

SEISMIC RISK REDUCTION FOR ARCHITECTURAL HERITAGE. A COMPARISON BETWEEN EXPERIENCES FROM COLOMBIA AND JAPAN

Olimpia Niglio

Kyoto University, Graduate School of Human and Environmental Studies, Kyoto, Japan

William Valencia Mina

Universidad de Ibagué, Facultad de Ingeniería, Colombia

Abstract

Modern and ancient architecture are part of the cultural heritage of a community and they are remarkably important in order to preserve a country's identity. Policies regarding cultural heritage in a nation aim at the acknowledgement, conservation, sustainability and restoration of it as evidence of national culture for present and future generations. Nevertheless, this legacy is threatened by the risk of being lost, and there are different threats either anthropic (human-caused direct damage, fire, collapse due to lack of planning and retrofitting, inadequate environmental management) or natural (earthquakes, climate change, landslides, hurricanes, volcanic eruptions, etc.) that can cause the loss or damage of architectural heritage. Risk management of cultural heritage is a worldwide concern, and as a result of the increase of natural disasters in recent years in the world, the international scientific community and international organizations such as UNESCO are working to confront this problem, making different sectors aware of the importance of dealing with this problem and establishing appropriate risk management policies for cultural heritage as an important tool for sustainable development in a nation. Considering this important issue, the main goal of this article is studying seismic risk of architectural heritage and prevention policies. Seismic risk is a topic of interest in many countries, especially in Latin-American, middle-eastern and far eastern countries such as Japan. Studying seismicity as well as the actual situation of cultural heritage in Japan and Colombia, this article shows preliminary results of a research project on comparing the two countries in terms of retrofitting methodologies and risk management policies to protect architecture that is considered cultural heritage, which is important to reduce its vulnerability. This article also includes some considerations about laws enforced in both Japan and Colombia to protect architectural heritage in high seismic hazard regions and their prevention strategies.

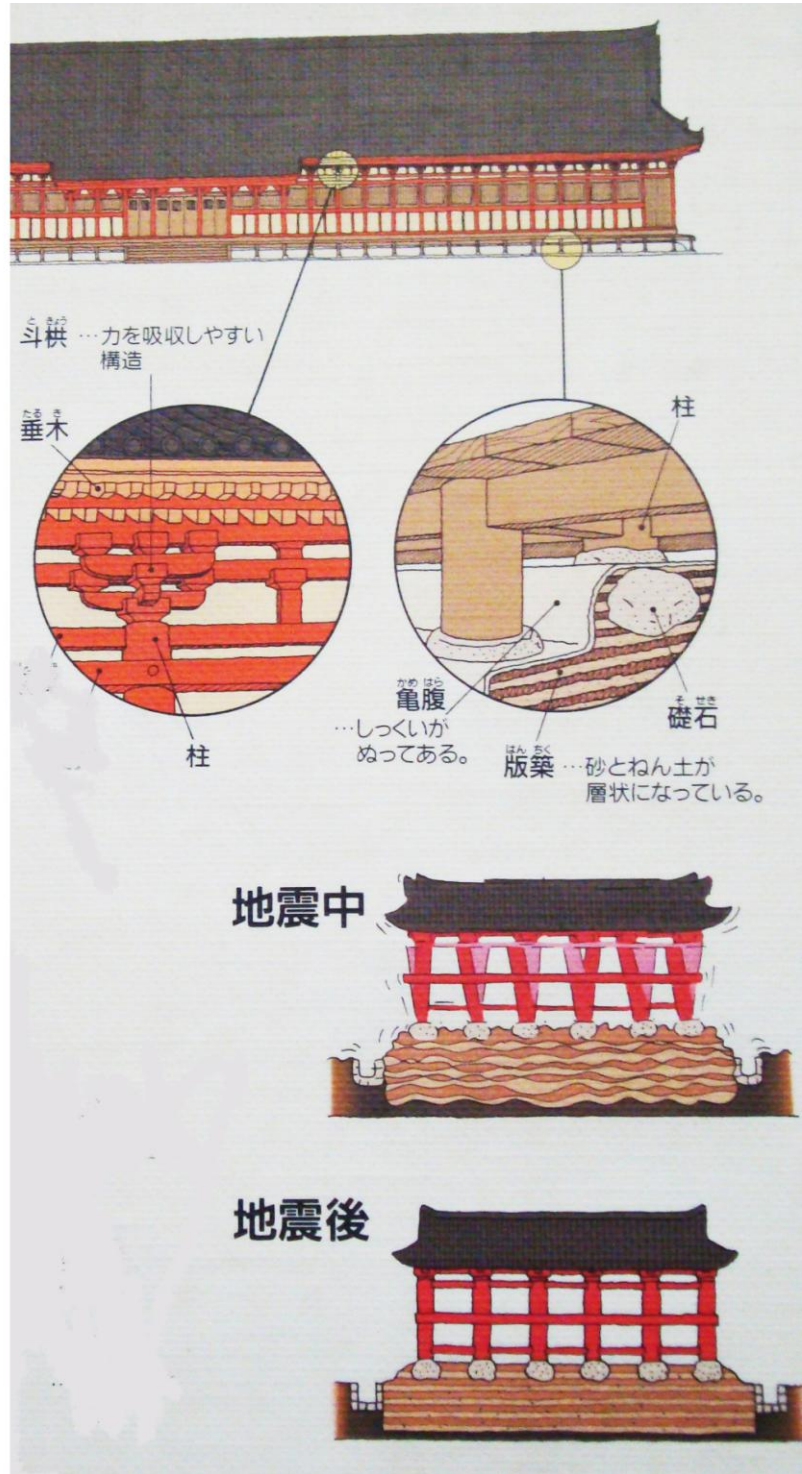
Keywords: Seismic risk, Architectural heritage, Colombia, Japan, Retrofitting methodologies

1. Introducción

Las culturas arquitectónicas construidas de Japón y Colombia tiene muchos elementos en común: la tipología de la construcción, el uso de los materiales locales (sobre todo madera, bambú y tierra), la estrecha relación con el paisaje y las características sísmicas del territorio. En esta investigación comparativa todos estos elementos han sido seleccionados y analizados con el fin de valorar el patrimonio arquitectónico y al mismo tiempo evaluar el desarrollo científico y cultural del último siglo en ambos los países para el establecimiento de políticas que conduzcan a la reducción del riesgo sísmico del patrimonio construido. El análisis realizado es de tipo comparativo.

En Japón y en Colombia existen leyes que tienen como objetivo primordial la protección del patrimonio cultural de tipo arquitectónico; sin embargo, en Japón existe un esfuerzo adicional no solo dirigido a la protección de las construcciones ancestrales existentes sino también en la preservación de las técnicas antiguas para la construcción de las mismas. Algunas de estas construcciones tradicionales en ambos países, ya sea de manera planificada o por coincidencias afortunadas, han podido resistir el ataque de los sismos. Otras construcciones, por el contrario, a pesar de su significación regional y belleza, desde su concepción original no son aptas para resistir terremotos debido a la vulnerabilidad intrínseca a la misma.

Este documento presenta, además, un resumen de la evolución de la ingeniería sísmica en ambos países, las características de algunas de las edificaciones ancestrales típicas y los esfuerzos para la protección de construcciones que, por las técnicas utilizadas o su difusión en el territorio, son consideradas íconos de los paisajes en estos países.



(Izquierda) Terremoto en Popayan de Fernando Botero (1999). Museo Botero, Banco de la Republica, Bogotá (Colombia) [Olimpia Niglio, abril 2011]
 (Derecha) El sistema de protección contra sismos en el Templo de Sanjūsangen-dō en Kioto, Japón [Olimpia Niglio, abril 2013]

2. La arquitectura a través de su historia constructiva (William Valencia Mina)

Colombia y Japón tienen varios elementos en común: la amenaza sísmica elevada y el patrimonio arquitectónico tradicional construido en madera, bambú y tierra. Uno constituye un aspecto natural propio del territorio; el otro es un aspecto antrópico, es decir, manipulado por el hombre, y que además tiene una estrecha relación con el ambiente y la naturaleza. Como resultado de la interacción entre estos elementos, la arquitectura tradicional hecha en madera, tierra y bahareque ha experimentado una evolución en sus técnicas y métodos para contrarrestar los efectos destructivos provocados por los terremotos.

2.1. Ejemplos de la arquitectura tradicional en Colombia

La arquitectura tradicional en Colombia es muy diversa pues depende de las técnicas que se aplican en las diferentes regiones, que van desde la tapia pisada y el bahareque, hasta las construcciones en madera, por mencionar solo algunas. A continuación se describirán las principales.

2.1.1. Arquitectura en madera en la costa Pacífica colombiana

En las regiones costeras del país la construcción en madera es muy común. Una de las localidades donde esta tradición sigue vigente es en Buenaventura, el principal puerto colombiano sobre el Océano Pacífico. Esta ciudad fue fundada el 14 de julio de 1539 por el español Juan de Ladrilleros, luego fue incendiada por los Noanamaes y reedificada el 6 de agosto de 1613. En 1835 se denominó formalmente provincia de Buenaventura, y en 1782 se le dio la calidad de distrito municipal. Con un área de 6.078 km² es la ciudad más grande del Pacífico colombiano. Allí predomina el clima cálido, aunque hacia la cordillera occidental hay un sector templado y frío; su altura media sobre el nivel del mar es de 7 m.

