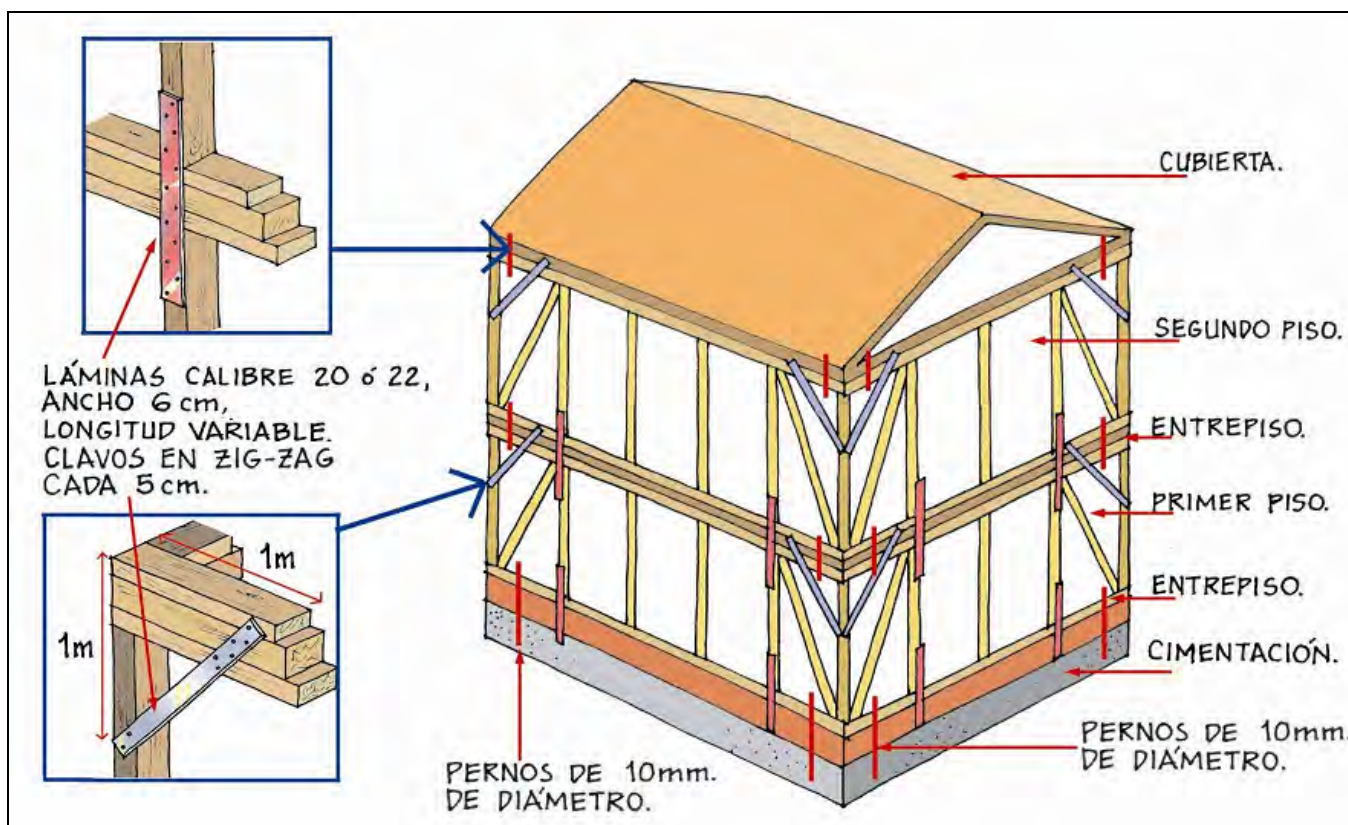


MANUAL DE EVALUACIÓN, REHABILITACIÓN Y REFUERZO DE VIVIENDAS DE BAHAREQUES TRADICIONALES CONSTRUIDAS CON ANTERIORIDAD A LA VIGENCIA DEL DECRETO 052 DE 2002



ASOCIACION COLOMBIANA DE
INGENIERIA SISMICA



PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA
RED DE SOLIDARIDAD SOCIAL



**PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA
RED DE SOLIDARIDAD SOCIAL**

FONDO PARA LA RECONSTRUCCIÓN Y DESARROLLO SOCIAL DEL EJE CAFETERO

***MANUAL DE EVALUACIÓN, REHABILITACIÓN Y REFUERZO
DE VIVIENDAS DE BAHAREQUES TRADICIONALES
CONSTRUIDAS CON ANTERIORIDAD
A LA VIGENCIA DEL DECRETO 052 DE 2002***

Este manual ha sido elaborado por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica - AIS, con el apoyo financiero de la Red de Solidaridad Social de la Presidencia de la República, con recursos del patrimonio autónomo FOREC II del Fondo para la Reconstrucción y Desarrollo Social del Eje Cafetero - FOREC.

RED DE SOLIDARIDAD SOCIAL - PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA

FONDO PARA LA RECONSTRUCCIÓN Y DESARROLLO SOCIAL DEL EJE CAFETERO - FOREC

©ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA - AIS

ais@uniandes.edu.co

<http://www.asosismica.org>

Equipo de trabajo:

Ingeniero Omar Darío Cardona A., Director General

Ingeniero Samuel Darío Prieto R., Director Técnico

Ingeniero Josef Farbiarz F., Director de Estudios Experimentales

Ingeniera Cecilia I. Granada O., Ingeniera Residente

Ingeniero Carlos Mario Gómez A., Coordinador de montajes y ensayos

Ingeniero Luis F. López M., Diseño estructural montaje tridimensional y dirección de construcción.

Ingeniero Juan D. Rodríguez M., Diseño estructural de accesorios metálicos de los montajes.

Arquitecto Gustavo A. Cortés A., Asesoría arquitectónica y en patología del bahareque.

Arquitecta Carolina Castañeda Concha, Dibujos.

Ilustraciones:

Carlos Alberto Gómez F., Hormiga

EJEMPLAR GRATUITO: PROHIBIDA SU VENTA

TABLA DE CONTENIDO

Página

1	INTRODUCCIÓN	1
2	EDIFICACIONES DE BAHAREQUE.....	3
2.1	ANTECEDENTES.....	3
2.2	CLASIFICACIÓN DE EDIFICACIONES DE BAHAREQUE.....	6
2.3	BAHAREQUE DE TIERRA	6
2.3.1	<i>Bahareque de tierra relleno</i>	6
2.3.2	<i>Bahareque de tierra hueco</i>	7
2.4	BAHAREQUE DE TABLA.....	7
2.5	BAHAREQUE METÁLICO	8
2.6	BAHAREQUE ENCEMENTADO	8
2.7	BAHAREQUE CONTEMPORÁNEO	9
3	DEFICIENCIAS DE LAS EDIFICACIONES DE BAHAREQUE TRADICIONAL.....	11
3.1	DEFICIENCIAS GEOMÉTRICAS	11
3.1.1	<i>Irregularidades</i>	11
3.1.2	<i>Cantidad de muros en las dos direcciones</i>	12
3.1.3	<i>Piso débil</i>	13

3.2	DEFICIENCIAS DE MANUFACTURA.....	14
3.2.1	<i>Cimentación.....</i>	14
3.2.2	<i>Entramado del muro.....</i>	18
3.2.3	<i>Recubrimiento de los muros.....</i>	22
3.2.4	<i>Entrepisos.....</i>	25
3.2.5	<i>Cubiertas.....</i>	27
3.2.6	<i>Instalaciones hidro-sanitarias.....</i>	27
3.2.7	<i>Instalaciones eléctricas.....</i>	29
3.2.8	<i>Falta de barreras impermeables.....</i>	30
3.2.9	<i>Aleros cortos.....</i>	31
3.2.10	<i>Falta de recubrimiento.....</i>	32
3.2.11	<i>Ausencia de inmunización.....</i>	33
3.2.12	<i>Guaduas cortadas sin completar su periodo de maduración.....</i>	33
3.3	DEFICIENCIAS ESTRUCTURALES.....	34
3.3.1	<i>Cimentación.....</i>	34
3.3.2	<i>Conexiones entre muros.....</i>	36
3.3.3	<i>Entrepiso.....</i>	36
3.3.4	<i>Entramado de los muros.....</i>	40
3.3.5	<i>Cubierta.....</i>	41
3.3.6	<i>Continuidad vertical.....</i>	42
3.3.7	<i>Interacción con mampostería.....</i>	43
4	DAÑOS EN EDIFICACIONES DE BAHAREQUE TRADICIONAL.....	45
4.1	DAÑOS POR EXPOSICIÓN AMBIENTAL.....	45
4.1.1	<i>Humedades.....</i>	45

4.1.2	<i>Agentes biológicos</i>	47
4.2	DAÑOS POR INESTABILIDAD Y POR LA ACCIÓN DE CARGAS	50
4.2.1	<i>Cimentaciones</i>	50
4.2.2	<i>Muros</i>	55
4.2.3	<i>Entrepiso</i>	59
4.2.4	<i>Cubiertas</i>	61
5	EVALUACIÓN DEL ESTADO DE VIVIENDAS DE BAHAREQUES TRADICIONALES	63
5.1.1	<i>Conservación</i>	63
5.1.2	<i>Seguridad</i>	65
6	REHABILITACIÓN DE VIVIENDAS DE BAHAREQUE TRADICIONAL	67
6.1	NIVELES DE INTERVENCIÓN	68
6.1.1	<i>Reparación</i>	68
6.1.2	<i>Mejoramiento</i>	68
6.1.3	<i>Reestructuración</i>	68
6.2	NIVELES DE SEGURIDAD.....	69
6.2.1	<i>Nivel Alto de Seguridad: Reestructuración</i>	69
6.2.2	<i>Nivel Intermedio de Seguridad: Mejoramiento</i>	69
6.2.3	<i>Nivel de Seguridad Mínimo: Reparación</i>	70
6.3	PROCEDIMIENTOS DE INTERVENCIÓN.....	70
6.3.1	<i>Agrietamiento y pérdida de revoque</i>	74
6.3.2	<i>Desvinculación de muros</i>	77
6.3.3	<i>Daños causados por sismo</i>	80

6.3.4	<i>Colapso de cubierta por afectaciones ambientales.....</i>	82
6.3.5	<i>Colapso de cubierta por falla en los apoyos.....</i>	85
6.3.6	<i>Falla de soportes de madera a cimentación.....</i>	85
6.3.7	<i>Desplazamiento de muros con respecto a la cimentación.....</i>	88
6.3.8	<i>Daños por interacción entre bahareque y otros materiales.....</i>	89
6.3.9	<i>Daños por exposición ambiental.....</i>	90
6.3.10	<i>Daños en cimentaciones en ladera.....</i>	92
6.3.11	<i>Daños por colindancia con estructuras de otros materiales.....</i>	95
7	REFERENCIAS	97

1 Introducción

Antes de la expedición en 1984 de la primera normativa sismorresistente del país, "Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes - Decreto-Ley 1400 de 1984", existía en el país el concepto de que las edificaciones bajas, de cinco pisos o menos, no necesitaban diseño sismorresistente, concepto que fue obviamente desmentido con los temblores ocurridos a finales del año 1979 y en Popayán a principios de 1983.

