

Comportamiento sísmico de la construcción tradicional Tamang en el norte de Nepal

José Agulló de Rueda
Francisco J. Castilla Pascual

Este artículo se escribe tras tres años de estancias periódicas (2016, 2017 y 2018) en el pueblo de Gatlang (Nepal) gracias a la ONG-Orche y con visitas a algunos de los pueblos de sus alrededores, todo ello en el distrito de Rasuwa a unos 150km al Norte de la capital Katmandú. La población de Nepal se divide por etnias que cubren los diferentes distritos, siendo Rasuwa mayoritariamente de la etnia Tamang, de cultura budista y de lejano origen mongol al igual que otras etnias de las montañas como los Gurung (zona del Annapurna) o los Sherpas (zona del Everest).

La arquitectura de la etnia Tamang es muy singular y guarda bastante parecido visual con la arquitectura de la Sierra negra de Guadalajara (España). Debido a la dificultad de acceso y grado de aislamiento de estas comunidades, la arquitectura utiliza mayoritariamente los materiales locales (piedra y madera) al igual que ocurrió durante muchos años en los lugares más alejados de las serranías de nuestro país. Esta característica es común a muchas otras comunidades de la cordillera del Himalaya, lo que permite aún hoy diferenciar estilos arquitectónicos asociados a grupos étnicos en distintas regiones. El estado primitivo de estas construcciones se ve progresivamente alterado por la inclusión de nuevos materiales, especialmente en zonas afectadas por sismos, como la que nos ocupa, donde la urgencia y necesidad de garantizar la seguridad de las nuevas construcciones ha dado lugar a reconstrucciones dispares e incontroladas.

Este artículo trata de hacer un análisis de la construcción de las viviendas Tamang, sus invariantes, un

entendimiento de su comportamiento general ante factores medioambientales y un acercamiento a su comportamiento sísmico dado que muchas de ellas fueron parcial o totalmente destruidas durante el terremoto de mayo de 2015 pero otras muchas no lo fueron y en todas ellas se observan unas soluciones constructivas muy específicas para la resistencia a sismo aún con la muy escasa tecnología disponible. El objetivo final es permitir la recuperación de esta arquitectura, garantizando su seguridad estructural y acomodándola a las necesidades de habitabilidad actuales, pero intentando mantener los invariantes tipológicos que preserven su valor como conjunto de interés histórico, cultural y recurso turístico.

UBICACIÓN: CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS Y CLIMÁTICAS

Gatlang se encuentra situado en la zona geográfica de colinas (entre el valle de Katmandú y las altas montañas del Himalaya) a una altura media de 2.200m sobre el nivel del mar y según la clasificación climática de Köppen pertenece a la zona de clima subtropical en altura (Cwb). La orografía el terreno es muy abrupta con valles de pendientes muy pronunciadas, por lo que la población suele asentarse en aquellas zonas más abiertas de los ríos, en las partes altas o en las laderas soleadas, encontrándose muy dispersa. El año se divide en una estación húmeda de junio a septiembre, ya que el calor del vera-