Este municipio cuenta con numerosos ríos caudalosos como el San Juan y el Calima al norte; el Dagua, el Anchicayá, el Raposo, el Cajambre y el Yurumanguí al centro; y el Naya al sur, en el límite con el departamento del Cauca. Su costa tiene dos grandes bahías: Málaga, y Buenaventura, donde tiene asiento la ciudad.

Las viviendas en madera son una tradición arquitectónica en la costa Pacífica colombiana y sus habitantes han utilizado este material, entre otras razones, por la disponibilidad de la materia prima en estas regiones y la facilidad de acceder a ella para su uso en la construcción. Este tipo de vivienda, aunque menos común en estos días, le ha dado un particular aspecto al paisaje ribereño costero en esta y otras regiones del país (figuras 1 y 2).



Figuras 1 y 2: Vivienda palafítica en zona ribereña.

Fuente: Archivo William Valencia Mina, 2014.

La proximidad de la ciudad con el mar y la existencia de ríos en su entorno influyeron en la proliferación de construcciones palafíticas (Mosquera, 2010). Este tipo de vivienda es erigida sobre pilotes de madera o concreto que sostienen una plataforma que actúa como el piso de la construcción. Estos elevan la construcción sobre el nivel del terreno lo que permite que el agua de las mareas pueda circular por debajo de la vivienda sin generar presiones significativas sobre la estructura. Sin embargo, hay que dejar claro que este tipo de vivienda no es exclusiva de las zonas de baja mar o de las zonas vecinas a los ríos, donde el contacto con el agua es permanente, sino que también se construye en terrenos, que aunque alejados de los ríos y el mar, el contacto con el agua se puede dar en época de inundaciones (figuras 3 y 4).



Figuras 3 y 4: Viviendas palafíticas localizadas en zonas distantes a los ríos o el mar.

Fuente: Archivo William Valencia Mina, 2014

Las viviendas palafíticas construidas a lo largo del Pacífico colombiano son un tipo de construcción ancestral adoptada por indígenas de la región y modificada por las comunidades afrocolombianas desde hace ya varios siglos atrás. Cuando llegaron a lo que hoy es Colombia, los esclavos traídos de África, para adaptarse a los entornos naturales que consistían de bosques tropicales, convirtieron estos paisajes en asentamientos humanos que seguían el curso de los ríos. Aunque este tipo de construcciones tiene la ventaja de contar con las características de un material tan bondadoso como es la madera, ante desastres naturales como los sismos son altamente vulnerables, debido a la forma improvisada de su construcción, la cual no cumple con ningún tipo de técnica regulada y mucho menos con principios sismoresistentes (figuras 5 y 6).



Figuras 5 y 6: Vivienda de madera típica de los habitantes de zonas populares.

Fuente: Archivo Olimpia Niglio, 2014

Desde su llegada a lo que es hoy Colombia la gente africana humanizó los entornos naturales en donde vivió. El proceso de adaptación a los bosques tropicales colombianos dio como resultado que amplias franjas de manglares del Pacífico fueran transformadas en un paisaje de asentamientos humanos que siguen el curso de ríos, caños, ensenadas y esteros. Las características de estas viviendas tradicionalmente han sido las siguientes (con algunas variaciones en las versiones más modernas): dimensiones de la fachada entre 4,5 m y 7 m y áreas de 45 m² con valores que oscilan entre 30 m² y 80 m² (Mallol y De Recasens, 1963). En los años cincuenta y sesenta era típico que la madera fuera cortada en dimensiones de 3 m, esto forzaba a que los elementos que cumplían una función portante en la edificación tales como vigas y parales se localizaran a estas distancias para así situar las piezas de madera sin tener que recortarlas. Las viviendas en su mayoría eran construidas de manera comunitaria (con mano de obra ya sea del propietario o de los vecinos) y de modo artesanal. Como se conocía poco la albañilería, este era un factor adicional para optar por la construcción en madera en lugar de otros materiales como el ladrillo o el concreto, además del factor económico, pues la madera era más fácil de conseguir. Estas casas están típicamente construidas sobre pilotes y están compuestas por la estructura, el piso, la fachada y divisiones internas en madera (Mallol y De Recasens, 1963; West R., 1957). Los tipos más comunes de tejas son las tejas onduladas de zinc, asbesto cemento y en menor proporción en hoja de palma.

Este tipo de vivienda surge de una modificación a la estructura base de la casa indígena, mediante la adición de divisiones interiores y el cambio de una cubierta a cuatro aguas (como es común en el área rural) por una a dos aguas (figuras 7 y 8).



Figuras 7 y 8: Casas de madera en cercanías a los ríos, con cubiertas a dos aguas.

Fuente: Archivo Olimpia Niglio 2011

La construcción de estas casas se inicia con la excavación de pozos para la colocación de los pilotes. Estos normalmente tienen una profundidad de un metro y la sección transversal, cuando es cuadrada, es de 50 o 70 cm de lado. En la parte inferior de la excavación (antes de insertar el pilote) se coloca una pieza de madera cuadrada, ligeramente más pequeña que el pozo y de espesor entre 5 y 8 cm la cual se llama “bamba” y hace las veces de la zapata de la estructura (figura 9). La “bamba” se obtiene de las raíces de un árbol llamado “nato” y tiene gran resistencia a la descomposición. Los pilotes sobresalen entre 1 y 1,5 m por encima del nivel del terreno. Sobre estos pilotes descansan vigas horizontales principales que constituyen el marco de la planta. Sobre estas van otros elementos horizontales que finalmente configuran la estructura que soporta el piso (figura 9).

Cuando los pilotes están muy deteriorados, se remplazan por unos nuevos que se ajustan mediante cuñas antes de retirar los anteriores; aunque a veces los deteriorados no se retiran (figura 10). Los pilotes se arriostan lateralmente mediante elementos diagonales de madera (también muy resistentes a la humedad) para evitar desplazamientos laterales relativos entre ellos. Sobre los pilotes se disponen elementos verticales de madera (columnas) que también se estabilizan mediante elementos diagonales que conectan la parte inferior de una columna con la parte superior de una columna contigua (figura 11). La parte superior de las columnas se une mediante vigas de amarre, también de madera, dispuestas en el perímetro de la estructura y estas, a su vez, soportan el entramado que sostendrá la cubierta. Estas casas normalmente son de uno o dos niveles (figura 12).

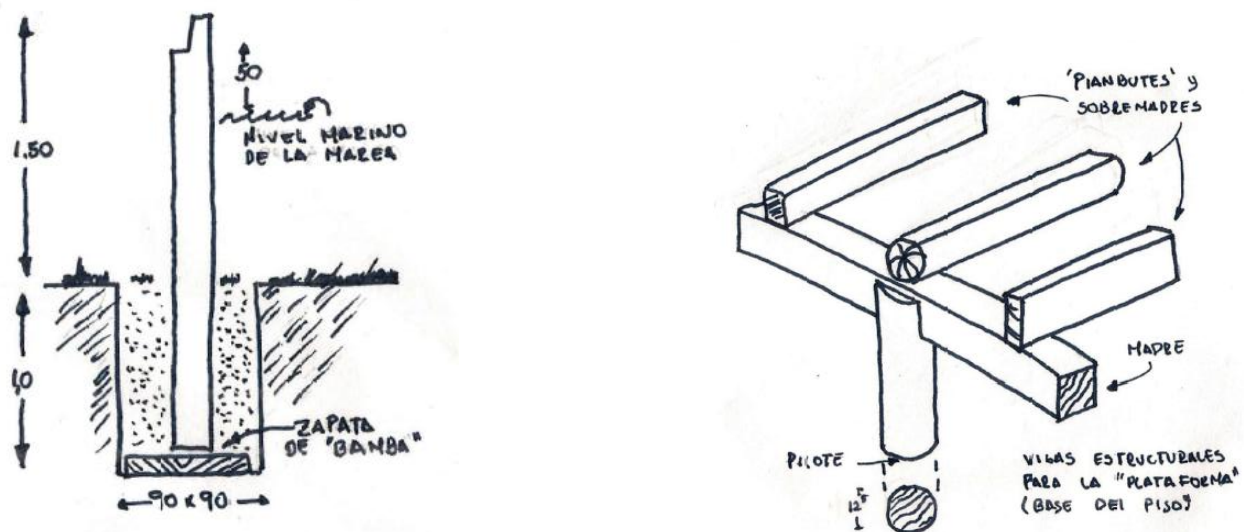


Figura 9: Diagrama de colocación de los pilotes (izquierda) y estructura de piso (derecha).

Fuente: Modificado de Mallol y De Recasens, 1963.