Las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistentes, NSR-98 (Ley 400 de 1997, y sus decretos reglamentarios), que modernizaron y actualizaron las normas vigentes hasta entonces, incorporaron un aspecto muy importante, común a la expedición de normas sismorresistentes y sus actualizaciones: la evaluación de la vulnerabilidad o daño potencial en caso de terremoto de las edificaciones construidas con anterioridad a la vigencia de la reglamentación, definiendo los criterios con que se deben evaluar las edificaciones existentes para determinar estimar su vulnerabilidad sísmica y fijando las pautas para rehabilitar o reforzar la edificación cuando el grado de vulnerabilidad es inaceptable.

Existe en el país un gran inventario de edificaciones construidas en materiales vernáculos como el adobe y la tapia pisada. En la zona correspondiente al Antiguo Caldas, predomina el bahareque en diversas modalidades. Las cimentaciones son generalmente superficiales en piedra y concreto ciclópeo, concreto reforzado o combinadas en ciclópeo y concreto reforzado, pedestales en ladrillo o bloque, conformando pocas veces vigas de amarre. Este tipo de edificaciones en general no incluyen elementos de refuerzo ni consideraciones de diseño sismorresistente. A las anteriores edificaciones deben sumarse una gran cantidad de edificaciones de mayor escala como son iglesias, edificaciones institucionales, conventos, colegios o escuelas, y otro tipo de construcciones que por sus características imponen mayores exigencias sobre el mismo tipo de construcción.

Para adelantar evaluaciones analíticas y experimentales con el fin de establecer un diagnóstico de competencia sismorresistente de las mencionadas tipologías constructivas tradicionales en Colombia y elaborar propuesta útiles

para su reparación e intervención preventiva, el FOREC y la AIS acordaron llevar a cabo los estudios pertinentes. Estos estudios permitieron caracterizar estos sistemas constructivos y obtener la información necesaria acerca de sus elementos y ensambles estructurales, con el fin de analizar su vulnerabilidad y los ensayos experimentales correspondientes para proponer técnicas de refuerzo y rehabilitación de edificaciones existentes de bahareque tradicional que no cumplen con lo establecido en el Capítulo E.7 de las NSR-98.

Este manual es una guía técnica idónea útil para los propietarios de edificaciones de bahareque tradicional que decidan intervenirlas a raíz de daños por agentes ambientales (como humedad, insectos y otros), cargas de servicio (como el peso propio, carga normal de los usuarios y sus muebles y accesorios), movimientos sísmicos u otro fenómeno, sea natural o causado por el hombre, cuyos efectos sobre la estructura así lo amerite.

Es importante advertir que este manual no ha sido concebido para la construcción de viviendas nuevas ni para la ampliación de viviendas existentes. Por lo tanto, en cualquier caso, su contenido debe entenderse como una serie de recomendaciones técnicas idóneas para la reparación, mejoramiento o reestructuración de viviendas existentes, tal como aquí se definen, y no como una normativa legal para la intervención de estructuras. La AIS no se hace responsable por los resultados de la aplicación incorrecta de las recomendaciones aquí contenidas; en consecuencia, confía que su utilización se realice con la asesoría de un ingeniero civil o un arquitecto competente.

Estos estudios se convierten en una herramienta fundamental para la adecuada supervivencia del patrimonio arquitectónico y cultural construido con los materiales ancestrales característicos en el territorio nacional y la consecuente disminución del riesgo que afecta a sus propietarios y usuarios.

Omar Darío Cardona Arboleda
Presidente
ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA

2 Edificaciones de bahareque

2.1 Antecedentes

El bahareque, denominación genérica de la construcción, por extensión de la denominación de los muros, es un compuesto de madera, guadua, rellenos de tierra y recubrimientos diversos: pañete de cagajón y tierra, pañete de mortero de cemento, tablas o láminas metálicas.

El bahareque existente es, en general, un conjunto de muros vinculados entre sí por exigencia constructiva, en planta, que no presenta continuidad en altura, aunque es frecuente que aparezcan alineados en los diferentes niveles, por exigencia predominante de la atención de las cargas verticales de peso propio y ocupación.

El sistema estructural genérico consiste en la superposición de los diferentes cuerpos o componentes, sin vinculación decisiva entre ellos: cimentación, entresuelo del primer piso, muros de primer piso, entrepiso en madera del segundo piso, muros de segundo piso, cubierta, en sucesión ascendente. Es decir, el sistema carece de anclajes o conexiones estructuralmente eficaces entre los cuerpos enumerados. Las conexiones entre cuerpos superpuestos, cuando existen, obedecen a las demandas impuestas por las cargas verticales de peso propio y ocupación.

Sin embargo, su relativo bajo peso y la flexibilidad de sus muros afincó, históricamente, la preferencia de los pobladores de la ruta cultural del café por este sistema, frente a las frágiles tapias de tierra pisada, sustituidas mayormente con ocasión de su ruina por efectos sísmicos.

Pese a ser, fundamentalmente, un sistema estructural de muros, la evolución arquitectónica basada en el conocimiento empírico del comportamiento de los materiales constitutivos, condujo al uso de fachadas con profusión de vanos. Principalmente, gracias al extenso uso de las maderas nativas (diferentes a la guadua) de altas calidades y abundante disponibilidad y al bajo peso relativo de los muros de los pisos superiores frente a su antecesor la tapia de tierra pisada.

Las cubiertas, casi exclusivamente de tejas de barro, se apoyan sobre un artesonado de techo de muy diversa calidad constructiva y estructural dependiendo, principalmente, de la disponibilidad de materiales (madera y guadua) y de la capacidad económica de sus propietarios. En general, la preocupación de los constructores se circunscribía al soporte del peso de las tejas y su transmisión vertical a los muros, cuidando la geometría impuesta por las necesidades de cobertura y evacuación de la lluvia, en concordancia con las formas tradicionales de la planta de la construcción. La estructuración de cubierta no obedece, pues, a la forma estructural de la cercha o cuchillo en el sentido de la mecánica racional. Es, más bien, una imitación descuidada de aquel modelo, siendo suficiente que mantuvieran el peso de las tejas y cumplieran con la geometría dictada por la planta y el efecto de la lluvia.

Pruebas de laboratorio, tanto de referencias de terceros como las incluidas en las dos fases de este proyecto¹, dan cuenta de la capacidad sismorresistente de los muros de bahareque, siendo mejor el comportamiento de los tipos de bahareque elaborados con mayor composición de maderas densas y los recubiertos con mallas metálicas y morteros de cemento, sobre esterilla. Quedaba por corroborar el comportamiento sismorresistente de estos muros, sin el soporte de esterilla de guadua, aplicando el mortero de cemento sobre malla metálica clavada directamente sobre el armazón de madera y guadua o de sólo guadua.

La vulnerabilidad asociada con la estructuración, es decir, con la manera como los muros se conectan entre sí y con los demás componentes de la construcción, ofrece aún dudas razonables que ilustraron el diseño de los experimentos de esta segunda fase.

La observación de casos de construcciones de bahareque afectadas por el terremoto de enero 25 de 1999 permite particularizar como principales los siguientes factores de vulnerabilidad estructural:

- ✓ Deficiencias de cimentación, de diverso tipo, asociadas con la estabilidad del terreno pendiente, en unos casos y, mayormente, con la precariedad o franca insuficiencia de los sistemas utilizados para transmitir las cargas al

¹ Estudio de vulnerabilidad sísmica, rehabilitación y refuerzo de casas de bahareque, tapia pisada y adobe. Realizado por la AIS para el FOREC y la Red de Solidaridad Social, Presidencia de la Republica, con recursos del patrimonio autónomo FOREC II.

suelo. De nuevo, la mínima preocupación del constructor se satisface con la transmisión de las cargas verticales. Adolecen, en general, de falta de anclaje en el terreno, escasa continuidad, y del uso de materiales frágiles, como la mampostería de piedra y ladrillo no reforzada.

- ✓ La combinación del bahareque con tapias de tierra, como sobrecimientos o primeros pisos, subsiste aún en construcciones patrimoniales, aunque no se practica en construcciones más recientes. Su papel es similar al de las mamposterías sin refuerzo y su propia vulnerabilidad es materia de tratamiento extenso en un volumen aparte del informe del presente proyecto.
- ✓ Deficiente canalización de aguas residuales, negras y de lluvias, fomentando su infiltración en el suelo.
- ✓ Combinación de diferentes materiales y sistemas en las estructuras portantes, como columnas de concreto, de adobe y de madera, conectas con deficiencia al diafragma de entrepiso, o las fachadas de mampostería (con o sin refuerzo), sobrepuesta a la construcción de bahareque, sin conexión efectiva alguna.
- ✓ Escasa o nula conexión de la estructura de cubierta con los muros que la soportan, competente para preservar la integridad de la cubierta misma y el acople de los muros. La estructuración misma de la cubierta ofrece dudas razonables que debieran resolverse en los estudios y las recomendaciones de la segunda fase del proyecto.

El caso particular del bahareque utilizado en barrios de invasión, corresponde a una modalidad recursiva y recurrente en el poblamiento informal de zonas urbanas marginales. Es en realidad una solución temporal, por antonomasia, que tiende a consolidarse mediante un proceso de metamorfosis, con la sustitución progresiva de los muros originales de guadua y esterilla en mampostería simple o escasamente reforzada, dando lugar a un híbrido de materiales y “tecnologías” que hacen de la edificación una construcción muy vulnerable

La precariedad y carencia de tecnología en su construcción sitúan esta tipología por fuera del interés de los estudios que se desarrollaron en el presente proyecto.

