente se trata de conseguir estos objetivos adaptados a las características ecológicas de cada zona.

En zonas áridas, con escasez de agua y temperaturas extremas entre el día y la noche, puede convenir buscar propiedades de máximo aislamiento térmico para contar con interiores cálidos durante las noches frías, a expensas de acumular el calor producido en el día y complementariamente, contar con ambientes frescos durante el día caluroso, gracias al enfriamiento de los ambientes durante la noche. Esto significa empleo de muros anchos y aberturas pequeñas.

Contar adicionalmente con paredes exteriores compactas evitará la erosión y obtendrá durabilidad. Las grietas de contracción de secado no son bienvenidas. El barro a ser compactado usa poco agua. Frecuentemente los muros de tapial dejan de ser enlucidos o revocados por falta de conocimiento o limitaciones económicas.

En general en las zonas sísmicas de temperaturas extremas, donde igualmente se requiere de la inercia térmica, puede llegar a ser prioritario obtener las mayores resistencias posibles de los muros y adicionalmente controlar las deformaciones y desplazamientos de muros agrietados, con refuerzos adicionales. Estos objetivos que utilizan nuevas tecnologías, pueden complementar las técnicas tradicionales.

3. PROPIEDADES DE LA TIERRA COMO MATERIAL CONSTRUCTIVO

La tierra como material de construcción tiene cuatro componentes:

- La **arcilla**, que siendo el único componente activo, se hincha en contacto con el agua y conforma una masa plástica como matriz del resto de componentes inertes. Cuando el agua se evapora, la masa se encoje y endurece hasta alcanzar una resistencia seca (taximetría negativa). Esto convierte al suelo con arcilla, en un material de construcción. La contracción de secado del suelo con mucha arcilla (comúnmente tierra agrícola), crea fisuras y grietas cuando hay restricciones de borde y el secado es rápido y no uniforme.
- Los materiales granulares inertes de distintos tamaño de partículas de roca, que son la **arena gruesa**, la **arena fina** y el **limo**.

El suelo arcilloso, bien equilibrado con adición de arena gruesa y suficiente contenido de humedad, logra tras un secado lento, un material óptimo, caracterizada por una alta resistencia seca, sin fisuras. (Vargas et al, 1984).

Contrariamente, en zonas áridas con suelos de menor cantidad de arcilla, suelos más bien arenosos, es posible activar las partículas de arcilla por compactación, vibración o compresión, utilizando un menor contenido de humedad.

Con ambos tipos de suelo se puede hacer muros de tapial, constituyen dos corrientes universales y en el Perú se utilizan ambas, según el tipo de suelo existente en cada lugar.

Dos precauciones son indispensables:

En suelos muy arcillosos debe adicionarse arena gruesa (no arena fina) y limitar el contenido de humedad. Existen simples pruebas de campo para obtener los porcentajes óptimos de mezcla con arena gruesa. El contenido óptimo de agua para una máxima resistencia podría variar entre 15% y 20%, pero debe controlarse para que no se crean fisuras verticales de secado en el muro de tapial. Es conveniente hacer pruebas con pequeños muretes cuadrados de alrededor de 1 m de lado y un ancho semejante al del muro planeado, para conocer los rangos de porcentajes de agua adecuados para cada suelo.

En suelos arenosos es indispensable conocer si hay suficiente arcilla para garantizar porcentajes de contenidos de arcilla, como se encuentra en la bibliografía. Hay arcillas de muy mala calidad y otras de muy buena calidad, por tanto no es correcto recomendar porcentajes de contenidos de arcilla.

En ambos tipos de suelo, es necesario hacer dos pruebas de campo muy simples que demuestran, una, si la presencia de arcilla es suficiente y por tanto si el suelo es conveniente o no, para ser utilizado como material de construcción y en caso de ser suficiente, otra prueba, para lograr que la arcilla esta correctamente equilibrada con la arena gruesa y así obtener su mejor resistencia. Estas pruebas son útiles para todas las tecnologías de construcción con tierra. (Vargas et al, 1984).