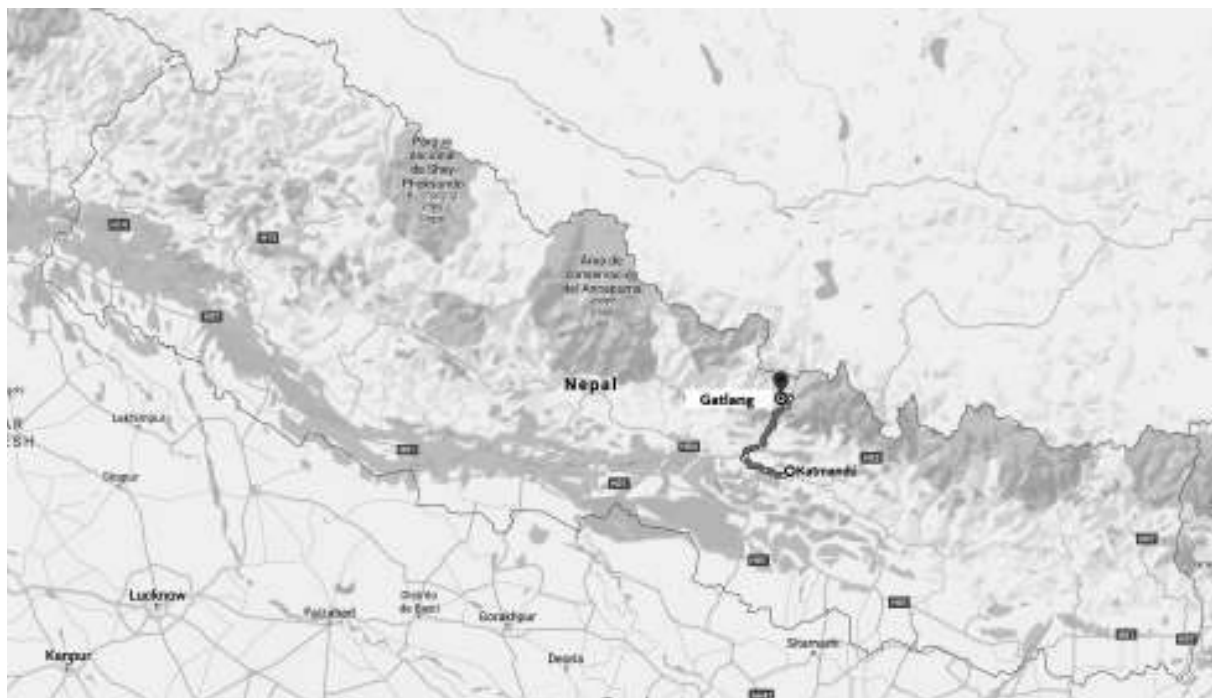


Figura 1
Localización del pueblo de Gatlang (www.google.es/maps)

no en Asia Interior crea una zona de baja presión que atrae el aire húmedo del Océano Índico, caracterizado por la presencia del Monzón, y una estación seca de octubre a junio, ya que las temperaturas frías en el vasto interior crean una zona de alta presión que hace que el aire seco fluya hacia afuera. Las temperaturas pueden alcanzar variaciones extremas de 30°C entre día y noche en esta época. La precipitación generalmente disminuye de este a oeste del país, el área de Katmandú recibe unos 1.400 mm anuales. Este patrón se modifica por los efectos adiabáticos a medida que las masas de aire ascendentes se enfrían y disminuyen su contenido de humedad en las pendientes de barlovento, luego se calientan a medida que descienden y la humedad relativa disminuye. Las lluvias disminuyen en septiembre y generalmente terminan a mediados de octubre, marcando el comienzo del clima generalmente fresco, claro y seco, así como el período más relajado y jovial en Nepal. Para estas fechas, la cosecha termina y el ambiente festivo caracteriza la vida local. Los dos festivales hindúes más grandes e importantes, Dashain y Tihar (Dipawali), llegan durante este período, con un mes de diferencia. La existencia de otros riesgos habituales

como terremotos, tormentas eléctricas severas, inundaciones, deslizamientos son habituales según el momento, como se ha analizado en el Global Assessment of Risk (2009), lo que además de afectar a las construcciones y arruinar cosechas, complica el transporte y los caminos no pavimentados pueden quedar inutilizables.

URBANIZACIÓN, ORIENTACIÓN Y APROVECHAMIENTO CLIMÁTICO

En el pueblo de Gatlang la urbanización sigue un orden muy claro (aunque irregular y sinuoso en su trazado) en hileras de viviendas adosadas con dirección norte-sur, escalonadas en el sentido de la máxima pendiente, ligeramente en dirección noreste. Las viviendas suelen construirse sobre terrazas sensiblemente horizontales donde se sitúan grupos de entre tres y cinco viviendas. El terreno de pronunciada pendiente supone un inconveniente para poder elegir una ubicación adecuada conforme al soleamiento, por lo que los huecos principales de las casas se abren al este, con amplio espacio entre una hilera y otra. Este



Figura 2
Foto aérea del pueblo de Gatlang (Cedida por Alvaro Rodríguez)

espacio entre las hileras de viviendas es una zona de paso comunal y una zona de huertos que tras el sismo de 2015 se ha visto colmatada, en muchos casos, por viviendas provisionales de madera y chapa. Las consecuencias del sismo afectaron a casi toda la aldea, gran parte de las casas están derrumbadas o dañadas lo que obligó a sus habitantes a vivir en condiciones extremadamente precarias. Muchas de las zonas de paso están aún obstruidas por los escombros y se encuentra en un proceso de reconstrucción general. En el último año, estas viviendas provisionales se han visto convertidas en viviendas definitivas de ladrillo y hormigón gracias a las ayudas del go-



Figura 3
Foto del escalonamiento de las viviendas (Autores)

bierno y organizaciones internacionales que no han promovido la conservación de las tipologías propias de la arquitectura tradicional. La configuración de las viviendas permite aprovechar una envolvente de gran inercia térmica en casi todo el perímetro, a excepción de la fachada principal que es de construcción ligera y más permeable al aire. Las cubiertas inclinadas con grandes aleros evitan la acumulación de agua por escorrentía directa hacia los espacios intermedios de hileras de viviendas.