2.2 Clasificación de edificaciones de bahareque

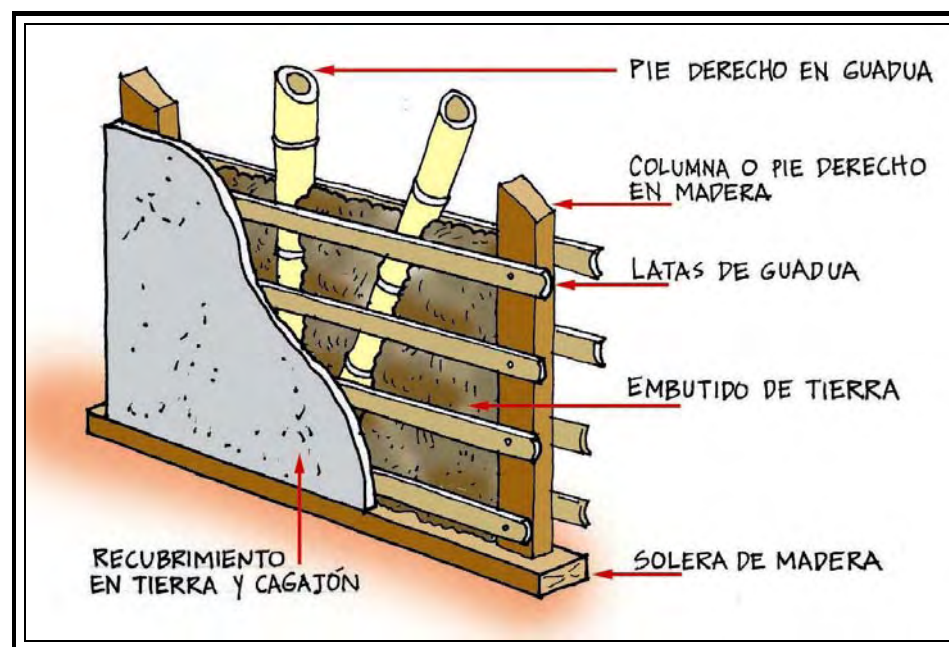
Las viviendas de bahareque pueden clasificarse en tipos diferentes dependiendo del tipo de recubrimiento que tengan los muros, como tierra, madera, metal, o mortero de cemento. Adicionalmente, se diferencia el bahareque tradicional, no reconocido por las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistentes, NSR-98 (Ley 400 de 1997, y sus decretos reglamentarios), y el bahareque contemporáneo, cuyo recubrimiento incluye esterilla, o malla venada, y mortero de cemento. De esta manera, los tipos más comunes de bahareque se listan a continuación:

2.3 Bahareque de tierra

El bahareque de tierra es un sistema de entramados de madera aserrada y guadua o solo de guadua, que utilizan barro como material complementario. Existen dos variedades de este tipo de bahareque: relleno y hueco:

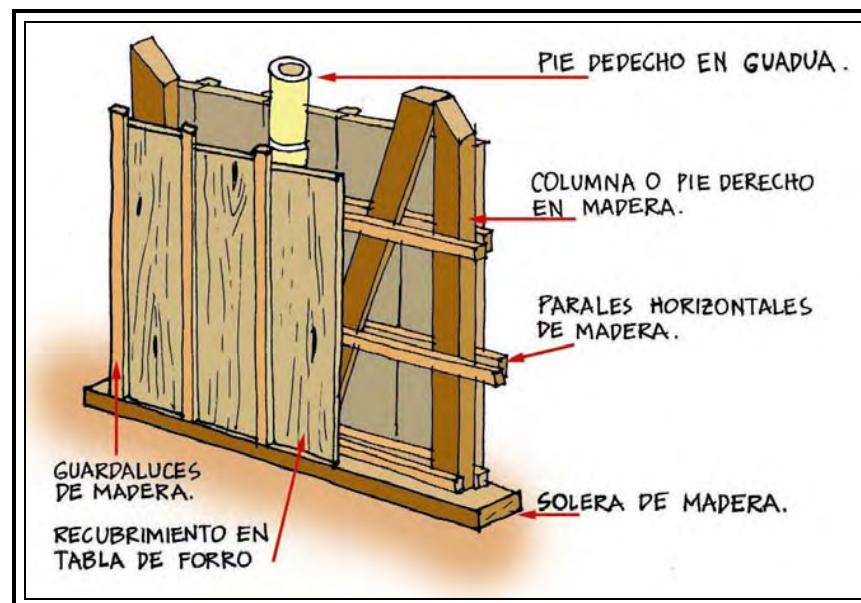
2.3.1 Bahareque de tierra relleno

Este sistema, además del entramado de madera aserrada y guadua o solo de guadua, tiene un relleno de tierra sostenido por latas de guadua y con un recubrimiento con base en cagajón de caballo, tierra y cal.



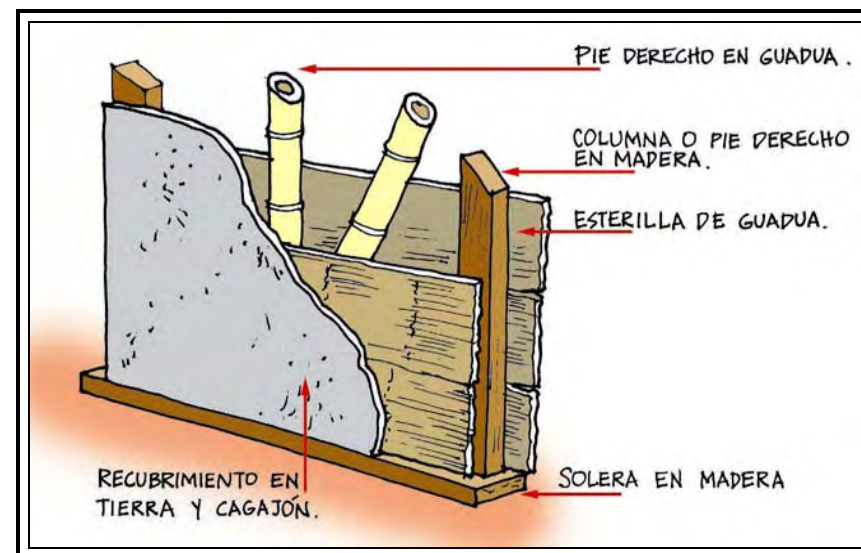
2.3.2 Bahareque de tierra hueco

El bahareque de tierra hueco es una evolución del bahareque de tierra relleno, en el que se elimina el relleno de tierra y se cambian las latas de guadua del soporte por la esterilla, probablemente resultado de la evidencia del efecto pernicioso de la masa del relleno durante eventos sísmicos, especialmente, en pisos altos. El recubrimiento de los muros sigue siendo una mezcla de cagajón de caballo, tierra y cal.



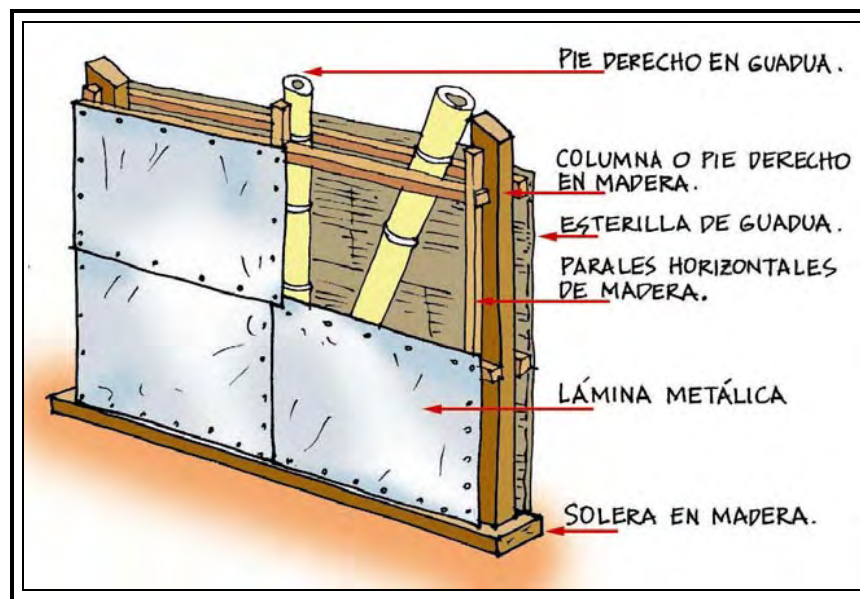
2.4 Bahareque de tabla

Este bahareque está conformado por entramados de madera aserrada y guadua, su recubrimiento se hace con tablas de madera, por lo general dispuestas de forma vertical.



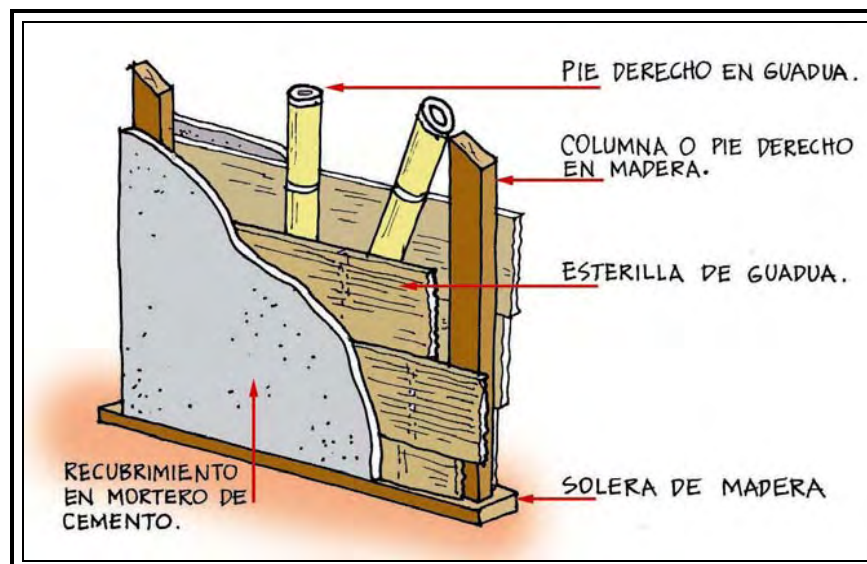
2.5 Bahareque metálico

Este Sistema esta conformado por entramados de madera y guadua con recubrimiento conformado por láminas metálicas. Generalmente, este recubrimiento se utiliza en fachadas, por lo que el muro tiene un lado recubierto con metal y el otro con alguno de los otros tipos de bahareque.



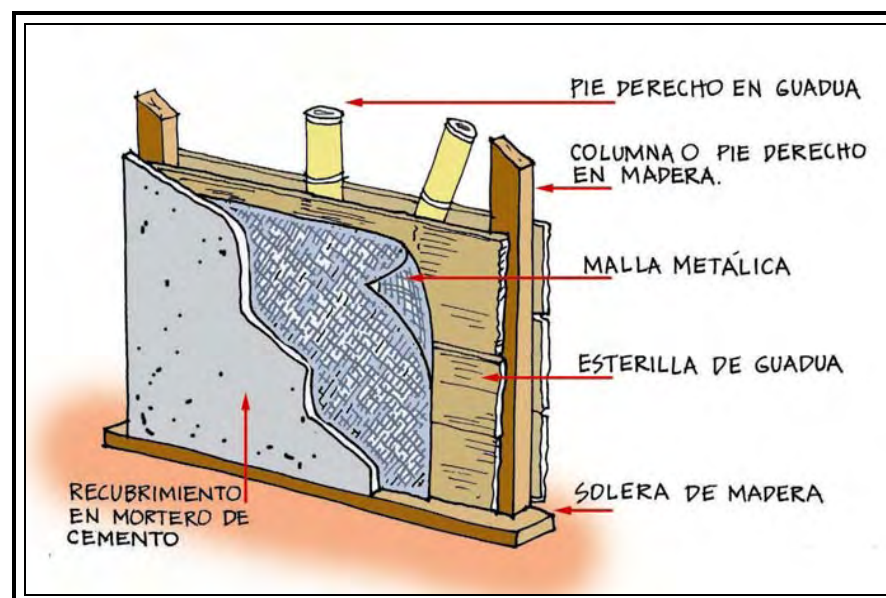
2.6 Bahareque encementado

El bahareque encementado, quizá el sistema más avanzado dentro de la familia de los bahareques tradicionales, está compuesto por entramados de madera y guadua o sólo de guadua, forrados con esterilla de guadua, sobre la cual se aplica un mortero de cemento y arena.