4. LA DISTORSIÓN DEL CONOCIMIENTO GEOTÉCNICO EN LA CONSTRUCCIÓN CON TIERRA RESISTENTE.

Como el Perú es un país de alta a mediana sismicidad, principalmente según la distancia al Océano Pacífico, donde se encuentra la fuente de mayor riesgo de ocurrencia de terremotos (fosa oceánica). El objetivo en la costa y en la sierra será utilizar suelos para construir muros de tapial de la mayor resistencia posible.

Las construcciones con tierra, incluyendo las viviendas, deberán ser seguras, para lo cual además de poseer muros resistentes, tienen que contar con refuerzos que controlen en los muros, los desplazamientos en la etapa de post agrietamiento sísmico.

Existe una tendencia desarrollada en el siglo XX, que aparece al renacer el interés por las construcciones de tierra debido al ahorro energético y el deber ético de conservar el medio ambiente. La tendencia es utilizar el conocimiento geotécnico (mecánica de suelos) que tiene fines orientados a la cimentación de construcciones o soporte de pavimentos, también para caracterizar, estudiar en laboratorio y definir el diseño de mezclas para la construcción de adobe.

Esta tendencia crea confusión desde la clasificación de suelos, por ejemplo, no distingue en la clasificación, entre la arena gruesa y la arena fina, conocimiento que hoy sabemos está asociado al logro de construcciones más resistentes. La arena gruesa es útil para equilibrar el exceso de arcilla, la arena fina no.

En general, es necesario establecer pruebas sencillas de campo para reconocer las características de la tierra apropiadas para construir. No existe resistencia seca sin suficiente presencia de arcilla (calidad y cantidad) en la tierra para construir. Es necesario superar la falta de conocimiento a cerca de la calidad de la arcilla que es función de su contenido de minerales (también calidad y cantidad) para obtener muros resistentes en las diferentes técnicas constructivas de tierra, el tapial entre ellas. Las pruebas deben ser

sencillas, lo cual deja de lado pruebas de laboratorio que requieren uso de equipos y herramientas (difracción de rayos X, microscopios, etc.) que un auto-constructor no posee.

Como consecuencia de la mencionada tendencia, se confunde el objetivo de obtener la mayor resistencia posible, con el de obtener la mayor compacidad posible, como ocurre con los suelos que resistirán pesos a través de pavimentos. Se piensa que los suelos elegibles deben ser preferiblemente suelos arenosos con poca humedad, que se contraen menos al secarse, para evitar fisuras de secado. Se pretende optimizar la humedad de los suelos arenosos, sin preocuparse de su contenido de arcilla (cantidad y calidad), a través del empleo del ensayo de Humedad Proctor utilizado por los geotécnicos para optimizar suelos que resistan tránsito pesado en los pavimentos, vía compactación o desaparición de vacíos.

Ensayos de laboratorio realizados en la PUCP con muros de tapial, revelan que no solo los suelos arenosos son adecuados, por el contrario, utilizando suelos moderadamente arcillosos, con aumentos controlados de arena gruesa, se producen incrementos de resistencia mayores al 300 % y que por otro lado, aumentos de humedad a esos suelos moderadamente arcillosos, del orden del 10% al 20% sobre la supuesta humedad óptima del Ensayo Proctor, producen incrementos de resistencia del orden del 50%. (Vargas, 1993; SENCICO, 2007).

También revelan estos ensayos, que deben cuidarse los excesos, como en el caso de los suelos arcillosos ya equilibrados con arena gruesa, pues incrementos de humedad por sobre la humedad óptima Proctor, no necesariamente producen incrementos de resistencia y pueden producir incluso disminución de resistencias.

Queda claro que más eficiente para obtener mayores resistencias, es utilizar suelos arcillosos y equilibrarlos con arena gruesa, que utilizar suelos arenosos (con arenas finas y gruesas) y mejorarlos con arcilla, cuyas canteras son más escasas.