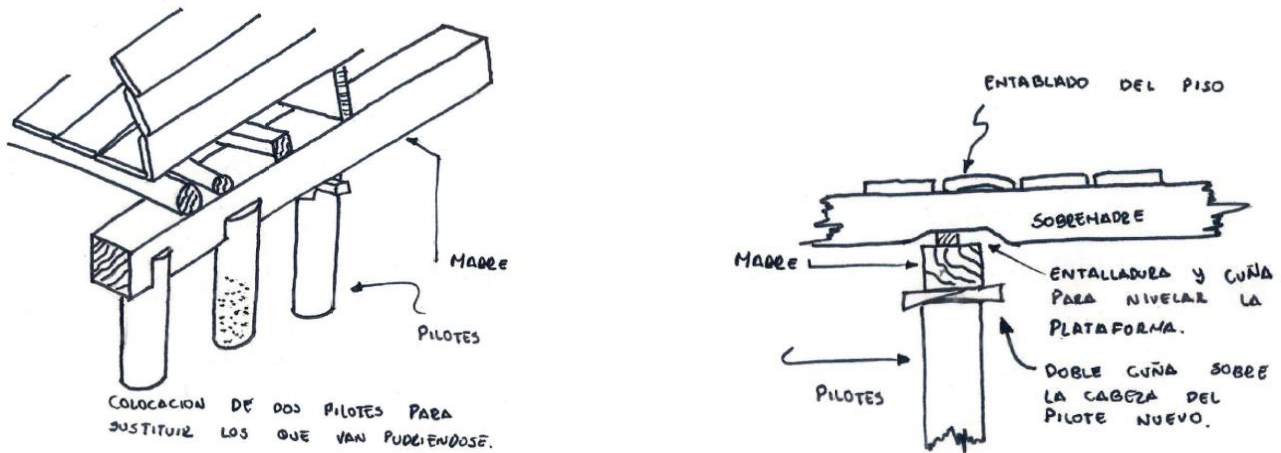


Figura 10: Detalle de la forma en la cual se remplazan los pilotes deteriorados y como se adhieren a la estructura existente.

Fuente: Modificado de Mallol y De Recasens, 1963.

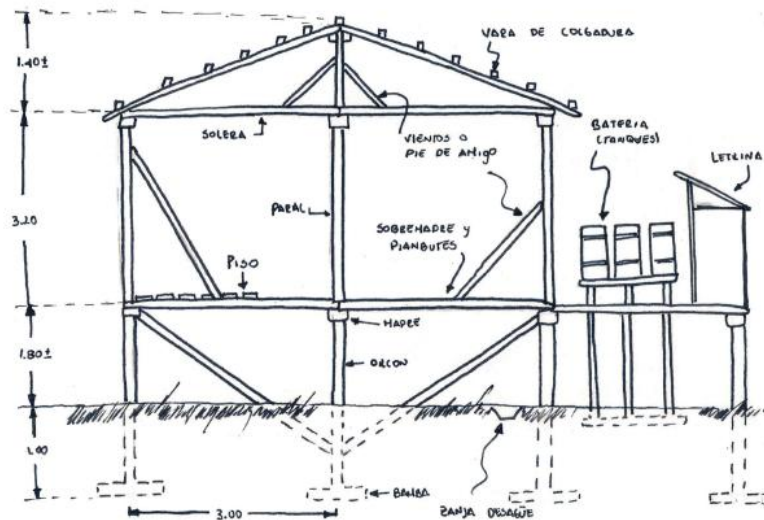


Figura 11: Distribución en perfil de la casa típica.

Fuente: Modificado de Mallol y De Recasens, 1963.

A pesar de que la madera es un material que en términos generales presenta buen comportamiento sismorresistente, en particular por su buena relación resistencia/ peso, las casas construidas de manera artesanal en la costa Pacífica colombiana son muy vulnerables debido a la forma rudimentaria de las conexiones, las cuales se realizan con clavos simples que no proporcionan rigidez adecuada a los arriostramientos, especialmente en los elementos diagonales. Existe poca tradición en cuanto a la preservación del patrimonio histórico construido en esta región, por lo cual no existen viviendas muy antiguas en este sistema como testimonio presente de su legado. Tampoco hay construcciones imponentes construidas con estas técnicas.



Figura 12: Casa de madera típica de dos niveles.
Fuente: Archivo William Valencia Mina, 2014

2.1.2. Arquitectura en tapia pisada y adobe en Colombia

El efecto de algunos sismos ocurridos en los últimos años en viviendas construidas en tapia pisada y el adobe ha demostrado que, por su fragilidad, estos materiales no son aptos para la construcción de edificaciones sismorresistentes (ais, 2001); sin embargo, en Colombia existe una cantidad no despreciable de construcciones hechas con estos materiales. La tapia pisada fue conocida como técnica para la construcción de muros en todos los continentes, por lo que las edificaciones en este sistema son comunes en varios países. Esta técnica de construcción se lleva a cabo mediante el llenado de un encofrado con capas de tierra de 10 a 15 cm que se van compactando hasta generar los muros. El encofrado está compuesto por dos tablonces paralelos los cuales se estabilizan verticalmente mediante travesaños. Algunas de las ventajas obtenidas con la construcción con esta técnica, al ser las estructuras monolíticas, es que presenta una durabilidad prolongada.

Además, al contrario de técnicas en las cuales se utiliza barro más húmedo, las construcciones en tapia pisada tienen menor retracción y mayor resistencia.

Para las construcciones en tapia pisada, las herramientas básicas son la formaleta y el pisón, el cual tiene muchas formas dependiendo del efecto que se quiera incorporar al compactar la tierra.



Figura 13: Construcción en tapia pisada y madera.
Fuente: Archivo Fundación Tierra Viva, Barichara, Colombia.

La tapia pisada se usa en varias regiones del país y se puede encontrar en construcciones antiguas y contemporáneas (figura 13). Un ejemplo de edificaciones en tapia pisada que se han mantenido a través de los años es la Iglesia de San Laureano en Tunja, Boyacá (figura 14). Esta iglesia se encuentra ubicada frente al Bosque de la República, fue construida en 1566, y es la más antigua de Tunja. La construcción de esta capilla a la orilla del camino que conducía de Tunja a Santafé (actualmente Santa Fe de Bogotá) fue ordenada por el cabildo de Tunja. Esta edificación está conformada por una sola nave y muros de tapia pisada. En la fachada se distinguen dos espadañas de factura colonial (Arquidiócesis de Tunja, 2013).



Figura 14: Iglesia de San Laureano, Tunja.
Fuente: Archivo William Valencia Mina, 2014

Curiosamente, también existe otra iglesia con el mismo nombre (Iglesia de San Laureano) pero en Bucaramanga, patrimonio cultural de la ciudad. Aunque sus orígenes se remontan a 1779, su cúpula se terminó en 1866 y se inauguró solo hasta 1893. Este templo ha sido reconocido como el segundo erigido en Bucaramanga, y fue declarado en 2009 como Bien de Interés Cultural, esto debido al gran valor religioso que conserva esta parroquia (figura 15).

8



Figura 15: Iglesia de San Laureano, Bucaramanga.
Fuente: Archivo Olimpia Niglio 2014

En la localidad de Barichara, Santander, existe una tradición de construcciones en tapia pisada. Algunas de estas edificaciones se han realizado con técnicas tradicionales, y otras más con técnicas adaptadas recientemente para potenciar las ventajas de algunos materiales de construcción.

Hace pocos años se inició en Barichara un proceso de construcción de casas con la combinación de técnicas ancestrales de los nativos y de los españoles: los muros perimetrales se hacen con tierra pisada y los muros divisorios se hacen con bahareque (figura 16).



Figura 16: Casas de tapia pisada tradicionales en Barichara, Santander.

Fuente: Archivo Olimpia Niglio 2011.

2.1.3. Arquitectura en bahareque en la región de influencia antioqueña

Según palabras del arquitecto Alberto Saldarriaga (Saldarriaga Roa, 2013), la colonización antioqueña “estructuró demográfica, económica y culturalmente el eje central de Colombia. La construcción de asentamientos en bahareque (pared de palos entretrojados con guadua y barro) posibilitó su permanencia en los territorios colonizados”.

Esa colonización antioqueña en la región conocida hoy en día como el Eje Cafetero (que comprende principalmente los departamentos de Quindío, Risaralda, Caldas y ciertas zonas de los departamentos del Valle, Antioquia y el Tolima) trajo consigo muchos problemas pues estos nuevos asentamientos estuvieron a punto de desaparecer por causa de los terremotos. Los sismos eran frecuentes en esta región, y las edificaciones de tapia pisada, que era un tipo de construcción habitual en esa época, sufrían daños serios y colapsos.

Como las primeras construcciones en Manizales eran hechas de tapia pisada y bloques de adobe, y frecuentemente colapsaban durante los sismos debido a su alta vulnerabilidad, este método de construcción fue prohibido a finales del siglo XIX (Quesada, 2002). Como consecuencia, se buscó una solución constructiva que se comportaran bien ante terremotos; así se desarrolló el “estilo temblorero” con materiales propios de estos sitios.