TIPOLOGÍAS DE VIVIENDAS TRADICIONALES

La vivienda tradicional en Gatlang no difiere de las encontradas en otros pueblos cercanos visitados como Chilime, Tatopani o Thulo Syabru pero el conjunto urbano es de los que se encuentra, por ahora, menos deteriorado. La tipología más habitual es la de vivienda cuadrada de unos 6x6m y dos pisos más bajo cubierta, y posiblemente es la tipología más antigua, la que se repite con mayor profusión en la población y a la que nos referiremos en este artículo. Existen otras tipologías menos frecuentes como la vivienda en L o de una sola planta rectangular más bajo cubierta, o viviendas de mayores dimensiones como se describen en Emergency Architects (2016).

A estas tipologías se están añadiendo a gran velocidad desde el terremoto del 2015 otras más modernas con configuraciones constructivas y estructurales muy diversas.



Figura 4
Foto de la tipología de vivienda reforzada (Autores)

DESCRIPCIÓN DE LA ARQUITECTURA: VOLUMEN, DIMENSIONES Y USOS

La tipología de vivienda a la que nos referimos en esta comunicación, se caracteriza por sus gruesos muros de piedra (uno de ellos medianero) de 60 cm de espesor, y su fachada artesanal labrada en madera. Tanto la cubierta, estructura y particiones interiores son igualmente de madera. La vivienda se distribuye del siguiente modo: planta baja destinada a almacén o cuadras, generalmente sin compartimentar y piso de tierra compactada, con cerramiento de madera o piedra retrasado respecto al piso superior, lo que permite un espacio exterior cubierto, y una puerta de acceso; planta principal a la que se accede por un zaguán o balconada exterior cubierta por un gran alero, que sirve en muchos casos de secadero o almacén. El espacio interior puede aparecer más o menos subdividido, permitiendo alojar entre 3 y 5 personas. En la actualidad la mayoría de las viviendas mantienen: una sala principal que ocupa algo menos de los dos tercios de la planta, donde se encuentra la chimenea /cocina (y que hace las veces de salón-dormitorio) y en su perímetro se dispone el mobiliario y espacios de almacenamiento (con unas dimensiones medias de 3,20x5,70 m). La otra parte suele estar ocupada por un pequeño zaguán, por donde se realiza el acceso, un espacio intermedio de almacenamiento (y de acceso al bajo cubierto) y una pequeña sala que sirve de dormitorio (2,00x3,00m) El acceso al espacio bajo cubierta, cuando este es aprovechable, se realiza mediante una escalera de mano. La disposición de estos espacios generan distintas composiciones en fachada, en las que el zaguán, la balconada o el frente del bajo cubierto tienen mayor o menor presencia; aunque sin duda el elemento diferenciador de la mayoría de las viviendas es el ventanal central trigeminado, que permite la iluminación y ventilación del espacio interior (junto con pequeños huecos que a veces se abren en la fachada opuesta) y que está decorado con diferentes motivos geométricos labrados en los paneles y listones de madera que lo conforman. El espacio bajo cubierta se ventila a través de la propia cubierta que no es estanca al aire y se ilumina mediante pequeñas perforaciones con distintos motivos geométricos en los paneles de la fachada principal.

La altura libre de las plantas es de 1,90m a 2,00m y el espacio bajo cubierta entre 0,80m y 1,50m en la parte de la cumbre.

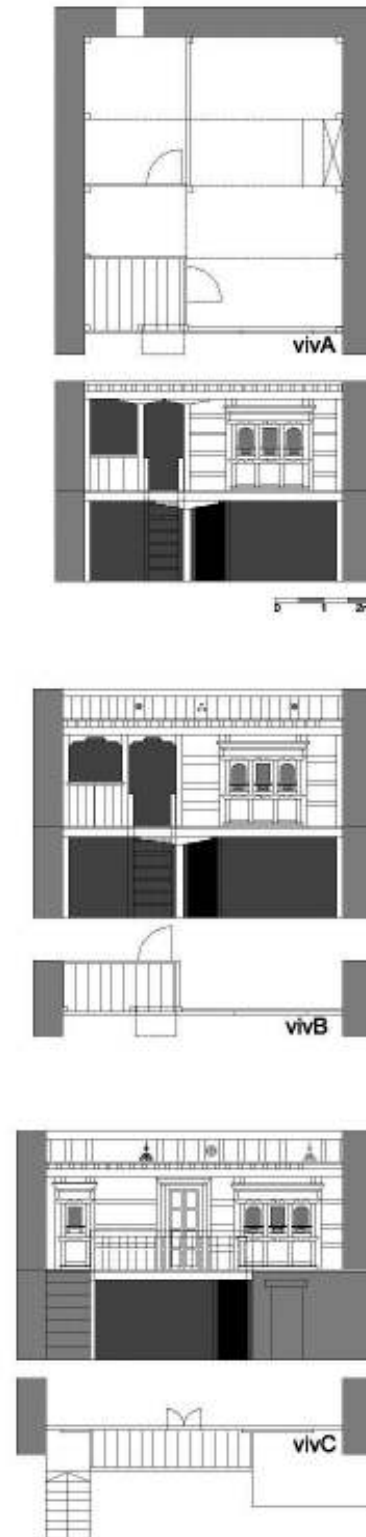


Figura 5
Dibujo de las fachadas tipo (Autores)