5. TRATAMIENTO DE SUELOS ARENOSOS Y ARCILLOSOS PARA MUROS DE TAPIAL

Frente a suelos naturales arenosos, es necesario empezar por verificar que posean suficiente arcilla y que si la tienen, sería posible utilizar humedades del orden a las de la humedad Proctor o algo más. Pero el ensayo Proctor no es una prueba útil en las áreas rurales, en autoconstrucción de vivienda o en su consolidación o reparación.

Es necesario comprobar en cada cantera de suelo la suficiente presencia de arcilla, a través de la “prueba de presencia de arcilla”, posteriormente se recomienda utilizar la “prueba de control de fisuras”, para conocer si la cantidad de arena gruesa no es excesiva. Más adelante se describen las dos pruebas de campo.

Las pruebas de campo mencionadas son simples (sin uso de herramientas y menos aún equipos) y conducen a obtener muros de tapial más resistentes y no necesariamente más compactos, que no es lo mismo. La resistencia se obtiene con más eficiencia activando por humedad la arcilla existente, que compactando un suelo con poca calidad y cantidad de arcilla.

Frente a suelos moderadamente arcillosos o muy arcillosos, el procedimiento es similar, utilizando en la misma frecuencia las dos pruebas de campo. La prueba de Presencia de Arcilla, se aprobará en menos tiempo que en los suelos arenosos y la prueba de Control de Fisuras indicará la conveniencia de mezclar el suelo con una determinada proporción de arena gruesa.

6. EL ADITIVO NATURAL DE PAJA

El suelo suficientemente arcilloso mezclado con paja, utilizado ancestralmente en casi en todo el planeta, es la combinación más eficiente de controlar las fisuras de secado en la construcción con tierra. En cualquiera de sus tecnologías. Desafortunadamente la paja no siempre abunda.

La combinación de suelo con arena gruesa, evita el micro agrietamiento y agrietamiento de las masas de tierra al secarse lentamente. La combinación de suelo con paja, no evita el micro agrietamiento, pero si controla el agrietamiento, actuando como refuerzo del material frágil durante el proceso de secado.

La adición de paja mejora la resistencia de cualquier suelo arcilloso, de manera proporcional al porcentaje de paja. El límite para su uso sin exceso, viene gobernado por la comodidad de su empleo en la mezcla o barro. Este límite también varía en cada tecnología. En el tapial, limita la compactación y produce el rebote del mazo de compactación.

En el extremo, una gran cantidad de paja mezclada con un poco de barro arcilloso líquido (barbotina), sin compactar, produce un material liviano de alto aislamiento térmico y magnífico comportamiento sísmico resistente (relación, adecuada entre masa o fuerza sísmica de inercia/ resistencia). Esta técnica de “paja-barro” y “paja-adobe” fue también utilizada en Caral hace 5000 años (figura 1).



Figura 1. Elemento constructivo de paja-barro que destaca por su ligereza, hallado en Caral. También se han encontrado pequeños paja-adobes con esta técnica.

7. MATERIAL FUENTE O CANTERA DE TIERRA PARA CONSTRUCCION.

En la práctica las canteras son escogidas por la cercanía a la construcción y accesibilidad al suelo. Es necesario realizar las pruebas de campo mencionadas, para conocer si una cantera es adecuada o no.

En general, como ya se expresó, es mejor usar un material arcilloso y equilibrarlo con arena gruesa, que utilizar un suelo arenoso y mezclarlo con arcilla.

8. PRUEBAS DE CAMPO. SELECCIÓN DE SUELOS Y OPTIMIZACIÓN

Realizar la primera prueba o ensayo de resistencia seca (presencia de arcilla), consistente en fabricar tres a seis bolitas pequeñas de suelo de aproximadamente 2 cm de diámetro. Una vez secas (24 horas a la sombra) se aplasta cada bolita entre los dedos pulgar de una mano. Si las bolitas son resistentes que ninguna se puede romper, el suelo tiene suficiente arcilla para ser usado en la construcción de adobe, siempre y cuando se controle el micro agrietamiento del mortero debido al secado. Si en cambio, alguna bolita o más, se rompen, el suelo es inadecuado ya que le falta calidad o cantidad de arcilla y por lo tanto debe descartarse la cantera o eventualmente este suelo puede mezclarse con arcilla o suelo muy arcilloso y repetir la prueba, hasta que no se rompa ninguna bolita) (figura 2).