Este se originó a partir de los sismos de 1878 en Manizales y posteriormente se extendió en todo el Viejo Caldas; el material primordial es el *bahareque*: pared de palos entretrojados con guadua –bambú– y barro (Niglio y Valencia-Mina, 2013 - ver figuras 17, 18 y 19); esta técnica surgió como una alternativa atractiva, pues se demostró que era resistente a los sismos que normalmente sacudían estas localidades. Entre 1885 y 1925 la arquitectura del bahareque se desarrolló de manera importante en Manizales.

Aunque esta arquitectura podía considerarse sismorresistente era muy vulnerable al fuego.

En 1922, 1925 y 1926 los incendios destruyeron la ciudad que había sido construida en bahareque. Esta debilidad intrínseca llevó a explorar una mejora de la técnica con un bahareque de guadua perfeccionado que soportó los sismos de 1938, 1962, 1964 y 1979 sin producir grandes daños.



Figuras 17 y 18: Casas de bahareque en el departamento del Quindío.
Fuente: fotos tomadas por German Herrera Salazar, 2014



Figura 19: Edificación deteriorada en bahareque en el departamento del Tolima.
 Casa del escritor Jorge Isaacs, Valle del Combeima.
Fuente: Archivo Olimpia Niglio, 2009

2.2. Ejemplos de la arquitectura tradicional en Japón (Olimpia Niglio)

La arquitectura en madera en Japón tiene una tradición muy antigua. De los periodos Yayoi (300 a. C. - 300 d. C.) y Tomb Mound (300 - 710 d. C.) la arqueología ha exhibido interesantes ejemplos de pequeñas casas en madera y materiales fibrosos como la paja (Young y Young, 2004). los arqueólogos han demostrado que durante estos periodos las principales estructuras de madera fueron realizadas con técnicas de ensamblaje y que el primer nivel de la vivienda estaba elevado con respecto al terreno. Sin embargo, no hay registro alguno sobre la existencia de técnicas particulares para proveer seguridad a las construcciones ante los terremotos. Las construcciones se realizaban de forma empírica y no sobre bases científicas, aunque se sabía que la madera era un material ligero y elástico y por lo tanto apto para responder de manera adecuada ante las acciones sísmicas. Ejemplos de esta cultura pre-budista en Japón se puede analizar en Ise, en el centro del Japón en la región del Kansai, donde están los santuarios shintoístas de Naiku y Geku y muchos edificios realizados en madera de *honoki* (ciprés japonés). Estos templos, según un antiguo documento del emperador Temmu del 685 d. C., se deben desmantelar y reconstruir usando los métodos ancestrales; esta actividad se realiza cada veinte años, permitiendo así un interesante traspaso de las técnicas constructivas antiguas de una generación a otra (Reynolds, 2001). Sin embargo, resulta complejo analizar la protección del patrimonio arquitectónico ante terremotos en Japón sin estudiar previamente el desarrollo que este ha tenido, principalmente, a partir de la introducción de la cultura budista.

La llegada de la cultura budista al Japón coincide con el período denominado Asuka (550 - 700 d. C.) Asuka era el nombre de la zona en la que se encuentra la ciudad de Nara, antigua capital del Japón medieval donde originariamente residió la corte imperial. Nara está localizada en la actual región de Kansai, en el centro de la isla Honshū (isla principal del archipiélago Japonés). Esta nueva filosofía religiosa introdujo en el país muchas ideas y prácticas nuevas, sobre todo, la escritura china, el empleo de la cronología, el uso de las monedas en el intercambio comercial, la estandarización de los pesos y las medidas; también se introdujo un sistema centralizado de la organización de la sociedad. Obviamente la introducción de la cultura budista no solo trajo normas y métodos de reorganización administrativa y religiosa sino que también promovió nuevos modelos arquitectónicos. Las formas, las configuraciones estructurales y los principios de planeación afectaron principalmente la arquitectura monumental y, por lo tanto, los templos y los monasterios. Estas arquitecturas, representativas de antiguas tradiciones del mundo chino, tenían formas bastante regulares y simétricas; su orientación también era muy importante. En medio de todas estas arquitecturas, solo una se distinguió por su forma, su estructura y por ser realmente una consecuencia de la cultura budista. Se trata de la *pagoda* cuya forma particular se hizo representativa también en el campo del arte; además es muy interesante como sistema constructivo resistente a los sismos (Parducci, 2012; Hanazato et al., 2004). En este análisis histórico es muy interesante señalar que el conocimiento y la aplicación de las técnicas constructivas antiguas se transmitieron por siglos sin ninguna modificación y que este patrimonio, tangible e intangible al mismo tiempo, es hoy la base para determinar la protección de la arquitectura, principalmente de los templos.

Sin embargo, es muy difícil comprender el significado de la cultura de la protección de la arquitectura en Japón sin conocer su historia (Niglio y Kuwakino, 2010). En la ciudad de Nara, capital de Japón desde el año 710 d. C. hasta el 794, se construyeron muchos templos budistas y, en particular, se destaca el templo Tōdai-ji. De este templo existe una reconstrucción en madera hecha en 1709, pues fue afectado y destruido varias veces por incendios y terremotos. Muchos templos fueron reconstruidos en diferentes épocas y no es fácil encontrar una construcción con características o materiales propios del periodo en que inicialmente se construyó. Sin embargo, resulta muy interesante analizar la historia de la arquitectura en relación con la cultura budista porque a partir del siglo XVIII, con el shōgunato Tokugawa, se iniciaron muchas intervenciones en los templos, uno de los cuales es precisamente el templo de Tōdai-ji en Nara (figura 20). Hoy en día es posible observar en este templo los trabajos de adecuación sísmica realizados en distintas épocas y con diversas metodologías. La figura 21 ilustra el refuerzo de los pilares en madera de *obtusa* (ciprés japonés) con elementos en hierro, realizados después el siglo XVIII. En la figura 22 se aprecia el refuerzo con elementos en hierro realizado en la primera mitad del siglo XX después varios temblores, y también un sistema constructivo muy común e importante en la arquitectura japonesa que es el sistema denominado *tokyō*, con elementos ensamblados en diferentes niveles (Locher, 2010). Este sistema fue proyectado para garantizar una adecuada resistencia estructural en los templos contra los temblores pero al mismo tiempo tiene también un alto valor ornamental. Finalmente, después el fuerte temblor de Kobe de 1995, el Salón del Fénix del templo Tōdai-ji fue reforzado con una estructura reticular en acero para preservar el techo del salón donde está la gran estatua del Buda.



Figura 20: El Templo Tōdai-ji en Nara. [© Olimpia Niglio, mayo 2013]



Figura 21: Templo Tōdai-ji en Nara. Detalle del refuerzo estructural del pilar en madera de *obtusa* (ciprés japonés). [© Olimpia Niglio, mayo 2013]



Figura 22: Templo Tōdai-ji en Nara. Detalle del refuerzo estructural en hierro del sistema estructural en madera denominado *tokyō*. [© Olimpia Niglio, mayo 2013]

Otro ejemplo muy importante de la adecuación sísmica de un templo se puede observar en la ciudad de Kioto, capital del Japón desde el año 794 hasta 1868, cuando la capital cambió a la actual Tokio, es el templo Sanjūsangen-dō (figura 23). El nombre del templo literalmente significa *edificio con treinta y tres espacios*, lo que hace referencia a los espacios que separan a las columnas que mantienen el templo en pie. La construcción se completó en 1164, pero el complejo sufrió un incendio en 1249 y solamente el edificio principal fue reconstruido en 1266. Se le considera el edificio de madera más largo del Japón y es muy importante por la aplicación de principios técnicos sísmo-resistentes. Actualmente dentro de esta construcción se encuentran las famosas estatuas de Buda y sus protectores, razón por la cual el templo es muy conocido. Durante su última reconstrucción, en 1266, se empleó una técnica llamada *hanchiku*, literalmente *entreplanta*; la base del templo se realizó sobre diferentes niveles de arena y arcilla y la estructura de madera fue diseñada para permitir el movimiento de los pilotes en las zanjas en las cuales se encuentran hincados de manera holgada; los elementos son todos en madera y se utilizan técnicas de ensamblaje. Todo este sistema ha garantizado durante siglos la protección del templo contra sismos. La figura 24 ilustra un detalle de este interesante sistema constructivo.