Figura 6
Fotos de la tipología de viviendas A (Autores)



Figura 8
Fotos de la tipología de viviendas C (Autores)

En las figuras 8 y 9 se recogen esquemas de la fachada principal y las imágenes correspondientes, en las que se aprecia la evolución. La vivienda A corresponde a la tipología más sencilla, en la que el espacio bajo cubierta es prácticamente inaprovechable y no se manifiesta en fachada, y el zaguán (de mayores dimensiones) hace las funciones de espacio de almacenamiento; la vivienda B tiene un espacio bajo cubierto más prominente y se reconoce en la composición de la fachada, el zaguán es más reducido; en la vivienda C se ha añadido la balconada exterior, lo que permite tener un espacio bajo cubierto en planta baja mayor, y la escalera de piedra. En algunos casos este espacio se complementa con alguna construcción

adicional que amplía el espacio de almacenamiento cerrado y la superficie de balconada o terraza, siendo un lugar habitual de estancia, para realizar labores domésticas, en el exterior de la vivienda.

Otro de los elementos singulares son las escaleras de acceso, de madera ensamblada y fácilmente retirables en la mayoría de los casos, o conformando un sólido volumen de piedra en uno de los extremos.

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO Y ESTRUCTURAL

La vivienda tradicional se conforma con una envolvente muy pesada de piedra que aloja una estructura más ligera de madera, casi independiente, en su interior. El muro de piedra tan solo presenta uno o dos huecos cuadrados en la fachada Oeste, de escasas dimensiones (0,60m x 0,60m), con dinteles fabricados con la propia piedra y carpinterías sencillas de una sola contraventana sin vidrio. Se puede apreciar como con la incorporación de carpinterías de madera más modernas (de doble hoja) y vidrio, algunos huecos se han ampliado hasta los 0,90m.

La estructura de los pisos se conforma con pies derechos de madera, de sección cuadrada (de entre 10 y 12 cm de lado) y vigas de un solo tramo de sección prácticamente cuadrada (de entre 10cm y 15 cm de canto) configurando pórticos de cuatro vanos (1,50m de luz) perpendiculares a la fachada principal (uno central y dos adosados a los muros perimetrales). So-



Figura 7
Fotos de la tipología de viviendas B (Autores)



Figura 9
Foto del pueblo antes del terremoto (www.facebook/asfnepal)

bre estos y en sentido perpendicular, se sitúan cinco vigas de madera de sección similar, coincidentes con los pies derechos, y que por un lado sirven para el apoyo de las particiones interiores y por otro ayudan al comportamiento estructural a sismo, el forjado está formado por tabloncillos de madera (8x25cm de dimensiones medias) apoyados entre vigas.

Esta estructura se repite tanto en el primer piso como en el segundo, condicionando en cierta manera la distribución del espacio interior en la planta habitable. Por lo general en el segundo piso, sólo se mantienen los pies derechos extremos y centrales de cada pórtico, desapareciendo los intermedios.

La cubierta está formada por grandes tabloncillos de madera solapados en hileras horizontales que van contrapeándose del alero a la cubierta (entre 8 o 10

hileras, según el desarrollo de la cubierta y el solape). El sistema de sujeción es completamente por gravedad, mediante listones entrecruzados por encima, sujetos con piedras, lo que también conforma una de las imágenes más características del lugar, a pesar de la profusión de lonas y paneles de chapa, consecuencia de las reparaciones de emergencia tras el terremoto de 2015.

Estas piezas descansan sobre tres órdenes de elementos estructurales: la viga cumbre y las vigas intermedias (horizontales), cuya disposición suele coincidir con las vigas del piso, pero apoyándose en los muros hastiales perimetrales, los pares (inclinados), dispuestos cada 0,40m, que suelen ser de una pieza desde la cumbre al alero y en la fachada principal sobresalen entre 1,00m y 1,50m del plano de



Figura 10
Foto del pueblo después del terremoto (Autores)