Agregar al barro, especialmente al usado para hacer el mortero, la máxima cantidad de paja que permita una adecuada consistencia. La paja es el agregado más eficiente para superar el agrietamiento y por ende mejorar la resistencia seca.

Si no hay paja disponible, deberá realizarse la segunda prueba o ensayo de control de agrietamiento, consistente en fabricar siete emparedados (dos bloques unidos por mortero)

usando bloques de adobe existentes y mortero del suelo en estudio. Luego de 48 horas de secado a la sombra, los emparedados se abren cuidadosamente y se examina el estado de agrietamiento del mortero. Si el mortero no se encuentra visiblemente agrietado, el suelo es adecuado para la construcción. En caso contrario, se podrá agregar arena gruesa (de 0,5 mm a 5 mm aproximadamente) como aditivo para controlar el agrietamiento de secado.



Figura 2. Prueba de campo de presencia de arcilla o tracción indirecta.

La proporción suelo/arena gruesa más adecuada se determina realizando el ensayo de control de agrietamiento, fabricando 7 emparedados, con morteros hechos con mezcla de proporciones crecientes de suelo y arena gruesa. Se recomienda que las proporciones de suelo: arena gruesa, varíen entre 1:0 (suelo solo) y 1:3 en volumen. El emparedado con menor contenido de arena gruesa que, al abrirse a las 48 horas, en secuencia de menos a más arena gruesa, que ya no muestre fisuras visibles en el mortero, indicará la proporción de suelo/arena gruesa más adecuada (óptima), para la construcción con adobe (figura 3). Se trata de la menor cantidad de arena gruesa que controla el proceso de agrietamiento de secado debido a la presencia de arcilla. La validez de estas conclusiones se demostró con ensayos de laboratorio en muchos muretes de mampostería de adobe con distintos tipos de suelos (Vargas et al, 1984).