Figura 23: El Templo de Sanjūsangen-dō en Kioto [© Olimpia Niglio, enero 2009]

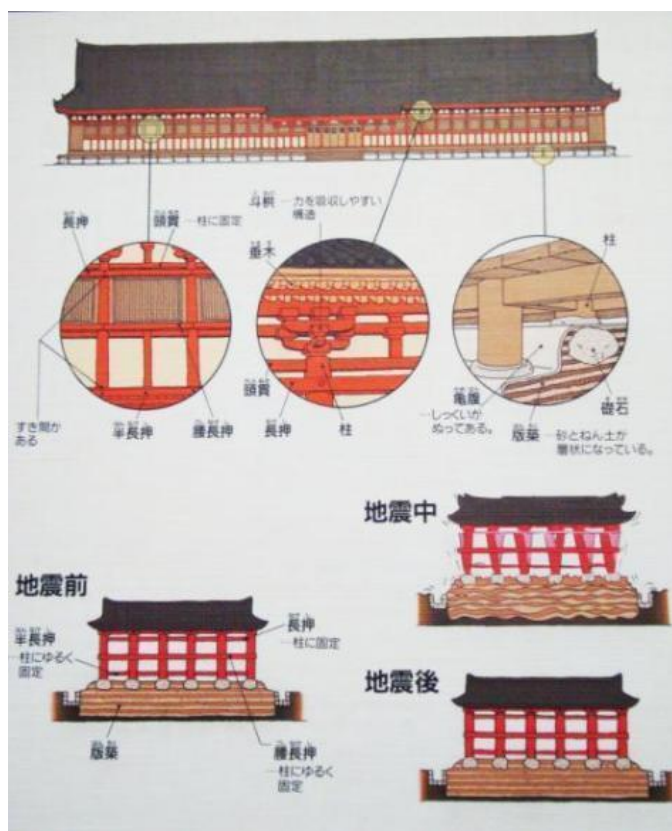


Figura 24: El sistema de protección contra sismos en el Templo de Sanjūsangen-dō en Kioto.
Fuente: Olimpia Niglio, abril 2013.

De esta manera el conocimiento de la historia de las construcciones en Japón ayuda a comprender la cultura de la protección del patrimonio arquitectónico, en particular ante el riesgo sísmico. Estos ejemplos de los templos en Nara y en Kioto constituyen solo una pequeña referencia de una cultura de prevención que solo después del periodo del emperador Meiji (1868-1912) tomó una dirección más científica y menos empírica. Hoy en día las universidades, especialmente en Tokio, Kioto, Osaka y Nagoya, tienen importantes centros de investigaciones para la protección del patrimonio arquitectónico y también para nuevas tecnologías de intervención de las edificaciones.

3. Las principales normas y la cultura para la protección del patrimonio arquitectónico en Colombia y en Japón, y sus resultados (William Valencia Mina)

Recientemente, tanto en Japón como en Colombia se ha empezado un desarrollo cultural dirigido a la protección de su patrimonio histórico construido ante desastres naturales y en particular ante los sismos. Solo después de la segunda mitad del siglo XX se les dio importancia a estos temas en la educación de la población y al rol de las escuelas como de las universidades, especialmente en Japón, donde la cultura del conocimiento del riesgo sísmico está muy desarrollada gracias a que hoy existe un valioso sistema de información para la prevención y la protección del patrimonio arquitectónico.

3.1. Evolución de la ingeniería sísmica y su aplicación a la protección del patrimonio construido en Colombia

Desde la época de la colonia hubo aportes importantes al estudio de los sismos y en particular a la sismología histórica de Colombia. Estos aportes se enfocaron en el estudio del fenómeno sísmico con base en la recopilación de información y la descripción de terremotos ocurridos, los cuales reflejaban la intensidad y los daños observados. No existen documentos técnicos previos al siglo XX con recomendaciones explícitas para la construcción de edificaciones con el propósito de resistir sismos. Sin embargo, desde la época colonial, en algunas regiones del país, se comprendió que ciertos tipos de construcción y ciertos materiales no se comportaban adecuadamente ante terremotos; esto en particular se percibió con mayor conciencia después del sismo de 1785 en Santa Fe (Niglio y Valencia-Mina, 2013).

El primer evento sísmico del cual se tiene registro en Colombia es de 1541; no obstante, los primeros documentos que pueden clasificarse en Colombia como precursores de los estudios de sismicidad histórica datan del siglo XVIII y a ellos se añaden varios aportes en el siglo XIX (Niglio y Valencia-Mina, 2013). Entre estos documentos se destacan: el diario de don Luis Vargas Jurado (1703-1764), el catálogo de don Santiago Pérez Valencia (1785-1843), la crónica de don José María Caballero (1813-1819), la cronología sísmica de don Francisco Javier Vergara y Velazco (1898), el trabajo de don Arcesio Aragón, publicado en 1926, y el trabajo de don Ramón Correa, publicado en 1962 (Espinosa, 2001). La sismología en Colombia tuvo sus inicios formales cuando, en 1940, el padre Jesús Emilio Ramírez retornó al país después de realizar sus estudios doctorales en la Universidad de Saint Louis en Estados Unidos. Poco después, el padre Ramírez decidió fundar el Instituto Geofísico de los Andes Colombianos, adscrito a la Universidad Javeriana, y participó como colaborador en la organización del Año Geofísico Internacional en 1958. En 1974, después de varios años de intentos, el ingeniero Alberto Sarria Molina, junto a otros ingenieros del país, fundaron en la Universidad de los Andes la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (ais), que un año después dejó de pertenecer a esta universidad para ser un ente externo e independiente.

A comienzos de los años ochenta, la ais publicó la primera norma sísmica del país: Requisitos Sísmicos para Edificios, ais-100-81, que fue una adaptación del código atc-3-06 a la realidad nacional. Sin embargo, este documento no tenía carácter obligatorio para su aplicación. Poco después del terremoto de Popayán en 1983 surgió el Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes (cccsr-84), Decreto 1400 de 1984. De esta manera, por primera vez en Colombia se creó un código de diseño sísmico de estructuras de obligatorio cumplimiento por ser un decreto nacional (Niglio y Valencia-Mina, 2013).

Las facultades otorgadas por la Ley 400 de 1997 permitieron que posteriormente este código fuera actualizado mediante el Decreto 33 de 1998, conocido como Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (nsr-98). Este nuevo decreto, más exigente que el anterior, presentó cambios sustanciales en cuanto al detallado de las estructuras de concreto reforzado e incorporó una zonificación sísmica mejor fundamentada. A partir de 2008, la ais fue encargada para llevar a cabo la actualización del reglamento nsr-98 e implementó la nueva reglamentación de la norma ais 100-09 como el componente técnico de la versión más reciente del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, nsr-10 (Niglio y Valencia-Mina, 2013).

Esta nueva versión del reglamento colombiano (nsr-10) incluyó aspectos importantes que no estaban definidos en la versión anterior; algunos de estos cambios importantes especifican los parámetros y requisitos para el uso de aisladores y amortiguadores sísmicos, se especifica el espectro de diseño que podría usarse para la adecuación de estructuras declaradas como patrimonio histórico y se incluye en un apéndice la posibilidad de realizar el análisis *push over* (procedimiento no-lineal estático de plastificación progresiva) con base a los requisitos del nehrp 2006.

Desde la primera mitad del siglo XX, cuando se expidieron las primeras leyes para proteger bienes específicos como las murallas de Cartagena, han sido muchas las acciones del Estado colombiano en esta dirección. En 1959, con la expedición de la Ley 163, se dictaron “medidas sobre defensa y conservación del patrimonio histórico, artístico y monumentos públicos de la nación”. Más tarde, a partir de la Constitución Política de 1991, se empezaron a gestar y a consolidar herramientas específicas para la gestión y protección del patrimonio cultural. Estas herramientas, que fueron modificadas por la Ley 1185 de 2008, reflejaron un desarrollo en la visión del patrimonio cultural en Colombia y también generaron nuevos mecanismos compatibles con esta nueva visión. Además, esta ley define procedimientos para las declaratorias y las intervenciones de los Bienes de Interés Cultural (bic), para el diseño e implementación de los Planes Especiales de Manejo y Protección (pemp).

Para reglamentar “lo correspondiente al patrimonio cultural de la nación de naturaleza material”, el 10 de marzo de 2009 se expidió el Decreto 763, que define las competencias de las autoridades y los órganos asesores del Sistema Nacional de Patrimonio Cultural (snpc) de la nación; también se fijan criterios y procedimientos para la declaratoria de bic y establece los objetivos y los contenidos generales de los pemp. Adicionalmente, este decreto establece los tipos de obras y los principios generales para la intervención de los bic inmuebles (Mejía J. L., 2010).

La Ley Orgánica del Plan de Desarrollo (Ley 152 de 1994) establece que para el ejercicio de la planeación económica y social, se deben articular estrechamente el desarrollo económico con el desarrollo cultural. Del mismo modo, la Ley 388 de 1997, Ley de Desarrollo Territorial, brinda herramientas para la conservación y protección del patrimonio histórico, cultural y arquitectónico de los sectores urbanos. En el mismo año, la Ley 397, Ley General de Cultura, estableció la protección, conservación, rehabilitación y divulgación del patrimonio cultural y planteo herramientas para su protección, entre las cuales se destacan los Planes Especiales de Protección (pep) para los Bienes de Interés Cultural del ámbito nacional (Departamento Nacional de Planeación, 2010).