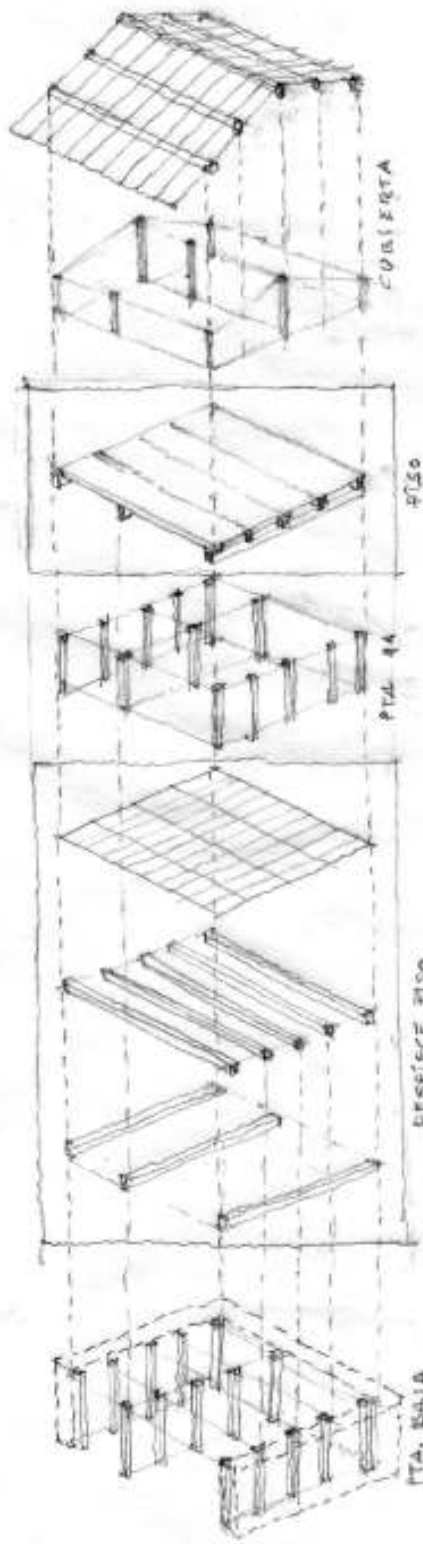


Figura 11
Dibujo de la construcción de la vivienda tipo (Autores)

cerramiento de fachada, con canecillos labrados en su extremo, y las correas (horizontales), conformadas frecuentemente con cañas o medias cañas de bambú, sobre las que se colocan las tablas.

Los ensambles entre pilar y vigas suelen hacerse a caja y espiga, mientras que entre vigas son a media madera. No es habitual el uso de clavos. En la fachada principal, las vigas descansan sobre unas amplias zapatas a modo de capiteles, tanto en la planta baja como en la principal.

Como cierre de este entramado, en la fachada principal, se realiza una fina labor de carpintería, con piezas ensambladas, más propias de ebanistería que de carpintería de armar. La fachada se descompone en paneles de entre 40 y 50 cm de ancho, unidos por listones de 10 a 12 cm, que se interrumpen para alojar la pieza principal que conforma los huecos y su cercado.

MATERIALES ESTRUCTURALES

Dos materiales básicos conforman la estructura de los edificios, la piedra en forma de mampuestos irregulares de esquisto de los que no se tienen datos específicos sino genéricos y la madera que son piezas escuadradas provenientes de Cedros del Himalaya (*Cedrus Deodara*).

De la madera se tiene datos de la propia normativa Nepali (nbc 112: 1994) que indica en su tabla 2 tensiones de diseño en flexión $10/\text{mm}^2$ (para madera en interiores), $0,7\text{N}/\text{mm}^2$ en cortante transversal y $7,7\text{N}/\text{mm}^2$ en compresión paralela a la fibra (para madera en interiores) con un módulo de elasticidad de $9,3\text{N}/\text{mm}^2$. Y también se tienen datos tomados «in situ» mediante ensayos sobre 14 vigas actuales y métodos bastante rudimentarios que dieron módulos de elasticidad medios en torno a $5,3\text{N}/\text{mm}^2$. Acorde a CTE-DB-SE-M o Eurocódigo 5, los valores de la normativa nepali darían una clasificación C-18 mientras que los ensayos «in situ» darían una C-14.

De la fábrica se tienen pocos datos. Las propiedades de la piedra no son relevantes puesto que son valores elevados y para las propiedades del contacto entre piedras podrían tomarse los valores dados por Parajuli (2015) que indican un coeficiente de rozamiento de $0,60$ aunque vienen referidos a morteros de barro que no se usan en nuestra zona.

COMPORTAMIENTO DE LA ESTRUCTURA ANTE CARGA VERTICAL

Cargas

La estructura soporta unas cargas permanentes muy bajas, solo las tablas de espesor rondando los 8cm y el propio peso de la estructura que no superarían los $0'5-0'7\text{kN/m}^2$. Las sobrecargas de 2kN/m^2 y $1'0\text{kN/m}^2$ de tabiquería indicadas en (Indian Standards, 1998) (la norma de acciones India a la que directamente se refiere la norma nepalí «NBC 103-1994 Occupancy Load»). Respecto a las cargas de cubierta, la carga de mantenimiento para la inclinación de estas cubiertas está en $0'4\text{kN/m}^2$ y la carga de nieve según (Indian Standards, 1997) (que es de nuevo una norma de acciones India directamente referida por la norma nepalí «NBC 106-1994 Snow Load») no está definida ante la falta de datos climáticos donde no se aclara los valores de nieve a nivel de suelo necesarios para obtener la carga de nieve en cubierta.