2.7 Bahareque contemporáneo

Bahareque contemporáneo se refiere al bahareque de construcciones nuevas, legalmente amparadas con permiso de construcción, por oficinas de planeación o curadurías, que, por ende, se debe construir como lo estipula La NRS-98 en su capítulo E.7. Basado en los mismos principios que el bahareque encementado tradicional, debe conformarse con base en una serie de requerimientos mínimos que garantizan un mejor sistema de cimentación y una excelente continuidad vertical y horizontal entre sus elementos, de manera que tenga una capacidad sismorresistente que permita su construcción en cualquier zona, independientemente de su grado de amenaza sísmica.



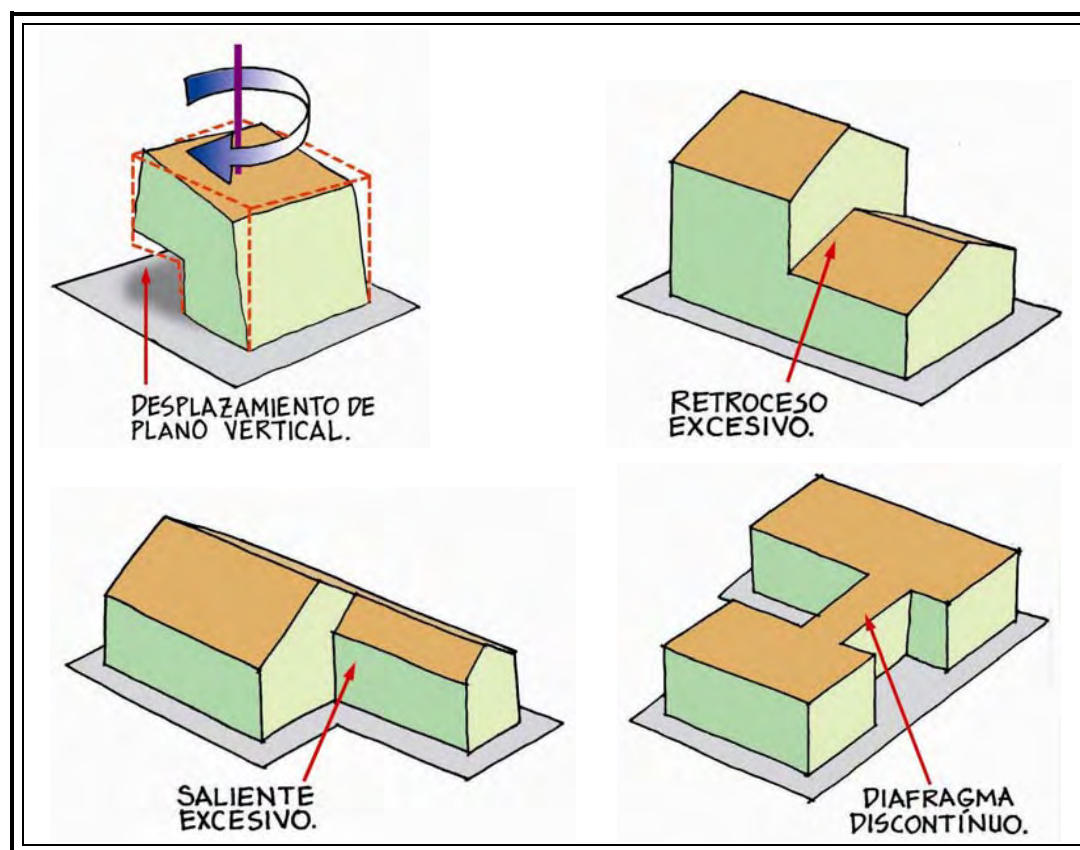
3 Deficiencias de las edificaciones de bahareque tradicional

Las deficiencias que presenta una edificación cualquiera pueden clasificarse, según su naturaleza, en geométricas, de manufactura, por exposición ambiental y estructurales.

3.1 Deficiencias geométricas

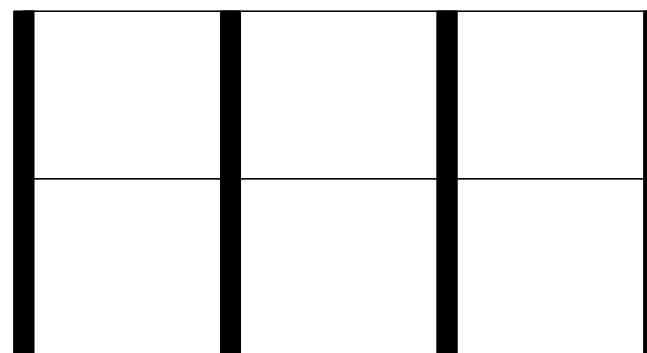
3.1.1 Irregularidades

Una configuración arquitectónica que adolece de irregularidades, tanto en planta como en altura, puede resultar en vulnerabilidades importantes ante fuerzas sísmicas, por la posibilidad de concentración de tensiones en sitios de cambios bruscos de rigidez, aparición de torsiones globales por irregularidad en la distribución de masas y de rigideces, etc.

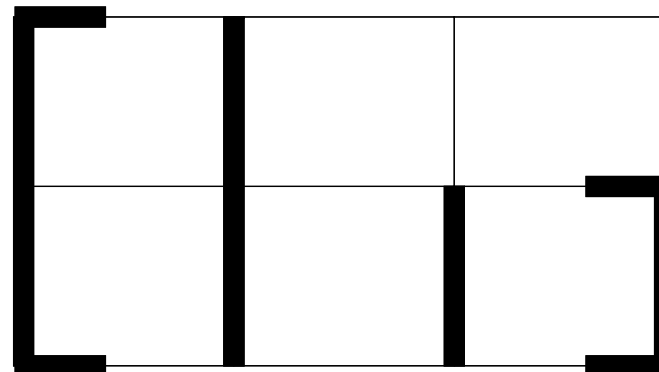


3.1.2 Cantidad de muros en las dos direcciones

Para que una edificación no experimente efectos nocivos de torsión global, debe tener un número significativo de muros, homogéneamente distribuidos en planta, en ambas direcciones. Distribución asimétrica de o ausencia de muros en una dirección, resulta en disminución de la seguridad de la edificación.



AUSENCIA DE MUROS EN UNA DIRECCIÓN



DISTRIBUCIÓN ASIMÉTRICA DE MUROS

3.1.3 Piso débil

Una distribución asimétrica de muros en la altura puede resultar en un piso inferior con menos muros que otro superior, lo que constituye un piso débil. Ante cargas laterales significativas, el piso débil puede colapsar.