3.1.1. Algunas consideraciones técnicas para construcciones tradicionales en Colombia. Estructuras de madera

La Norma de Diseño Sismo Resistente (nsr 10) informa que para el diseño sísmico de estructuras de madera esta se puede utilizar en conjunto con la Norma Técnica Colombiana ntc 2500: “Uso de la Madera en la Construcción”, que fue publicada por el icontec (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación). Esta norma versa sobre la madera como material de construcción y sus procesos industriales y tratamientos; también sobre los requisitos de fabricación, montaje, transporte y mantenimiento de elementos de madera. Aunque la ntc 2500 se pueden usar de manera simultánea con el título G de la nsr 10 (Estructuras de madera y estructuras de guadua), estas últimas son las que tienen prioridad pues está constituida como ley de la República. La ntc 2500 tiene por objeto optimizar el empleo de la madera y sus productos derivados en la construcción y el mantenimiento de las edificaciones hechas con este material; sin embargo no contiene requisitos explícitos para la intervención de construcciones en madera que estén constituidas como patrimonio cultural.

Según la nsr 10, la madera usada para la construcción debe cumplir con los requisitos de calidad establecidos en la misma, ya que esta madera debe ser apta para cumplir con funciones estructurales. De acuerdo con esta norma, existen dos categorías de madera para la construcción: Madera Estructural Selecta, usada para elementos portantes principales, y la Madera Estructural Normal, la cual es una alternativa para ser usada en elementos portantes secundarios.

3.1.2. Estructuras en bahareque

Hoy en día el bahareque no solo es aceptado para la construcción de viviendas sino que la ais ha diseñado un manual con especificaciones técnicas para la construcción en bahareque encementado con características sismorresistentes mejoradas (AIS, 2001). Adicionalmente, en la norma nsr 10, en su título E, destinado a casas de uno y dos pisos, se establecen requisitos explícitos para las características de los materiales, elementos de refuerzo, los entrepisos y uniones, tipo de cubierta y sus conexiones para un diseño con características adecuadas que proporcionen un nivel seguridad equivalente a los que se pueden conseguir con materiales tales como el concreto o el acero.

3.1.3. Estructuras de tapia pisada y adobe

La Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (ais) no estimula la difusión ni recomienda la construcción en tapia pisada como estructuras capaces de resistir de manera adecuada sismos moderados o fuertes; sin embargo, establece una serie de recomendaciones para la intervención de edificaciones ya existentes de este tipo, dado que hacen parte de una tradición constructiva ancestral.

Después de un análisis de más de 50 años de los efectos de terremotos, se ha demostrado que las estructuras de tapia pisada tienen una vulnerabilidad elevada ante sismos (ais, 2004), debido, entre otras cosas, a su colapso súbito. Uno de los factores que hace que estas edificaciones sean tan frágiles, es que no incorporan elementos de refuerzo adecuados en su estructura que mejoren su resistencia y, sobre todo, aumenten su capacidad de deformación o disipación de la energía impuesta por el sismo. La ais ha abordado este tema de manera específica debido a la gran cantidad de ellas, además de la envergadura y el uso que podrían tener tales como colegios, edificaciones institucionales, iglesias y conventos, por mencionar solo algunas.

Este sistema constructivo inicia con la cimentación que está formada por vigas corridas hechas con piedras y material de relleno. Después de la cimentación se procede a la construcción del sobrecimiento. Este tiene la función de proteger el muro de la humedad generada por el agua superficial y el goteo, además de servir como soporte final del muro en tapia pisada. El sobrecimiento debe ser construido con material rígido y resistente (figuras 25 y 26).

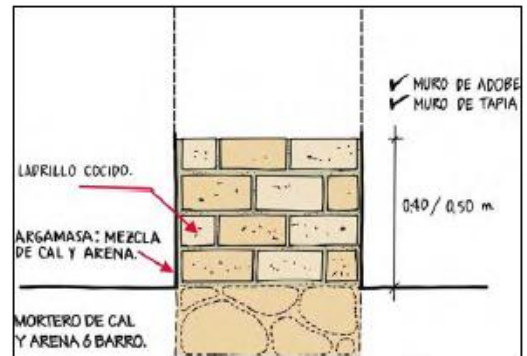
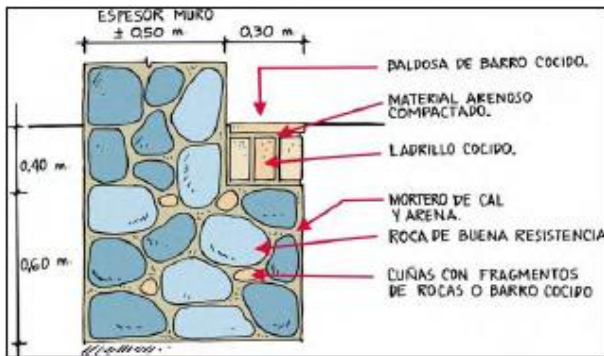


Figura 25 y 26: Viga de cimentación y sobrecimiento.

Fuente: AIS, (2004), pp. 20 y 22

Después de construir el sobrecimiento, se procede a construir los muros en tapia pisada, la cubierta y el piso (figuras 28 a 33). El piso puede ser construido con configuraciones y materiales distintos. Este puede ser de tierra apisonada sobre una subbase de roca y terminado en baldosa, un entramado de madera sobre suelo compactado o también baldosa de barro posada sobre ladrillo cocido (figura 27).

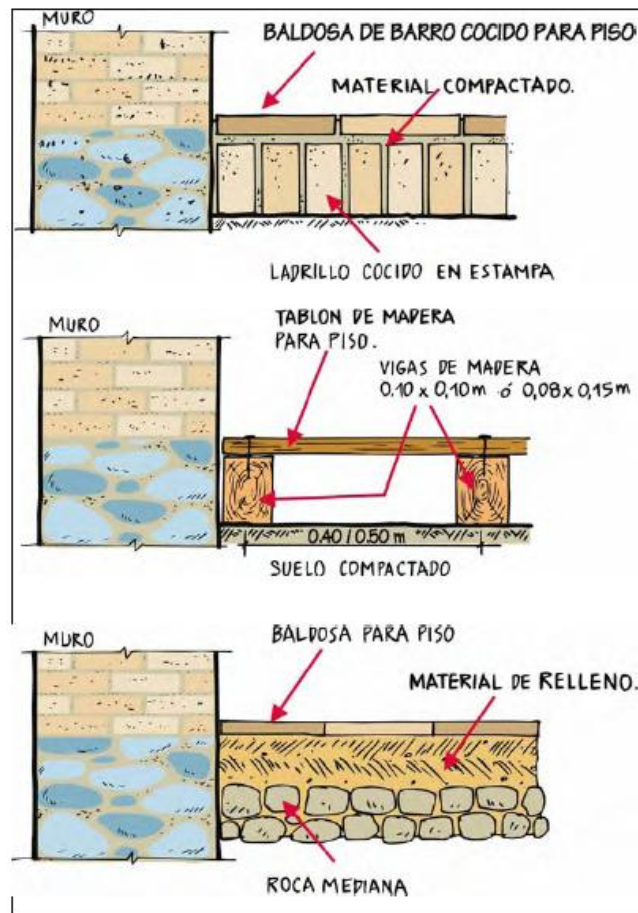
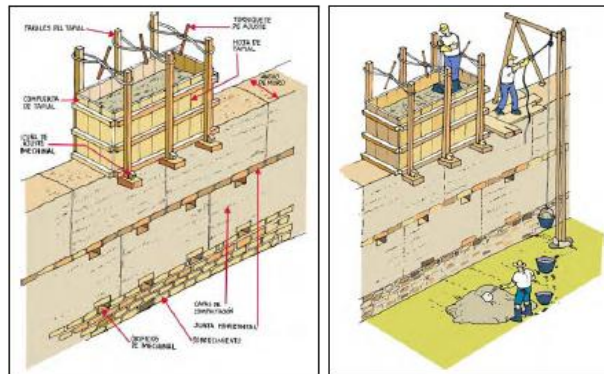


Figura 27: Distintas configuraciones para pisos de construcciones en tapia pisada.

Fuente: AIS, (2004), p. 23



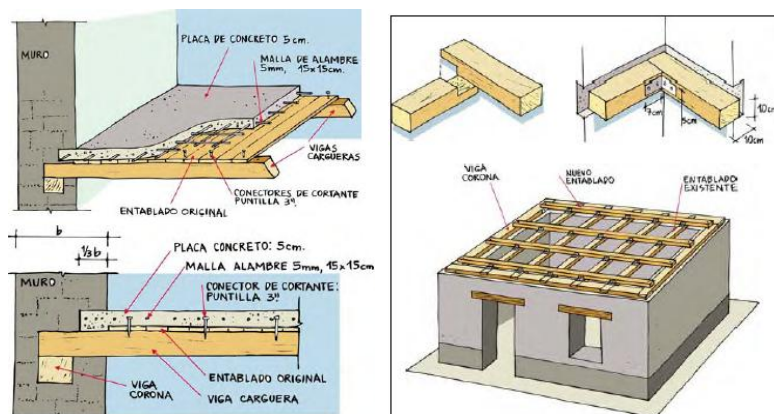
Figuras 28 y 29: Esquema sobre la construcción de una edificación en tapia pisada.