Comportamiento teórico de las estructuras frente a carga vertical

En cubierta los tres órdenes de elementos horizontales transmiten la carga vertical a los pies derechos y a los muros de carga. En los forjados las tablas de gran espesor hacen de losas de forjado entre vigas y de las vigas sólo un orden está pensado para transmitir la carga vertical a los pies derechos, el orden en el que apoyan las tablas y que como se ha observado va paralelo a las fachadas. Las tablas son biapoyadas entre vigas y suelen ir encajadas y ayudadas por algún clavo suelto. Las vigas suelen ser continuas de lado a lado del edificio y ello implica longitudes en torno a 6m.

Todas las uniones entre elementos lineales son teóricamente articulaciones pero deben transmitir algo de momento para que ante acciones horizontales la estructura de madera sea estable. El apoyo de los pies derechos al suelo suele hacerse mediante unas basas de piedra sin empotramiento alguno y por lo que se observa en la mayoría de las viviendas y transmite la población local es que los pies derechos se cambian con cierta frecuencia, la planta baja es húmeda y en algunos casos es recorrida por pequeños cauces de agua. Es curioso que las vigas de cu-

bierta si apoyan en los muros de carga perimetrales pero en el resto de plantas las vigas apoyan en los pies derechos hasta el suelo.

Análisis de la estructura frente a carga vertical

Haciendo un análisis de la estructura de madera frente a carga vertical se observa que la estructura vertical está demasiado ajustada y muchos pies derechos fallarían a resistencia. Las vigas interiores están excesivamente justas por resistencia aunque las deformaciones son admisibles gracias sobre todo a lo escaso de las cargas permanentes y por tanto a las pocas deformaciones diferidas. En cualquier caso la estructura de las viviendas que no ha sido dañada por el sismo no tiene patologías salvo cuando intervienen otros factores como la durabilidad. Las cargas reales que soportan las estructuras tras observar muchas viviendas parecen menores que las indicadas por las normativas nepalíes (que son equivalentes a las europeas) dado que hay muy poco mobiliario y la vida es muy al exterior.

COMPORTAMIENTO DE LA ESTRUCTURA ANTE UN SISMO

No parece haber duda de que las estructuras tradicionales de la construcción en Nepal han sido capaces de resistir sus últimos grandes sismos (1934, 1988 y 2015) como han documentado algunos autores (Gautam, 2016). Las características físicas de estos sismos pueden encontrarse en Chamlagain (2015). Podemos entender el comportamiento sísmico de los edificios, primero por la observación de los efectos en los edificios y segundo por la modelización matemática que simule la realidad.

Observación de daños en los edificios tras el sismo

Las estructuras de los edificios Tamang están claramente diferenciadas entre los muros perimetrales de piedra y el entramado de madera. Los muros formados por piedras sin mortero tienen el gran problema de desmoronarse lanzando las piedras de las partes con menos carga vertical como son los hastiales. Además de la falta de mortero, la irregularidad de las piedras hace los apoyos entre piedras muy inestables



Figura 12
Foto de una vivienda dañada por el sismo del 2015 (Cedida por Beatriz López-Terradas)

antes incluso de un sismo y muy sensibles por tanto a acciones horizontales. La estructura de madera en la mayoría de los casos se ha mantenido en pie aunque con elevadas deformaciones debidas a la falta de triangulación vertical. La estructura de fábrica no tiene ductilidad y sufre de rotura muy frágil, la estructura de madera si tiene gran ductilidad lo que la permite resistir con grandes deformaciones.

La interacción entre ambas estructuras durante los sismos puede producir también el colapso. Se observa habitualmente que las piedras desprendidas son las que han hundido en su caída estructuras de madera de los edificios ladera abajo. Y se observa con menos frecuencia que los movimientos oscilatorios de las estructuras de madera han golpeado los muros de piedra provocando su colapso.

Tal como se describe en Singh (2016), las causas habituales de colapso en los edificios de Nepal tienen que ver con la falta de elementos trabajando a tracción en la fábrica, que pudieran minimizar los problemas anteriores. No existen en la fábrica atados horizontales ni verticales hechos con los materiales tradicionales como madera o caña de bambú. Los horizontales ayudan al muro a trabajar a flexión (positiva) ante acciones horizontales confinándolo y los verticales a evitar la rotura frágil por cortante. Tampoco existen refuerzos en las esquinas que pudieran ayudar a la flexión horizontal (negativa) de los muros. Otros estudios

(Gautam, 2015; Sherestha, 2015) incluyen la ausencia de arriostramientos o el desplome de los muros fuera de su plano como las causas más comunes de colapso en la arquitectura tradicional y en Adil, (2017) se puede ver un estudio más exhaustivo de los fallos de las estructuras de fábrica a sismo.