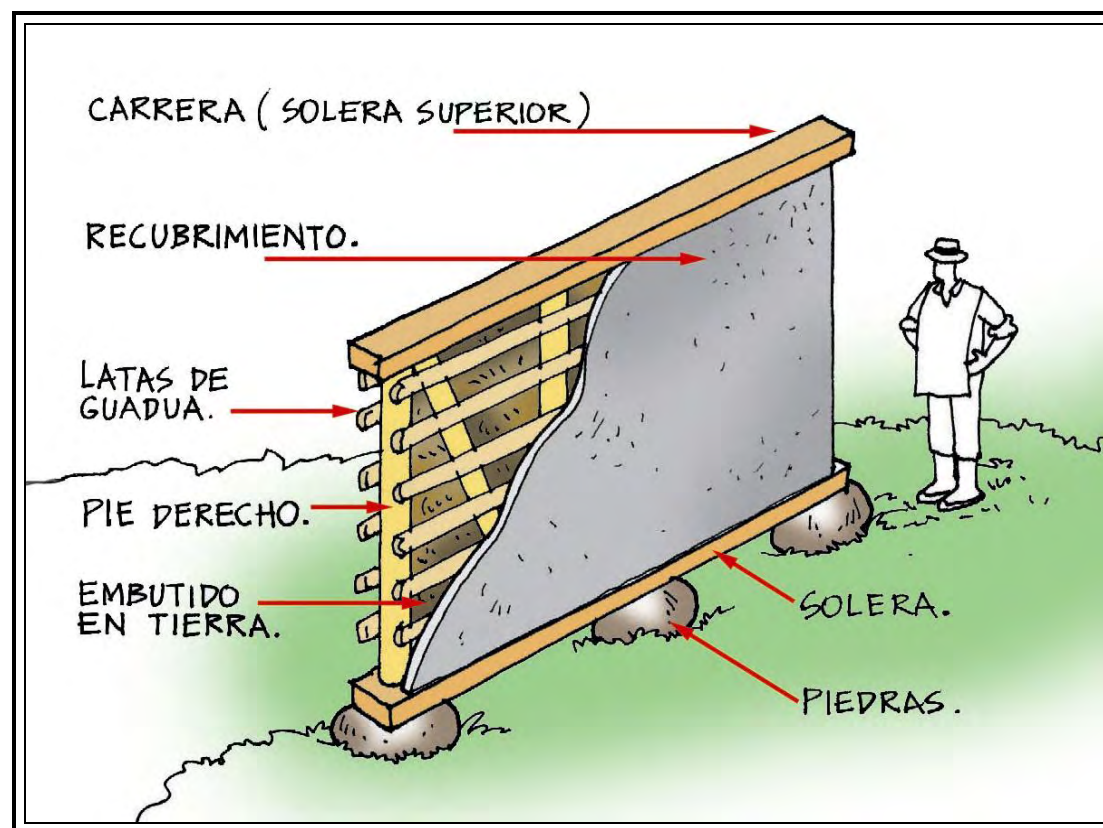


Colapso de edificación por piso débil

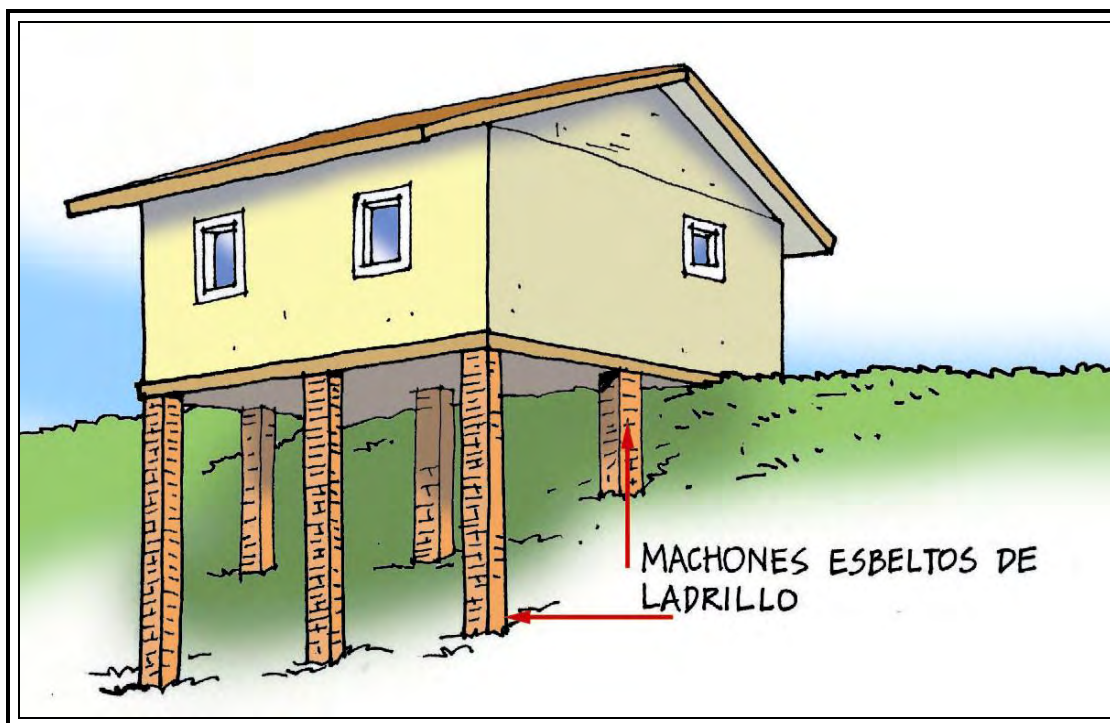
3.2 Deficiencias de manufactura

3.2.1 Cimentación

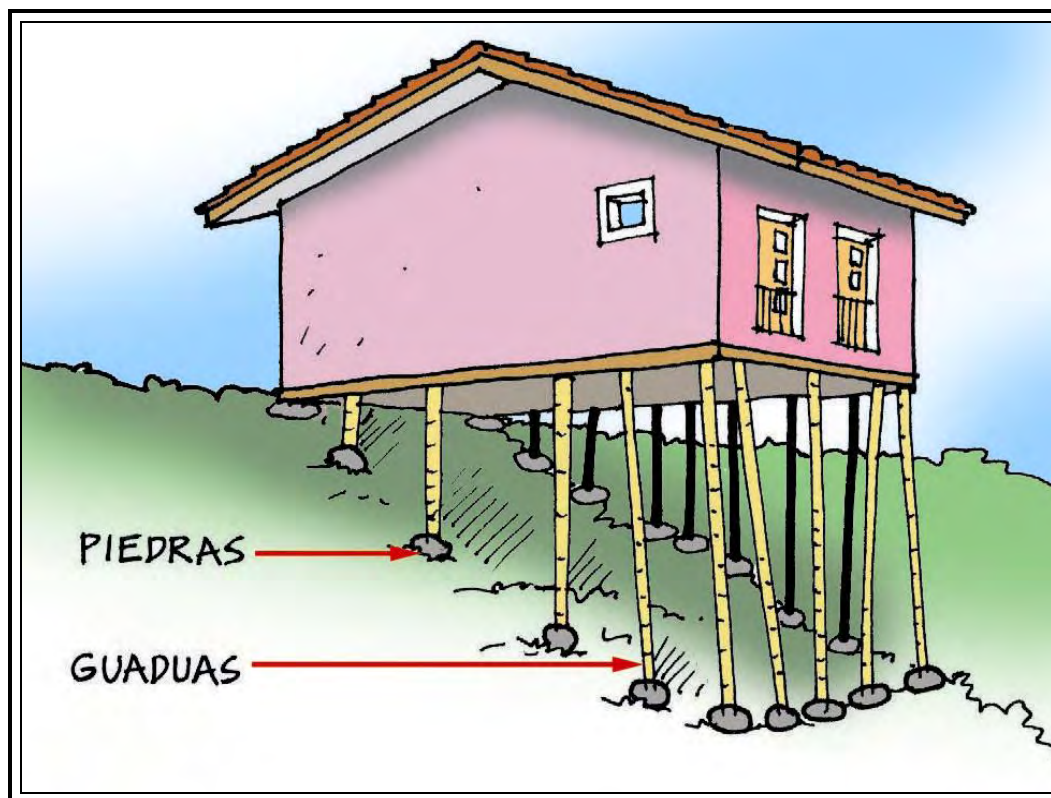
Cimentaciones de piedra sobre terreno: Este tipo de cimentación es muy común en las viviendas rurales. Su inestabilidad hace que cualquier punto de la casa pueda perder apoyo con facilidad.



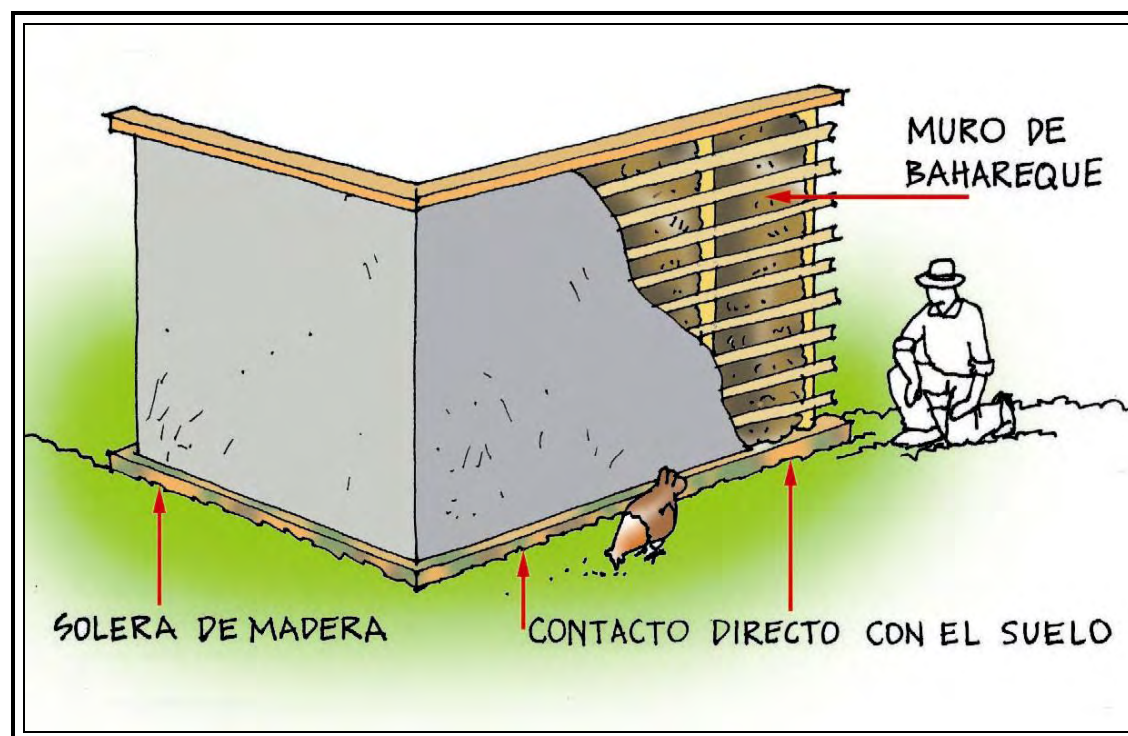
Pilares (machones) de ladrillo: En la construcción de viviendas de bahareque en ladera es muy común encontrar este tipo de elementos para resolver la diferencia de nivel; en algunos casos estos machones son muy esbeltos alcanzando alturas superiores a los cuatro metros lo que aumenta dramáticamente su inseguridad.



Entramados de guadua: Este sistema también se utiliza para resolver desniveles en la construcción en ladera. Consiste en un montón de guaduas dispuestas sin ningún orden ni arriostamiento, que por lo general sostienen la vigas cargueras del entramado de piso, apoyadas en el terreno por medio de piedras; el sistema es inestable ante cargas horizontales.

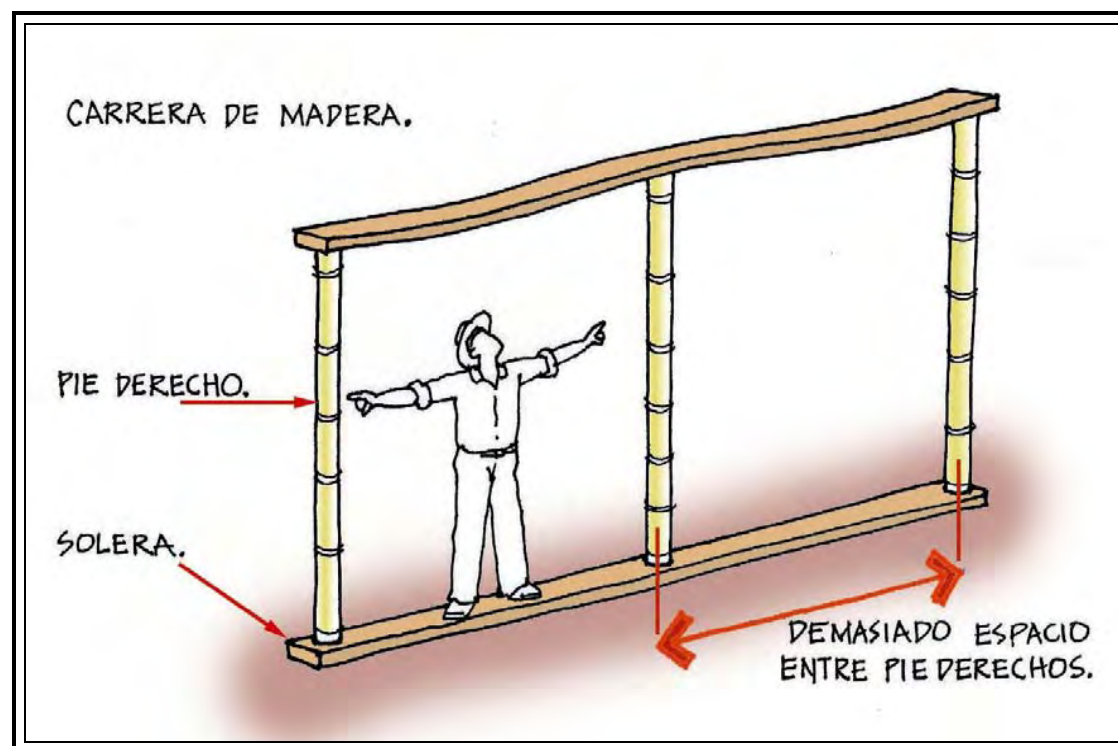


Ausencia de cimentación: En algunos casos las viviendas no tienen ningún sistema de cimentación, las cargas se transmiten al suelo directamente por los elementos de madera del diafragma de entrepiso o de los muros.