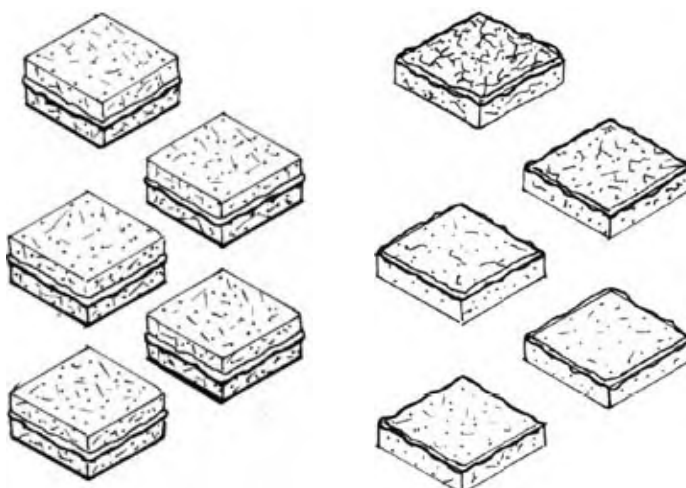


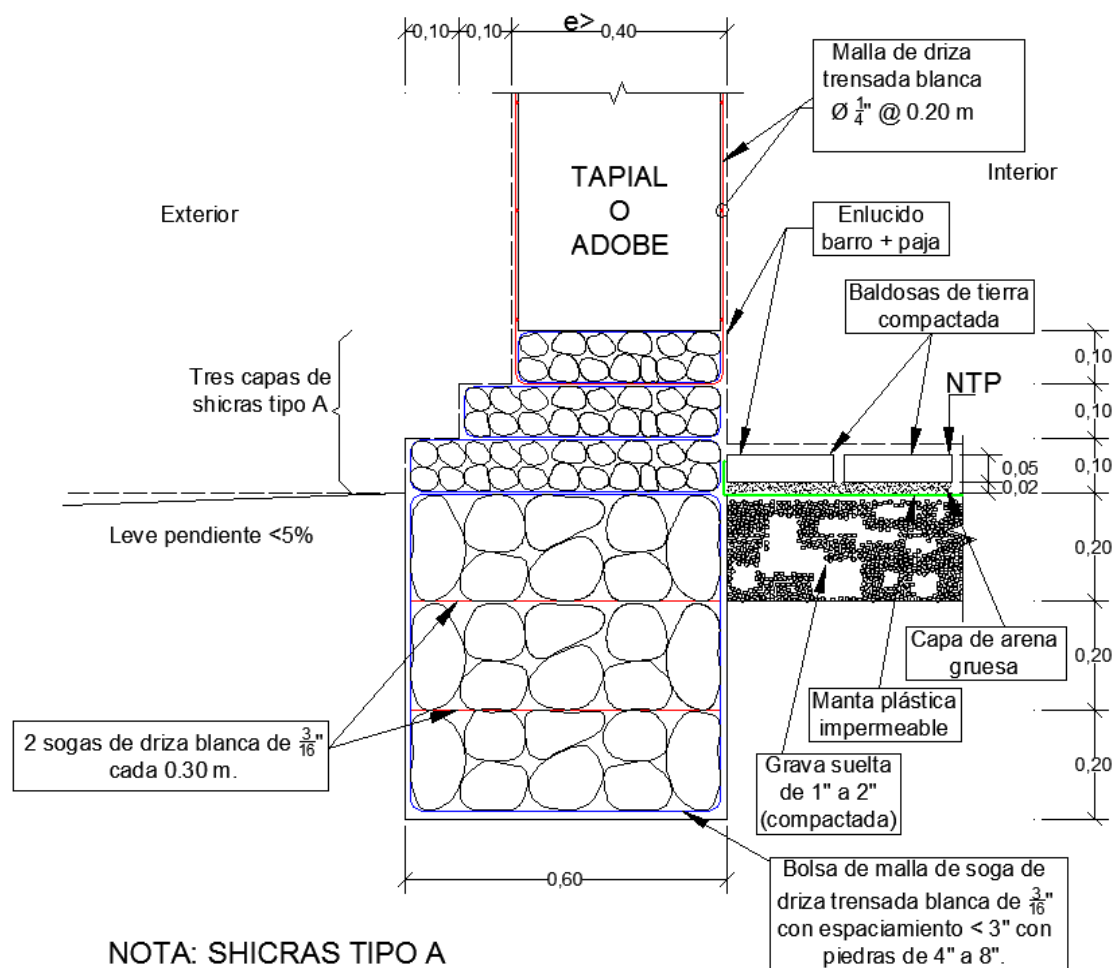
Figura 3. Emparedados secados 48 horas y luego abiertos para observar paulatina disminución de fisuras y descubrir la combinación óptima de suelo y arena gruesa

9. LA CIMENTACIÓN

La cimentación (cimiento y sobre-cimiento), tiene tres principales objetivos relacionados con la seguridad y durabilidad: 1. Trasmitir las cargas de los muros hasta suelos suficientemente firmes que puedan soportarlas con seguridad y sin asentamientos. 2. Evitar que los muros

de la construcción con tierra, se humedezcan por el ascenso de agua superficial y subterránea por capilaridad. 3. Disipar la energía sísmica vía aislamiento, amortiguamiento y fricción. Se trata del uso de grava o piedras embolsadas en mallas de sogas sintéticas. (Kachi et al, 2011; Vargas et al, 2011; Fukuyama, 2012). La figura 4 muestra un ejemplo de solución para construcciones de tierra, incluido el tapial, que aborda la tarea de lograr los tres objetivos mencionados.

**Sobrecimiento disipador de shicras* y
cimiento-drenaje de piedras medianas
compactadas dentro de mallas de driza.**



NOTA: SHICRAS TIPO A

Shicras o bolsas de soga de driza blanca trenzada de 3/16" con espaciamiento de 1" y piedras sueltas de 1½" a 3".

* shicras : piedras embolsadas de mallas de driza.