Fuente: AIS, (2004), p. 19

Algunos de los problemas que presentan las edificaciones de tapia pisada y que aumentan su vulnerabilidad, según lo expresado por la ais, pueden ser los siguientes:

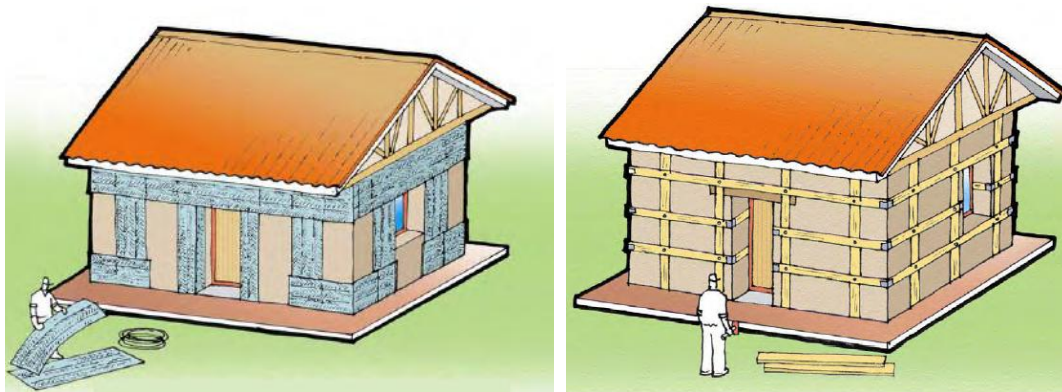
- Uso de sistemas inadecuados de cimentación que se manifiestan en asentamientos diferenciales y que debilitan los muros de tapia pisada.
- Existencia de irregularidades considerables, tanto en planta como en altura, lo que hace menos predecible su comportamiento ante cargas dinámicas.
- Disposición inadecuada de los muros, lo cual genera a veces distribuciones nocivas de la resistencia de la estructura.
- Pérdida de verticalidad en los muros, lo que aumenta las solicitaciones en los mismos debido a efectos de segundo orden.
- Protección indebida contra la humedad, que altera de manera negativa las propiedades de los materiales de los muros.
- Conexión insuficiente o inexistente entre muros, lo cual genera juntas con mal comportamiento y planos de debilidad.
- Recubrimiento insuficiente de los muros, que los hace menos resistentes a la intemperie.
- Ausencia de diafragmas, que impide el comportamiento conjunto de los muros.
- Apoyo incorrecto de la cubierta sobre elementos que llegan al muro, lo cual genera empujes no deseados sobre los mismos.

A pesar del grado de vulnerabilidad que tienen las estructuras de tapia pisada, la ais propone algunas alternativas de intervención para estructuras existentes. Estas intervenciones comprenden, en su mayoría, alternativas para disminuir del peso de algunos elementos de la estructura y de los contenidos, garantizar una acción de diafragma del piso mediante el uso de losetas de concreto reforzado, incorporar vigas de amarre y reforzar mediante mallas de acero o barras de madera.



Figuras 30 y 31: Detalles para garantizar la acción de diafragma mediante la losa.

Fuente: AIS, (2004), pp. 64 y 65



Figuras 32 y 33: Esquemas de refuerzo de vivienda mediante malla y madera.

Fuente: AIS, (2004), pp. 71 y 80

3.2. Algunas consideraciones técnicas para construcciones tradicionales en Japón (Olimpia Niglio)

Los primeros estudios científicos importantes en Japón sobre los terremotos empezaron después el sismo de Nobi (1891). Después la llegada del emperador Meiji, en 1868, empezó un periodo nuevo para el Japón y muchos fueron los contactos culturales, sobre todo con los países más desarrollados de aquella época. En Tokio nació la Universidad Imperial, actual Universidad de Tokio, y a esta llegaron a trabajar muchos profesores extranjeros (principalmente de Inglaterra y Alemania).



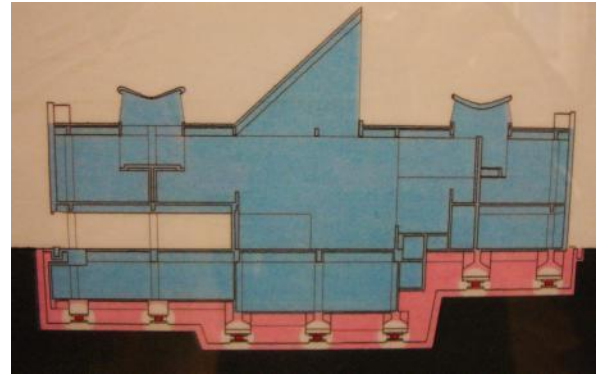
Figura 34: Sismo de Ansei-Edo 1855.

Fuente: National Museum of Japanese History (2003), p.167

Desde 1876 hasta 1895 el geólogo inglés John Milne (1850-1913) trabajó en el Colegio Imperial de Ingeniería (a partir de 1886 llamado Facultad de Ingeniería de la Universidad Imperial de Tokio), bajo la dirección de Henry Dyer y junto a William Edward Ayrton y John Perry. Milne fue el inventor del sismógrafo moderno, diseñado para medir y registrar las vibraciones sísmicas. Milne fue también el primero que analizó los daños del fuerte temblor de Nobi. En este periodo, no existían en Japón normas o lineamientos para proteger la arquitectura de los sismos.

En 1920 se creó una ley para las construcciones, con el fin de reglamentar la gran expansión urbana en el país. Esta ley, sin embargo, no tenía instrucciones explícitas para la protección de las construcciones ante terremotos. Solo después el gran terremoto de Kanto, que destruyó completamente la ciudad de Tokio y sus antiguos monumentos, se generó, en 1924, la primera ley para el reforzamiento de las estructuras y la protección de la arquitectura existente. En el 1950 se promulgaron otras tres leyes importantes: una para definir cómo proteger la vida de las personas y las técnicas apropiadas para realizar estructuras seguras; la segunda para la formación de los arquitectos e ingenieros que proyectasen estructuras; y la tercera para controlar la calidad de las construcciones y de sus materiales. En el mismo año se generó también la primera ley importante para la protección del patrimonio artístico y construido (Enders y Gutschow, 1998). Estas leyes fueron revisadas en 1971 (Emergency Revision of Building Standard Law) y también, después del sismo de Kobe en 1995, mediante la ley del 1998 (Kozak y Cermak, 2010).

Después se realizaron muchos trabajos para la protección de la arquitectura patrimonio antiguo del país y también de la arquitectura moderna de reconocido valor, como el National Western Art Museum (figuras 35 y 36) proyectado por Le Corbusier en 1959 e intervenido para mejorar su capacidad de resistir sismos con un sistema de aislamiento en la base que fue terminado en 1999. Esta misma técnica fue aplicada en la restauración de la Biblioteca Imperial –construida en 1906, y conocida hoy como Biblioteca Internacional de los niños (The International Library of Children's Literature)– proyectada por el arquitecto japonés Tadao Ando, y terminada en 2002 (figura 37).



Figuras 35 y 36: Tokio, National Western Art Museum, proyecto de Le Corbusier (1959). Aislamiento en la base para proteger el edificio (1999).

Fuente: © Olimpia Niglio, abril 2013.



Figura 37: Tokio, The International Library of Children's Literature, proyecto de restauración de Tadao Ando (2002) con aislamiento en la base para proteger el edificio.

Fuente: © Olimpia Niglio, abril 2011.

Estos son solo algunos ejemplos de protección del patrimonio moderno de interés colectivo; algo diferente es la protección e intervención de los templos mediante leyes del Ministerio de Cultura. En este caso se aplican metodologías de intervención que respetan, sobre todo, las técnicas antiguas y es muy poco frecuente que incorporen tecnologías contemporáneas que son aplicadas normalmente en construcciones nuevas. En menos de 100 años el Japón ha logrado adecuar, planear, ejecutar y programar un número muy alto de intervenciones para implementar arquitecturas seguras y compatibles con las características de un territorio con alta sismicidad.

Para la arquitectura residencial en todo Japón, excluyendo las grandes ciudades, se construye hoy en día con estructuras en madera y muros en tierra. Esta es una práctica constructiva muy antigua que las leyes nacionales y locales protegen para preservar la cultura de la construcción tradicional en Japón. En particular en Kioto, que es una ciudad muy grande pero muy tradicional, donde se conserva la cultura más antigua del país y existen muchas *machiya* del siglo XVII (casas tradicionales para vivienda y para el comercio - figuras 38 y 39).

Estas casas antiguas, muy resistentes a los temblores, hoy son protegidas por la municipalidad con un interesante programa de preservación y valorización, dirigido, sobre todo, a las técnicas constructivas, las cuales se aplican también en las casas nuevas de uno y dos pisos. Estas casas hoy constituyen parte integral del patrimonio arquitectónico y del paisaje cultural de la ciudad de Kioto.



Figuras 38 y 39: Kioto, *Machiya*, casas tradicionales en madera y tierra en el centro de la ciudad.