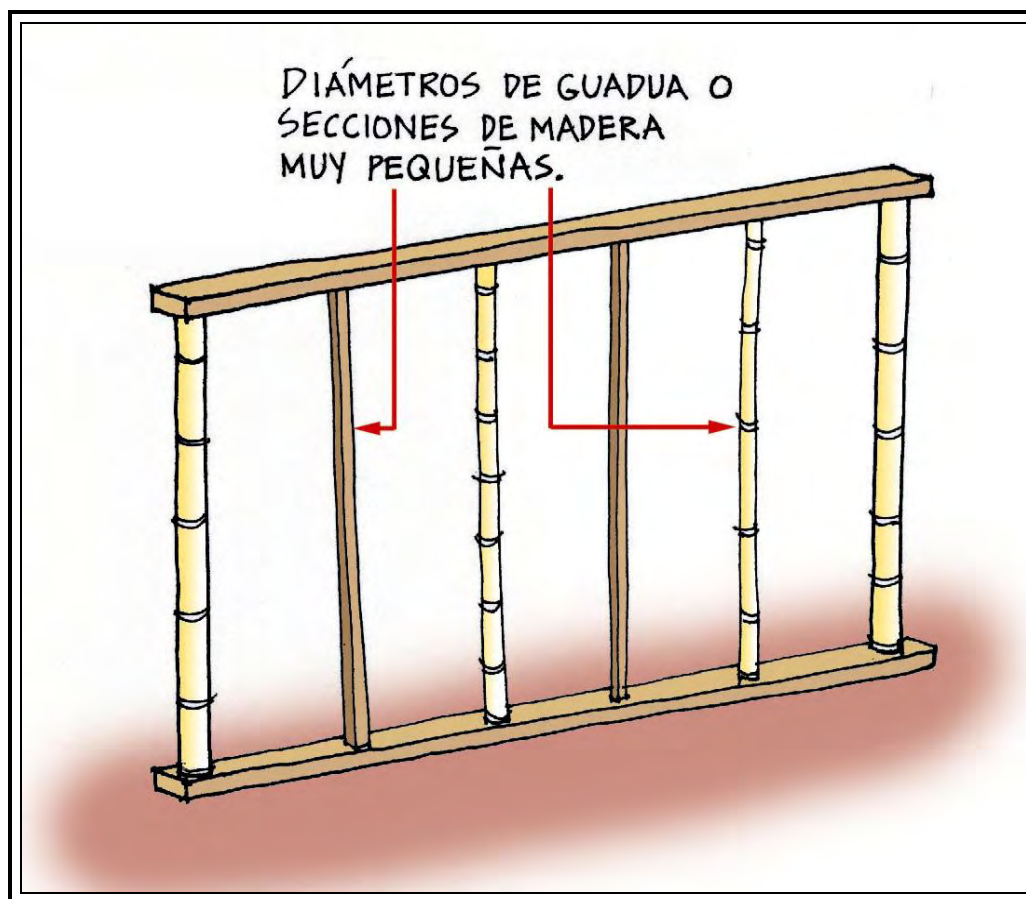


3.2.2 Entramado del muro

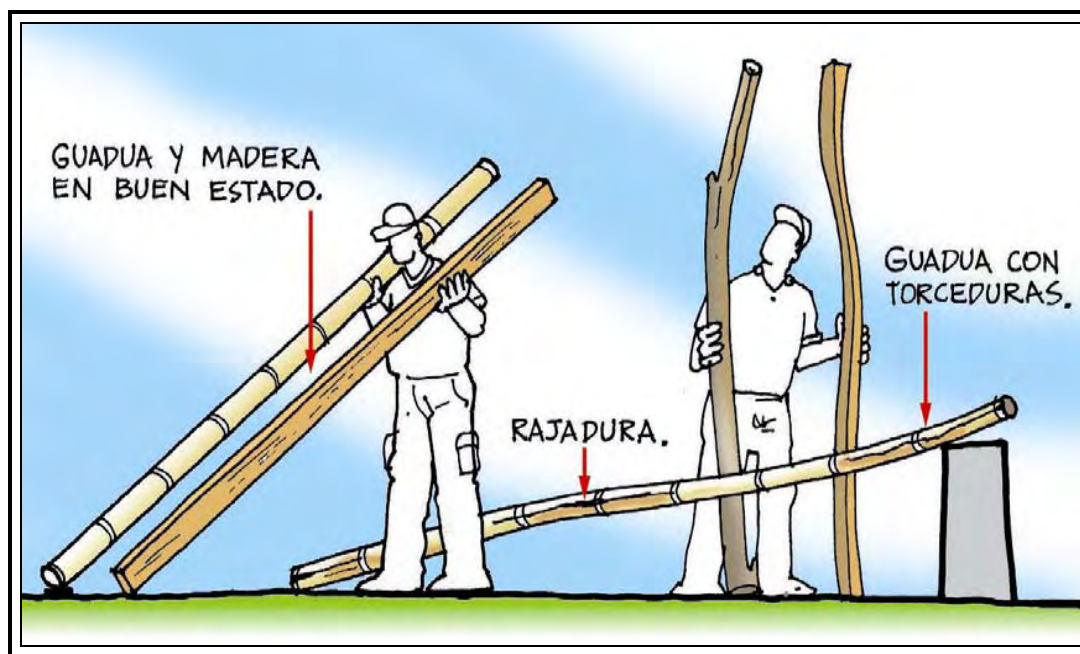
Espacio excesivo entre pie-derechos: El exagerado espacio entre pie-derechos afecta el correcto funcionamiento de los muros de bahareque pues pueden presentarse flexiones en las soleras superiores.



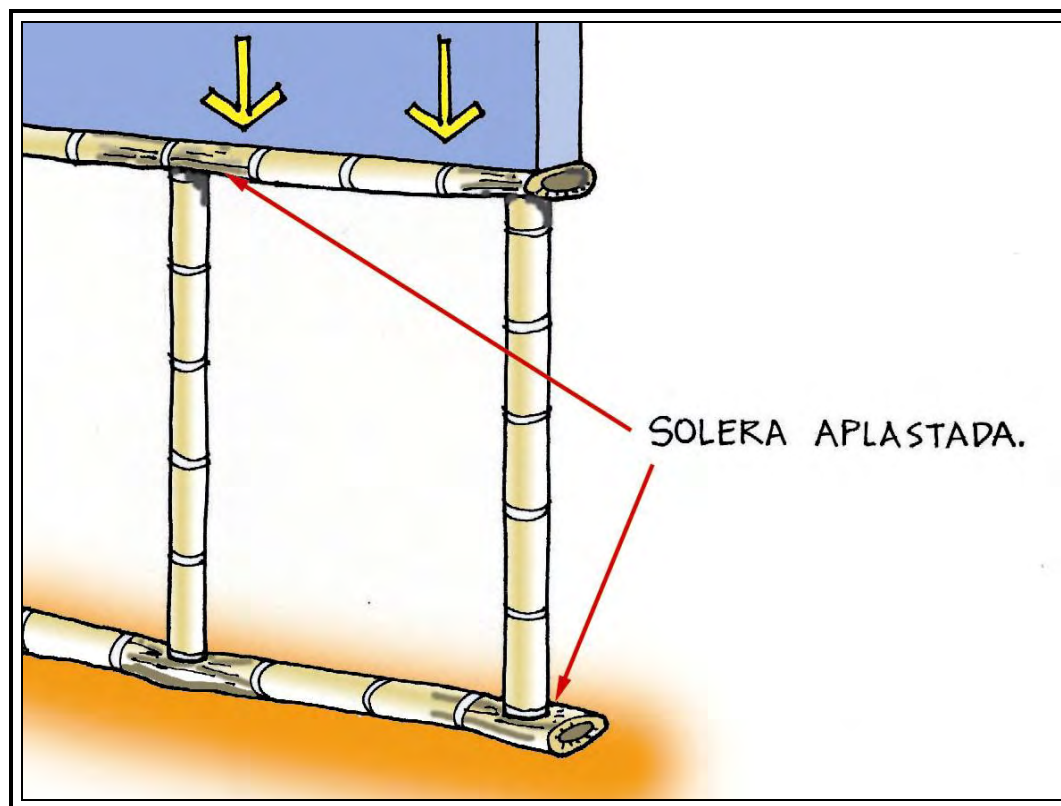
Diámetros de guadua o secciones de madera muy pequeñas: La utilización de guaduas y maderas con secciones pequeñas pueden ser insuficientes para transmitir la carga impuesta y generar sobreesfuerzos en los materiales que causen fallas locales, principalmente de pandeo.



Imperfecciones en la madera y guadua: Las imperfecciones como nudos, corteza, rajaduras, en la madera, y torceduras, rajaduras, perforaciones por insectos, en la guadua pueden generar un debilitamiento de la estructura.

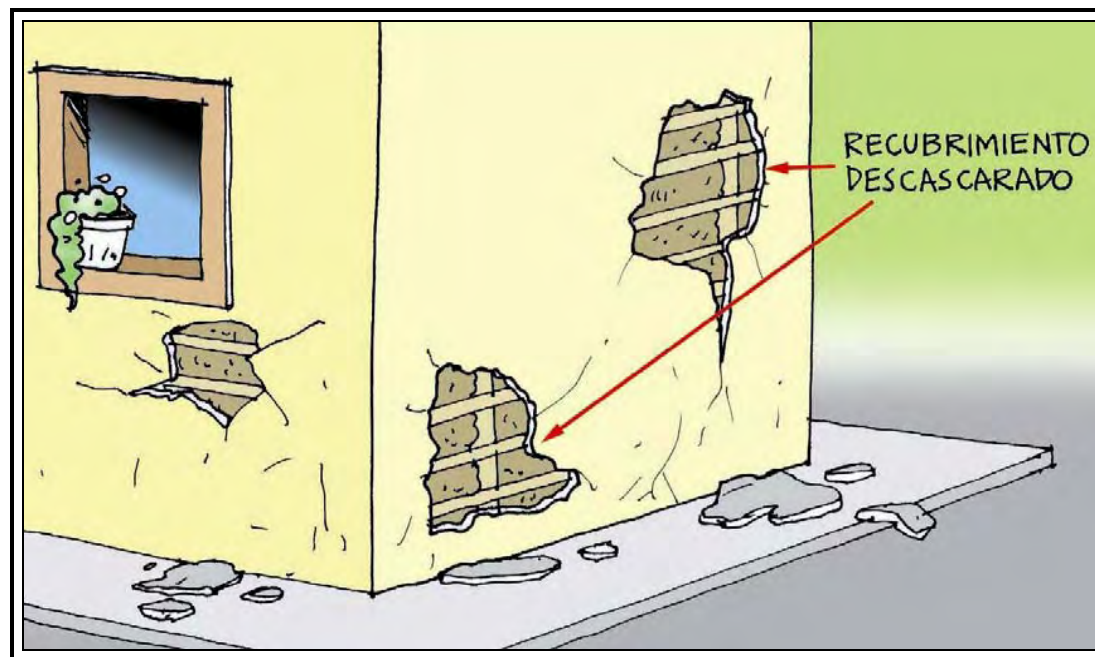


Soleras y carreras de guadua aplastadas: Cuando se utilizan elementos de guadua en las soleras y carreras es muy común que se presenten aplastamientos de su sección transversal, aún así se hayan rellenado los cañutos con mortero.