Por último, no existe en los edificios de la zona ningún elemento que separe la estructura sobre rasante de la cimentación para atenuar las vibraciones sísmicas cuando es reconocido como uno de los métodos más básicos antisismo como indican en Tamang (2016). En otras zonas geográficas como Sudamérica si existe este sistema a base de capas de arcilla con propiedades tixotrópicas que plastifican cuando se someten a vibraciones, permitiendo el aislamiento de la estructura. En nuestra zona de estudio no hay constancia de arcillas y menos con estas propiedades.

Comportamiento teórico de las estructuras frente a sismo

Tras observar las estructuras y los daños sufridos, un primer análisis conceptual nos permite corroborar algunas de las patologías observadas. Siguiendo la transmisión de las acciones horizontales a lo largo de la estructura observamos lo siguiente:

En los muros de fábrica,

- Las piedras independientes de las partes más altas con muy poca carga vertical, inestables y sin recibir cargas de cubierta se desplazan en horizontal y caen en el propio edificio o en los adyacentes.
 - Las piedras de las partes intermedias y bajas sufren desplazamientos pero no llegan a salirse del muro, lo que produce grietas verticales típicas en las esquinas de los muros y deformación curva entre muros perpendiculares al salirse del plano.
 - Los huecos en los muros son muy escasos.
- En las estructuras de madera,
- Los tabloncillos de forjado funcionan como diafragma rígido en horizontal y sólo en algunos casos se han visto levantamientos que indiquen un fallo del diafragma.
 - Las vigas principales perpendiculares a fachada y las secundarias paralelas cierran los dia-



Figura 13
Foto del entramado de vigas, viguetas, tablonos y pies derechos (Autores)

fragmas. Las uniones trabadas entre vigas por durabilidad o mala ejecución a veces se ven descolocadas, las holguras en la ejecución provocan movimientos muy elevados.

- Los pies derechos transmiten los esfuerzos horizontales por flexión dado que no hay triangulaciones. La flexión soportada es muy pequeña porque los empotramientos son mínimos y por ello los pilares sufren grandes deformaciones y vuelcos. Ello provoca el contacto de la estructura de madera con la de piedra.

Las cargas sísmicas

Las cargas y los métodos de cálculo pueden encontrarse en (nbc 105: 1994). Para edificios de menos de 40m de altura puede usarse el método simplificado

del “Seismic Coefficient Method” que tomando un periodo de vibración de 0’28seg (acorde a fórmula 7.4), frecuencia 3’6Hz y un terreno intermedio Tipo II da un coeficiente $C=0’08/T=0’27$. El resto de coeficientes acorde a la normativa serían $Z=1$ (según mapa), $I=1’0$ (viviendas) y $K=4’0$ (muros de fábrica) para un resultado final de $Cd=1’07$ (Indicaría un sismo de 1G). El cortante basal será $V= Cd*W= 210kN$ para un peso total de 200kN.

El terremoto de 2015 tuvo algunas características que son explicadas en Parajuli (2015) y muy específicas para las estructuras de fábrica.

Análisis de la estructura frente a sismo

No es fácil la simulación de estructuras de fábrica formadas por piezas sueltas irregulares sin mortero como son los casos estudiados y según Parajuli (2009) no supone excesiva diferencia en el comportamiento sísmico la inclusión de mortero dado que se produce, en el primer pico de aceleración, la rotura frágil del mismo. En las modelizaciones mediante FEM publicadas puede observarse la mejora en el comportamiento gracias a las bandas horizontales de materiales resistentes a tracción que las edificaciones estudiadas no tienen.

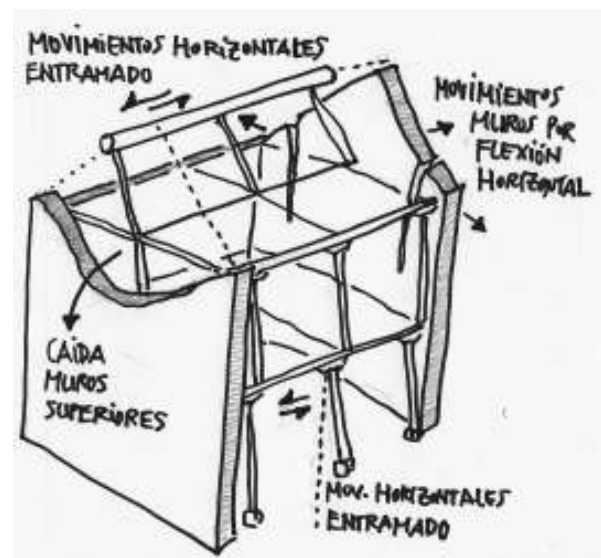


Figura 14
Dibujo de los daños habituales tras un sismo, sin llegar al colapso (Autores)