Fuente: © Olimpia Niglio, abril 2013.

4. Conclusiones

Esta investigación comparativa aún en curso entre la Universidad de Ibagué, Colombia, y la Universidad de Kyoto, Japón, ha permitido estudiar un desarrollo interesante de la cultura sísmica en ambos países, especialmente los avances a partir de la segunda mitad del siglo XX.

En Colombia, un poco más que en Japón, hay un interés especial en la comunidad científica por las técnicas de intervención de las construcciones tradicionales en tierra y por las técnicas de construcción para viviendas nuevas en guadua y bahareque encementado. La construcción de edificaciones en tierra (tapia pisada) no es avalada por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (ais) como estructuras a las que fácilmente se les pueda incorporar características sismorresistentes debido a su vulnerabilidad intrínseca; sin embargo, esta entidad establece técnicas para la intervención de estructuras existentes en tapia pisada dado que este tipo de construcciones es muy común en el país y hace parte inseparable del paisaje típico en muchas regiones.

Hay algunos documentos y manuales que presentan de manera explícita las técnicas y metodologías para reducir el riesgo sísmico en la construcción de viviendas nuevas con arquitectura tradicional; sin embargo, aunque la legislación existe y es bien intencionada, no se han generado muchas normas o manuales que definan de manera explícita el modo de intervenir las edificaciones existentes que representen patrimonio arquitectónico. Es muy importante el rol científico de la ais y del Ministerio de Cultura para la protección del patrimonio cultural construido; el primero mediante la expedición y divulgación de normas técnicas para este propósito y el segundo en el ámbito legislativo.

Aunque en la región Pacífica no existen edificaciones tradicionales imponentes y antiguas en madera, las casas típicas en este material representaron, y en algunos casos aún representa, una tradición ancestral. Aunque se debe hacer énfasis en que la forma original de realizan las uniones de las piezas de madera hace que estas construcciones sean altamente vulnerables a los sismos.

Cuando se trata de estructuras de cierta importancia, para no tener que realizar intervenciones intrusivas serias, en Japón, sobre todo en los últimos años del siglo XX y gracias a una fuerte influencia de la cultura de la ingeniería sísmica neozelandesa, se ha hecho énfasis en el estudio de las técnicas de aislamiento sísmico con metodologías avanzadas, las cuales se usan hoy en día solo en edificios nuevos o relativamente nuevos y muy poca atención se da a la aplicación de esta técnica para las construcciones antiguas, sobre todo las edificaciones privadas con el objetivo de la reducción del riesgo sísmico. En Japón, hoy en día, especialmente en viviendas sencillas de uno o dos pisos, se continúa construyendo con estructuras en madera y muros de tierra ya que estas hacen parte de la tradición arquitectónica. Solo en estos últimos años esta antigua técnica se ha empezado a estudiar en los cursos universitarios con el fin de analizar la importancia de una tipología constructiva que tiene realmente un alto valor para la cultura sísmica local.

Mientras que en Colombia es muy común la incorporación de elementos o herramientas tecnológicas en las construcciones nuevas con arquitectura tradicional, en el Japón, por el contrario, se trata de evitar el incluir estos en construcciones pequeñas consideradas patrimonio. En Colombia se hace mayor énfasis en la preservación del aspecto de la construcción y se pueden usar herramientas actuales en la arquitectura tradicional. En Japón se hace énfasis tanto en la preservación del aspecto como en la preservación de la técnica ancestral de construcción, por lo tanto, se procura el uso de herramientas similares a las de la época.

En Colombia existen pocos programas para la conservación de tradiciones constructivas (con excepción de unos pocos relacionados con la tapia pisada) que conduzcan al mantenimiento de técnicas ancestrales. En ambas culturas existen edificaciones tradicionales construidas con la intención de resistir sismos previas al siglo XX (en Colombia, por ejemplo, el bahareque con el estilo temblorero y en Japón construcciones como el Templo de Sanjūsangen-dō en Kioto. En ambos países existen leyes que están dirigidas a la protección del patrimonio arquitectónico; también comparten algunas características comunes (construcciones tradicionales con materiales similares y la alta amenaza sísmica). A pesar de estas similitudes, Japón tiene un mayor apego y respeto por las tradiciones y es una cultura con historia documentada más antigua que la colombiana. Esta primera experiencia en investigación comparativa relacionada con la reducción del riesgo sísmico en la arquitectura tradicional ha sido muy importante para conocer el nivel de profundidad científica y las técnicas de la cultura sísmica local en los dos países, que a pesar de encontrarse muy lejos geográficamente, poseen en común características sísmicas, una cultura constructiva tradicional y el Océano Pacífico que los une, enmarcado por el cinturón de fuego.

Referencias

- AIS, (2001). *Manual de construcción sismo resistente de viviendas en bahareque encementado*. Bogotá. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica y Fondo para la Reconstrucción y Desarrollo Social del Eje Cafetero, FOREC.
- AIS, (2004). *Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada*. Bogotá. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica y Red de Solidaridad Social (Presidencia de la República).
- Arquidiócesis de Tunja (2013). *Parroquia de San Laureano. Pastoral comunitaria*. Recuperado en: <http://www.arquidiocesisdetunja.org/en/pastoral-comunitaria/arciprestazgos/santiago-ap%C3%B3stol/item/26-parroquia-de-san-laureano>
- Quesada, C. (2002). *Una ciudad precavida. Banco Interamericano de Desarrollo*. Recuperado en: <http://www.iadb.org/es/noticias/articulos/2002-03-01/una-ciudad-precavida,8310.html>
- Departamento Nacional de Planeación (2010). *Lineamientos de política para la recuperación de los centros históricos de Colombia*. Consejo Nacional de Política Económica y Social República de Colombia.
- Enders, S. y Gutschow, N. (1998). *Hozon. Architectural and Urban Conservation in Japan*. Stuttgart: Editions Axel Menges.
- Espinosa, A. (2003). La sismicidad histórica en Colombia. *Revista Geográfica Venezolana*, 44 (2) 2003, 271-283.
- Hanazato, T.; Fujita, K.; Sakamoto, I.; Inayama, M.; Ohkura, Y. (2004). *Analysis of Earthquake Resistance of Five-Storeyed Timber Pagoda*. Actas 13th World Conference on Earthquake Engineering, August 1-6. Paper No. 1223. Vancouver, Canada.
- Kozak, J. y Cermak, V. (2010). *The Illustrated History of Natural Disasters*. New York: Springer-Verlag.
- Locher, M. (2010). *Traditional Japanese Architecture. An Exploration of Elements and Forms*. Singapore: Periplus Editions.
- Mejía J. L. (2010). *Política para la gestión, protección y salvaguardia del patrimonio cultural*, En Compendio de políticas culturales, Ministerio de Cultura de Colombia. Recuperado en: <http://www.mincultura.gov.co/ministerio/politicas-culturales/gestion-proteccion-salvaguardia/Paginas/default.aspx>
- Mallol, M. R. y De Recasens, J. (1963). *Estudio comparativo de los niveles de vivienda en Buenaventura y Puerto Colombia*. Bogotá. Instituto Colombiano de Antropología e Historia.
- Mosquera Torres, G. (2010). *Vivienda y arquitectura tradicional en el Pacífico colombiano : patrimonio cultural afrodescendiente : catalogación de tipologías arquitectónicas y urbanísticas propias de la región Pacífica colombiana*. 1. ed. Cali: Universidad del Valle.
- National Museum of Japanese History, Chiba (2003). *Documenting Disaster: Natural Disasters in Japanese History, 1703-2003*. Catálogo de la exposición. Chiba: National Museum of Japanese History.
- Niglio, O. y Kuwakino, K. (2010). *Giappone. Tutela e conservazione di antiche tradizioni*. Pisa: Plus University Press.
- Niglio, O. y Valencia-Mina, W. (2013). *Evolución de la ingeniería sísmica, presente y futuro: Caso Colombia e Italia*. VI Congreso Colombiano de Ingeniería Sísmica, Bucaramanga. UIS, AIS, UPB.
- Parducci, A. (2012). The Involvement of Architecture in Seismic Design. *Actas IV Conferencia Internacional de peligrosidad, riesgo geológico e ingeniería sísmica y de desastres*, 8 al 11 de mayo de 2012. Santiago de Cuba: Universidad de Oriente, Facultad de Construcciones.
- Reynolds, J. M. (2001). Ise Shirne and a Modernist Construction of Japanese Tradition. *The Art Bulletin*, 83 (2), junio, 316-341.
- Saldarriaga Roa A. (2013). *Hábitat rural y vivienda campesina en Colombia*, Premio Corona, Bogotá, Colombia.
- West R. (1957). *The Pacific lowlands of Colombia: a Negroid area of the American tropics*. Louisiana State Univ. Studies, Soc. Sci. Ser. No. 8. Louisiana State University Press, Baton Rouge.
- Young, D. y Young, M. (2004). *Introduction to Japanese Architecture*. Singapore: Periplus Editions.