3.2.3 Recubrimiento de los muros

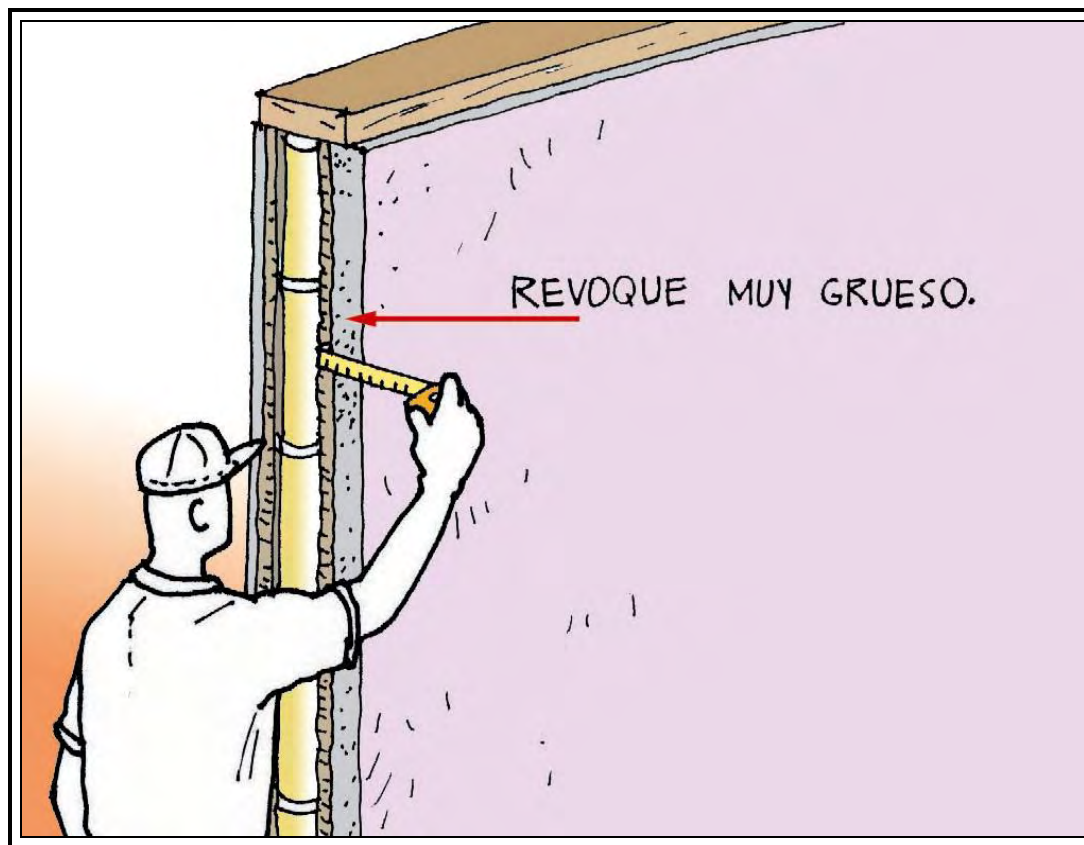
Recubrimientos de cagajón con poco contenido de cal:
Cuando los recubrimientos de cagajón tienen muy poco contenido de cal, tienden a descascararse con facilidad.



Recubrimientos de mortero con poco contenido de cemento: Similarmente, cuando los morteros tienen muy poca cantidad de material cementante tienden a desmoronarse con facilidad.



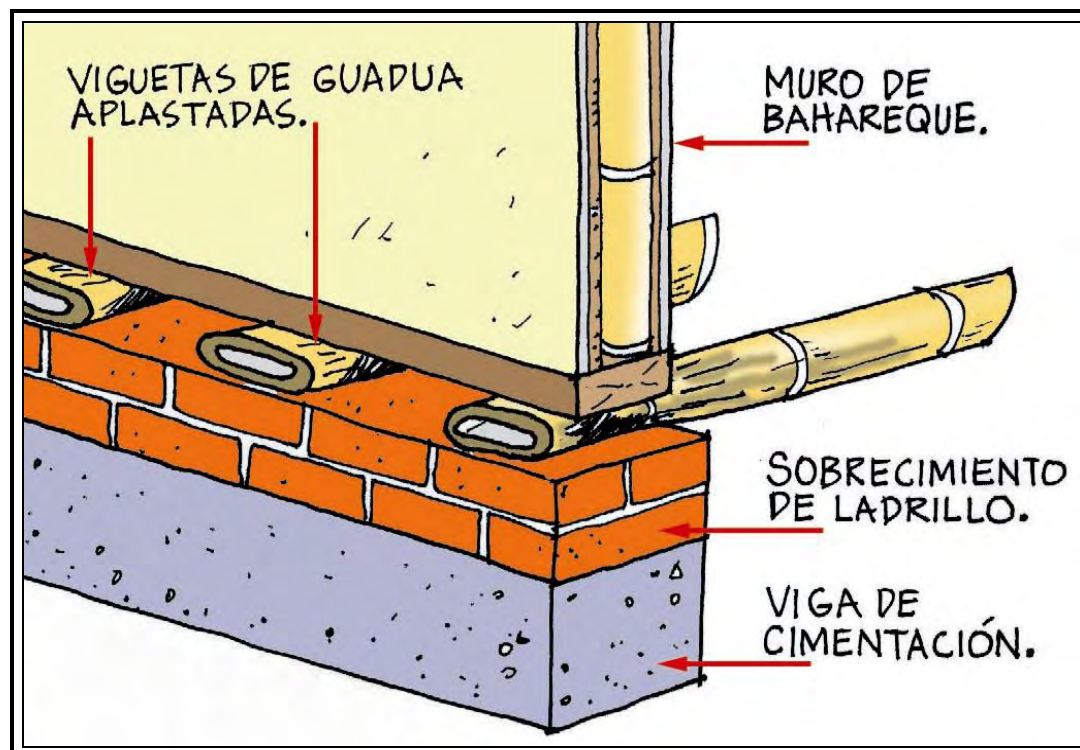
Revoques de cemento demasiado gruesos : Una de las virtudes del sistema estructural de bahareque encementado es su bajo peso, pero cuando este tiene recubrimientos con más de 20 mm de espesor se le está aportando masa en exceso y, por consiguiente, también se aumenta la exigencia ante fuerzas horizontales. Además, el exceso de espesor no contribuye efectivamente al trabajo estructural del muro.



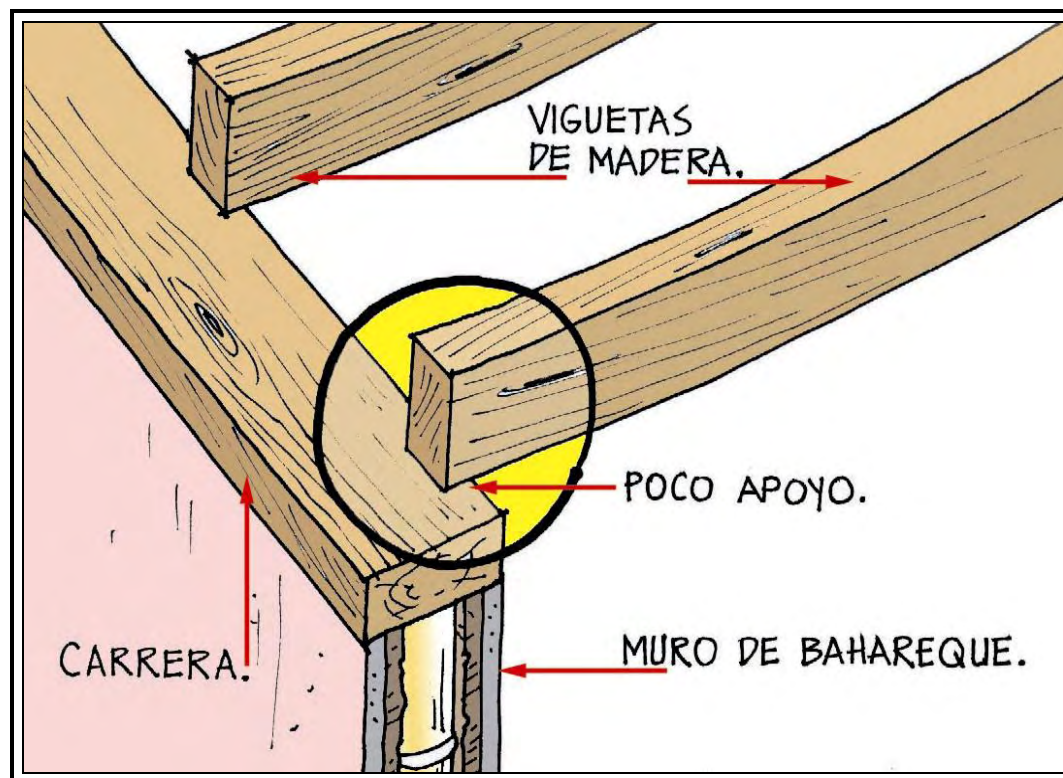
3.2.4 Entrepisos

Aplastamiento de guaduas:

Cuando los sistemas de entrepiso se estructuran con viguetas de guadua, la carga transversal a los cañutos termina por aplastar la guadua, aún si se rellenan los cañutos con mortero.



Insuficiente superficie de apoyo de las viguetas de entrepiso: Cuando el sistema de entrepiso no tiene la suficiente superficie de apoyo las deformaciones de la estructura ante cargas horizontales importantes pueden ocasionar la pérdida de sustentación y el colapso parcial o total de la edificación.



Poca o nula ventilación de entrepisos: Esta deficiencia de manufactura en la edificación permite daños de tipo ambiental pues la falta de ventilación puede hacer producir la condensación del vapor de agua ocasionando la pudrición de los elementos del entrepiso.

3.2.5 Cubiertas

Poca o nula ventilación del sistema de cubierta: Por lo general en las construcciones de bahareque tradicional el entramado de cubierta no tenía una buena ventilación razón por la cual el vapor de agua tiende a condensarse entre el cielo-raso y la cubierta en teja de barro, produciendo la pudrición y posterior debilitamiento de todo el sistema.

Problemas de apoyo de la cubierta en los muros: La falta de amarre entre la cubierta y sus apoyos, así como área insuficiente de apoyo, puede resultar en inestabilidad del sistema.