Figura 4. Detalle de cimiento de piedras medianas compactadas y embolsadas con drizas trenzadas blancas de 3/16" de diámetro y sobrecimientos formados por shicras de piedras pequeñas que actuarán como disipador sísmico. En muros interiores las 3 capas de shicras tendrán el mismo ancho que el muro

En Caral, al investigar la Pirámide La Galería, se encontró capas de shicras soportando muros de mampostería de piedra asentada con tierra, tal como ahora se propone en la figura 4 para casas de tierra. En la figura 5 se muestra un ejemplo de aplicación y un detalle ampliado.

Los constructores de Caral, descubrieron que las shicras remplazaban el uso de morteros de tierra arcillosa que era escasa en áreas de depósitos eólicos. Con ello además lograban

pirámides de núcleos estables sismo resistentes, con fachadas de piedra asentadas y enlucidas con barro arcilloso de gran calidad.



Figura 5. Sobrecimientos de shicras para soportar muros de mampostería.

10. LOS MUROS

El diseño de una construcción con tierra, se centra en el diseño de los muros, elemento fundamental para su resistencia sísmica.

El diseño de un muro debe estar basado en su resistencia, estabilidad y desempeño o comportamiento post agrietado.

10.1 Diseño basado en la resistencia

En áreas sísmicas, el diseño por resistencia es necesario, pero no suficiente. Los picos de la señal sísmica producen frecuentemente esfuerzos mayores a los resistentes creando fisuras, desarticulación entre muros y colapsos parciales de pedazos de muros o colapsos totales.

En primer lugar debe cuidarse en obtener la máxima resistencia del material en base a las dos pruebas de campo descritas.

Muros anchos, densidad de muros, disminución del número y tamaño de las aberturas (ventanas y puertas) son soluciones para aumentar la resistencia.

Los muros no serán menores a 0.4 m. Las ventanas deben estar centradas en los muros y tener dimensiones menores a 1.2 m por lado.

La disminución del peso del techo, reducirá las cargas sísmicas en los muros y cimientos.

10.2 Diseño basado en la estabilidad

El diseño por estabilidad es necesario, pero tampoco suficiente. El ancho y la esbeltez de los muros (relación entre alto y ancho), son variables importantes en el volteo parcial o total de los muros. La esbeltez adecuada en construcciones de tapial o de tierra en general, no debe sobrepasar el valor de 6 en áreas de mayor sismicidad, ni de 8 en zonas de sismicidad intermedia.

Es posible también considerar muros de ancho variable, con anchos mayores en la base que en el borde superior. Al bajar el centro de gravedad, los muros se voltean con mayor dificultad.

La resistencia y estabilidad de los muros depende de sus condiciones de apoyo en los bordes, es decir, si se apoya en uno, dos, tres o cuatro lados. Por ello, la existencia de muros transversales o contrafuertes es importante y la conexión entre muros y techos es indispensable. La distancia entre contrafuertes o muros transversales no debe ser mayor a 10 veces el ancho del muro en zonas de mayor sismicidad y 12 en zonas de sismicidad intermedia. Los contrafuertes tendrán por lo menos el ancho de los muros que arriostran y

tendrán una longitud igual o mayor a 3 veces su ancho. La altura puede ser igual o mayor a los 2/3 de la altura de los muros que arriostran.

10.3 Diseño basado en el comportamiento. Uso de refuerzos.

Los terremotos son recurrentes y el daño sísmico es acumulativo. Por tanto, la vida no agrietada de un muro es muy corta comparada con su vida post agrietada. Conviene entonces preparar las construcciones a soportar sismos sin que se produzca el colapso de los muros. Por razones de seguridad de vida, este criterio de diseño es indispensable.

La forma de evitar el colapso es controlar los desplazamientos entre los pedazos de muros agrietados, en base a la utilización de refuerzos de materiales con mayor capacidad de resistir tracciones, que además sean compatibles con el material tierra. Ser compatible significa no perjudicarlo durante los eventos sísmicos, por causas de mayor dureza o rigidez.