Un análisis aproximado exclusivamente del comportamiento de la estructura de madera con nudos empotrados, apoyos articulados en el terreno (Modelo en Tricalc 11.01) y un sismo de 1'0G nos da idea de algunos valores interesantes aunque es difícil hacer un estudio fino sin conocer el terreno de la zona. El periodo de vibración de la estructuras de madera es de 1seg (frecuencia 1Hz), el desplazamiento horizontal de los dos forjados: 12'0cm en planta primera, 18'0cm en planta segunda y similar en cubierta. Estos desplazamientos son bastante más elevados que la distancia existente entre la estructura de madera y la estructura de piedra, que ronda los 3-5cm. Además se observa que la mayoría de los pies derechos y vigas fallarían a resistencia y que los momentos viga pilar son muy elevados y, a falta de un análisis más detallado, no parece que se pudieran resistir.

CONCLUSIONES

Tras estudiar las tipologías de las viviendas tradicionales Tamang en el pueblo de Gatlang (Nepal) y analizar su comportamiento estructural se observan varios aspectos importantes.

- Desde un punto de vista urbanístico y climático, la organización de las viviendas en el pueblo sigue unas pautas muy claras de orientación Norte-Sur y de apertura de los huecos a Este, adaptándose al clima y a la difícil topografía del lugar.
- Desde un punto de vista constructivo las viviendas se basan en el uso de la piedra en tres muros y el uso de la madera de Cedro en el muro restante y en toda la estructura interior, particiones, puertas y la propia cubierta. Los muros de piedra sin ningún tipo de mortero. El aislamiento, impermeabilización y estanqueidad de las viviendas es bajísimo y hay una ausencia casi total de instalaciones.
- Desde un punto de vista estructural, el armazón de madera está prácticamente desligado de los muros de piedra tanto para transmitir cargas verticales como horizontales y la holgura entre ellas permite un comportamiento independiente para sismos aparentemente menores a escala 7-8 pero no para los mayores como el sismo de 2015. Dado que la tecnolo-

gía es escasa las uniones son delicadas y mediante encajes, no existen arriostramientos, no hay separación del terreno y la durabilidad es baja.

- Las mejoras en el comportamiento sísmico pasarían por la utilización de arriostramientos para rigidizar la estructura de madera y dado que la piedra no es estable de forma independiente, vincularla a la de madera de modo que queden tramos confinados y a ser posible con las piedras tomadas con mortero. Es el trabado de la piedra con la madera lo que puede alterar más la imagen de la arquitectura tradicional.

LISTA DE REFERENCIAS

- Adil M., Rashid A. y Narayanan S. 2017. Constructional deficiencies in masonry structures and seismic risk. *Research Gate publication/321137011*.
- Bureau of Indian Standards. 1997. *Code of practice for design loads (other than earthquake) for buildings and structures*.
- Bureau of Indian Standards. 1998. *Code of practice for design loads (other than earthquake) for buildings and structures*.
- Chamlagain D. y GautamD..2015. Seismic hazard in the Himalayan intermontane basins: an example from Kathmandú valley Nepal. *Research Gate publication/265417750*.
- Emergency Architects. 2016. «*Study of habitat typologies and solutions for their seismic reinforcement Nepal*». Francia: www.archi-urgent.com.
- Gautam D., Rodrigues H., Bhetwal K. y Sanada Y..2015. Observed damage patterns on buildings during 2015 Gorkha (Nepal) earthquake. *Research Gate publication/283324459*.
- Gautam R., Pajaprati J., Valencia K., Kumar K. y Neupane P..2016. Disaster resilient vernacular housing technology in Nepal. *Geoenviromental Disasters 2016 3:1*.
- Global Assessment of Risk. 2009. *Nepal country report*. Nepal: ISDR-UNDP.
- Gobierno de Nepal. 1994. *Nepal building code nbc 105: 1994 seismic design of buildings*.
- Gobierno de Nepal. 1994. *Nepal building code nbc112 : 1994 timber*.
- Parajuli H..2009. *Dynamic analyses of low strength masonry houses based on site specific earthquake ground motions*. Japón: Kyoto University.
- Parajuli R. y Kiyono J. 2015. Ground motion characteristics of the 2015 Gorkha earthquake, survey of damage to

- stone masonry structure and structural field tests. *Frontiers in build environment* 10.3389/fbuil.2015.00023.
- Sherestha B. 2015. *Reconnaissance investigation on the damages of the 2015 Gorkha earthquake, Nepal*. Australia: Center for Infrastructural Protection and Monitoring, Curtin University.
- Singh A., Jawaid A. y Ram S.. 2016. A study on earthquake resistant construction in Nepal. *IJRASET Volume 4 Issue IV, April 2016*.
- Tamang P. y Gupta K. 2016. Study on earthquake resistant building-base isolation. *IJETT Volume 33 Number 9-March 2016*.