Los elementos de acero o concreto armado serán considerados incompatibles por la experiencia acumulada en la observación de campo post terremotos.

Los refuerzos más adecuados son las sogas naturales o drizas sintéticas que se puedan adquirir hasta en las zonas rurales de todos los distritos del territorio sísmico. Constituyen una variante a las geomallas polimeras de difícil adquisición y mayor costo. Las sogas serán colocadas en forma vertical y horizontal, formando mallas que forren los muros por ambos lados con separaciones que impidan la caída de trozos de muros agrietados, por tanto no mayores a 0.25 m. Las mallas serán conectadas de cara a cara de los muros con sogas de 3 mm de diámetro o más. Las mallas de refuerzo tendrán por lo menos una resistencia última de 3 KN/m, tal como se desprende del análisis del ensayo en mesa vibradora realizada en la PUCP (SENCICO; 2007). En la figura 6 se aprecian algunas drizas ensayadas en la PUCP, durante la reciente investigación "Fisuras IV: DGI 70242.2088" (Blondet; Vargas, 2012-13) en curso.



Figura 6. Cabos o drizas sintéticas, ensayadas en el laboratorio de la PUCP

Otro refuerzo indispensable será el de la viga collar superior de madera, que servirá para garantizar el comportamiento conjunto de los diferentes muros y la adecuada conexión entre muros y techos. La disposición de viga collar en forma de escalerilla, es una solución comprobada, que bien diseñada, puede poseer una rigidez transversal semejante a la de los muros. La viga collar se sujeta a los muros y sobrecimiento a través de las mallas.

11. LOS TECHOS

Los techos en primer lugar deben ser estructuralmente seguros para garantizar la vida de los ocupantes, formados por tijerales que no originen empujes en los extremos superiores de los muros que les sirven de apoyo. Los tijerales son normalmente hechos de madera y tendrán una configuración que utilice tensores horizontales para cumplir con la premisa anterior.

El diseño debe adicionalmente garantizar el menor peso posible, para disminuir las fuerzas de inercia sísmicas. Esto implica a los tijerales mismos, pero también mayormente a la cobertura. La cobertura liviana debe ser impermeable, térmica y en lo posible acorde con el carácter vernáculo del lugar.

Los tijerales deben estar conectados por una viga cumbrera colocada en el vértice superior. Normalmente las bridas inclinadas superiores soportan una capa de cañas de diámetro menor, preferentemente sólidas y no huecas, por durabilidad. Sobre esa capa es posible colocar paneles rectangulares de paja-barro como aislante térmico, de mínimo 50 mm de espesor.

El paja-barro es una mezcla conformada por un núcleo de paja (con aire y textura de un nido tupido, que se hunde en una bandeja de barbotina (tierra arcillosa líquida) y se seca lentamente por no menos de 14 días.

Conviene construir las planchas o paneles de a pie de obra, por su fragilidad y para ahorrar traslados. Los paneles de paja-barro se encajan entre largueros horizontales de madera de sección rectangular de 50 mm de ancho y 100 mm de alto, previamente sujetos cada 0.6 m aproximadamente, con clavos y amarras o tientos a los tijerales o vigas del techo.

La cobertura final pueden ser planchas onduladas impermeables fijadas a los largueros con pendiente 1:2 o alternativamente manojos de paja tipo icchu de 0.6 m de largo, atados a listones rollizos horizontales colocados cada 0.20 m con pendiente 1:1 y que se cambia cada 4 años. Los manojos se apoyan en tres listones. El sistema de listones está sujeto con sogas a la cumbrera y se apoya sobre una manta sintética impermeable. No puede clavarse los listones para no perforar la manta.

Finalmente, como se ha mencionado, la conexión techo-muros es muy importante porque cambia a favor el esquema estructural. Los tijerales pueden clavarse a la viga collar de madera, que a su vez está conectada a los muros a través del refuerzo de drizas trenzadas blancas verticales.

12. LOS PISOS

Los pisos deben ser secos, cálidos y con poca dureza.

No es un problema directamente estructural, pero es parte de la concepción de aislamiento de la humedad, que si tiene implicancia en el comportamiento estructural.

Para evitar la humedad por capilaridad, debe existir una capa no menor de 0.2 m de grava o piedras sueltas de 1" a 2", sin mortero, que permita la percolación e impida el ascenso del agua por capilaridad. Sobre esta capa puede asentarse sobre arena gruesa, una capa de baldosas de tierra cruda colocadas en seco, (fraguadas con mortero de barro), enlucidas con varias capas delgadas de paja y barro, cada vez más finas, con algún estabilizante natural para evitar la erosión, terminadas con frotación de piedra lisa. Es conveniente evitar que la tierra llegue a la capa de piedras, impida la percolación y corte de humedad por capilaridad, para ello se colocará una tela plástica o manta impermeable. El concepto de mantenimiento de esta superficie higiénica es muy importante. Ver figura 4.

13. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL TAPIAL

La resistencia a tracción del tapial que es la característica mecánica dominante debido a su debilidad y fragilidad, deberá ser evaluada en laboratorio en probetas cilíndricas de 0,15 m de diámetro y 0,30 m de altura, de tierra compactada, a través de ensayos de tracción indirecta o ensayo brasileño (como el especificado para el concreto simple, por Lobo Carneiro o ASTM).

El espécimen debe realizarse con el material equilibrado por la prueba de campo de Control de Agrietamiento, con una humedad de alrededor de 15 %. Un suelo aceptable para la construcción con tapial, debe resistir más de 0,05 MPa de tracción (Vargas et al, 1984).

14. REFLEXIONES FINALES

El objetivo de resumir los conocimientos acumulados después de 40 años de estudios e investigaciones sobre la técnica de tapial, no es otro que el contribuir a la actualización e inclusión de esta técnica en la revisión de la norma peruana que se encuentra en la etapa final de ejecución. Se confía que la difusión de este conocimiento sea útil para las regiones con actividad sísmica y con condiciones de hábitat semejantes. Debe difundirse en resumen que la técnica del tapial, es la más económica, rápida, durable y resistente, que se conoce en el mundo de la construcción con tierra.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bischof, H. (2009). *Los períodos arcaico tardío, arcaico final y formativo temprano en el valle de Casma: evidencias e hipótesis*. Boletín de Arqueología PUCP, n°13.

Blondet, M.; Vargas, J., investigadores, Sosa, C.; Soto, J., graduandos. 2012-13. Fisuras IV. DGI 702422088. PUCP. En curso. Lima, Perú

Fukuyama, H.; Fujisawa, M.; Abe, A. (2012). Shaking table test on seismic response characteristics of shicra foundations at the Las Shicras archaeological site, Peru. Terra Conference 2012. Lima, Perú.

Kachi, T.; Seki, M.; Kobayashi, M.; Ohki, M.; Nagao, T.; Koseki, J. (2011). Test for confirming the performance of ballast track structures reinforced with geotextile materials. *Journal of the Japanese Geotechnical Society*. 2011.

SENCICO, Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2007), Jesús Carpio. *Investigación de refuerzo en construcciones de tapial*. Lima, Perú.

Vargas, J. (1993). Edificaciones de tapial sismoresistente. 7° conferencia Internacional sobre el estudio y conservación de la arquitectura de tierra. *Terra* 93. Silves, Portugal.

Vargas, J. et al (1984). *Resistencia sísmica de la mampostería de adobe*. USAID/PUCP, Publicación DI-84-01. PUCP. Lima, Perú.

Vargas, J. et al (2011). *Evaluación estructural del edificio piramidal La Galería*. Proyecto Especial Arqueológico Caral-Supe. Fondo del Embajador EEUU. Archivo. Proyecto PEACS. Caral, Perú.

Currículo

Julio Vargas Neumann, Ingeniero Civil Universidad Católica del Perú. Docente e investigador de construcciones de tierra, Perú. Miembro de los Comité Científico ISCEAH, ISCARSAH, ICORP y ISCS, Miembro de Icomos Perú, Miembro Consultivo de la Red Iberoamericana PROTERRA.