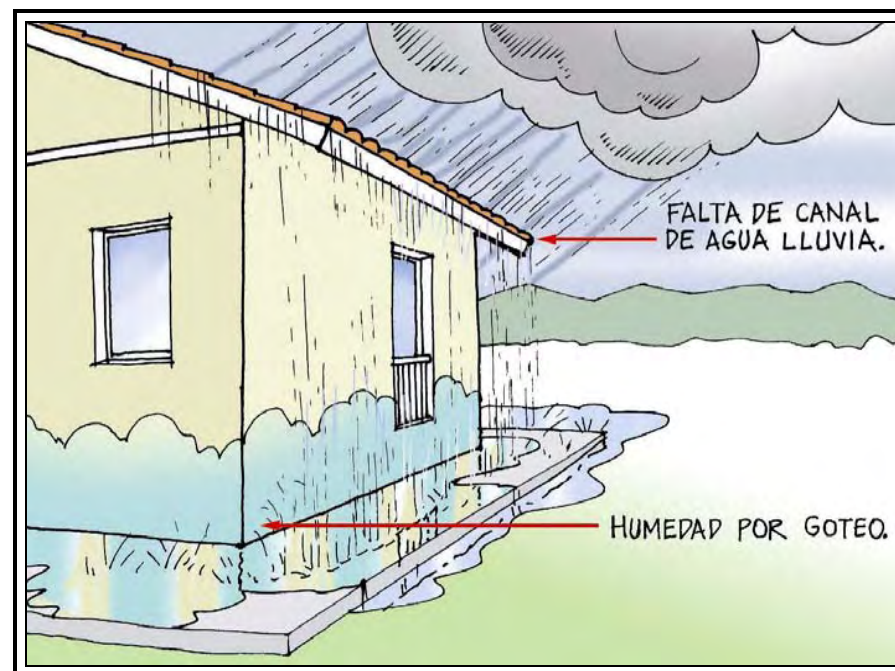
3.2.6 Instalaciones hidro-sanitarias

La colocación y el funcionamiento de las instalaciones hidráulicas y sanitarias en las construcciones de bahareque tradicional, la mayoría de las veces no fueron planeadas previamente de acuerdo con la distribución arquitectónica particular de cada edificación. Generalmente, la inserción de las redes hidrosanitarias y eléctricas era una de las actividades finales de la obra, o, inclusive, la construcción predata su uso. Adicionalmente, los materiales para tuberías disponibles por la época (arcilla, mortero, hierro colado, o acero galvanizadas) no garantizaban sellamientos herméticos, debido en gran parte a los pocos accesorios de los cuales se disponía; esto obligaba en muchos casos a empalmes con tubos de diferente material. Estas y otras limitaciones, como la corrosión o erosión de los materiales de baja calidad, aceleran su desgaste, ocasionando humedades por goteos y filtraciones en los componentes de la edificación.

De manera similar, para la recolección de las aguas lluvias (cuando se hacía), normalmente se utilizaban canales y bajantes de lámina galvanizada (latón) con uniones soldadas in situ, susceptibles a la oxidación; debido a su ubicación en la edificación (aleros y paredes) se convierten en uno de las fuentes más frecuentes de humedad en los bahareques.

Las tuberías subterráneas generalmente se construían con tubos de arcilla con juntas de mortero de cemento, materiales frágiles que no impedían las filtraciones. Al producirse los escapes de fluidos (aguas negras y aguas lluvias) el terreno se impregna y sobresatura, convirtiéndose en fuente de humedad para los cimientos, sobrecimientos y zócalos de los muros.

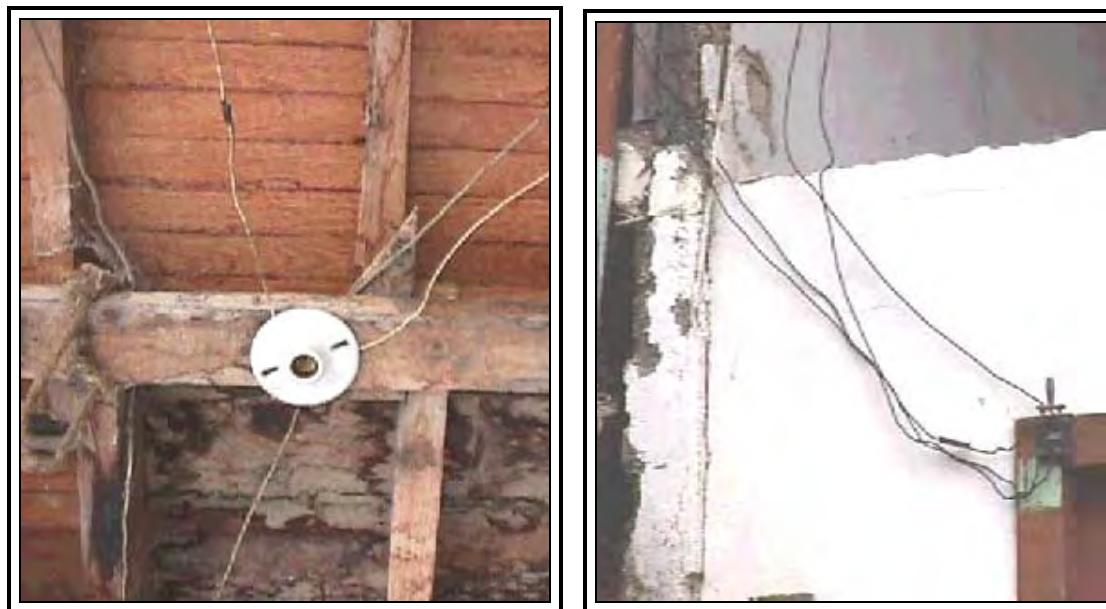
Cuando las edificaciones de bahareque se encuentran en terreno pendiente y las aguas lluvias no están canalizadas, puede incrementarse el grado de inestabilidad de la ladera por aguas de infiltración y de escorrentía.



3.2.7 Instalaciones eléctricas

Las principales deficiencias de manufactura de las instalaciones eléctricas se enumeran en los siguientes puntos:

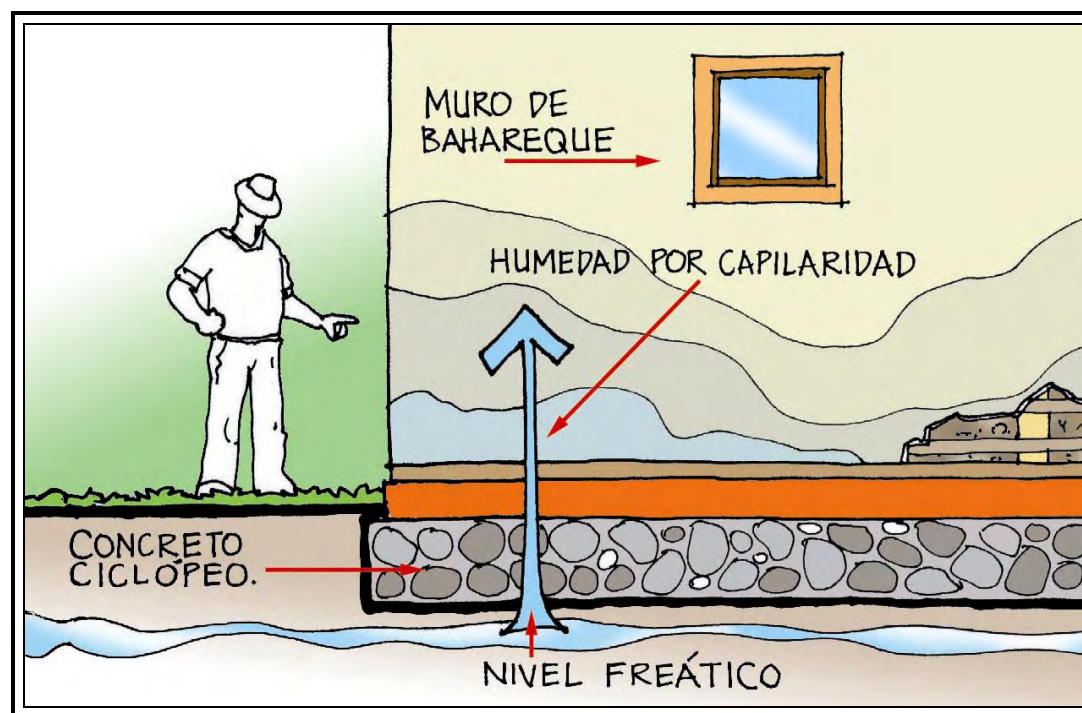
- ✓ Distribución no planificada de la red (ausencia de diseño eléctrico),
- ✓ cableado superficial de la red (ausencia de ductos de conducción),
- ✓ cables o alambres mal empalmados,
- ✓ circuitos sobrecargados,
- ✓ accesorios eléctricos sobrepuestos (tomacorrientes, interruptores y lámparas).



Cables a la vista, con empalmes inseguros.

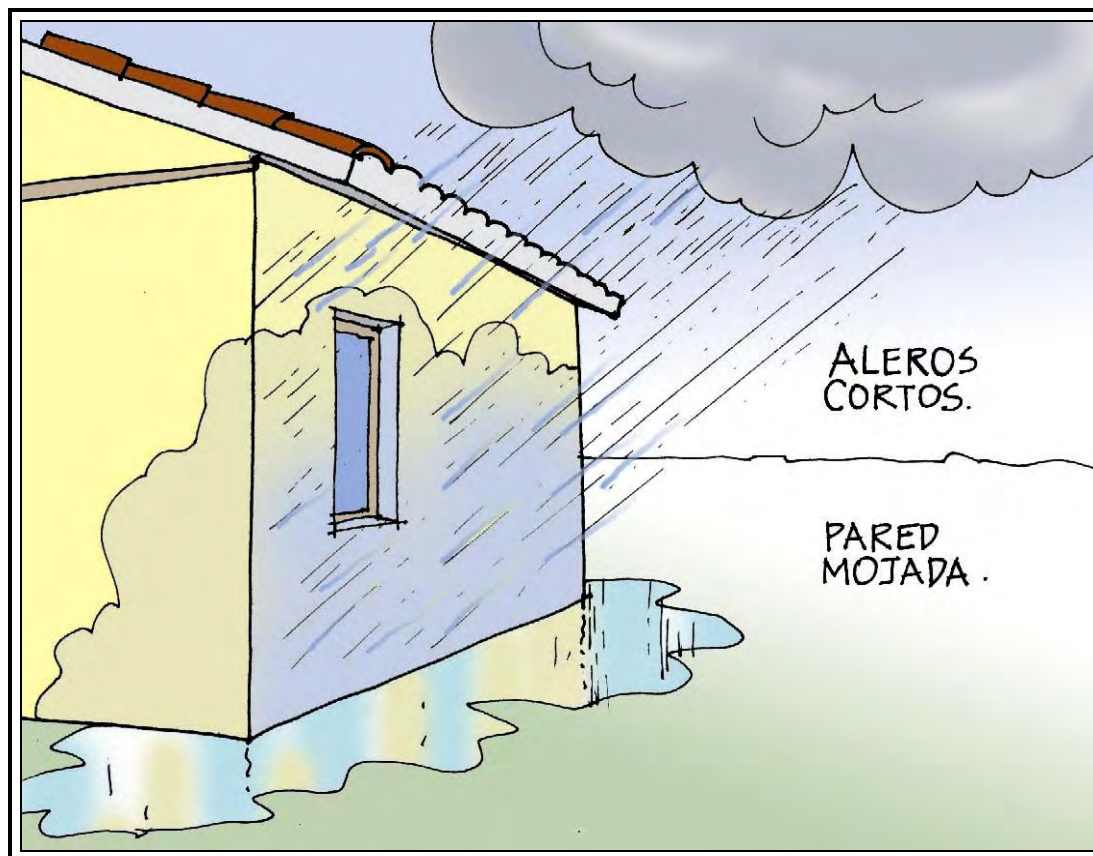
3.2.8 Falta de barreras impermeables

Si no se instalan barreras impermeables entre concretos, morteros y rellenos de tierra y el bahareque, la humedad contenida en estos materiales puede migrar hacia el bahareque. Así mismo, la humedad puede permear por capilaridad desde la cimentación.



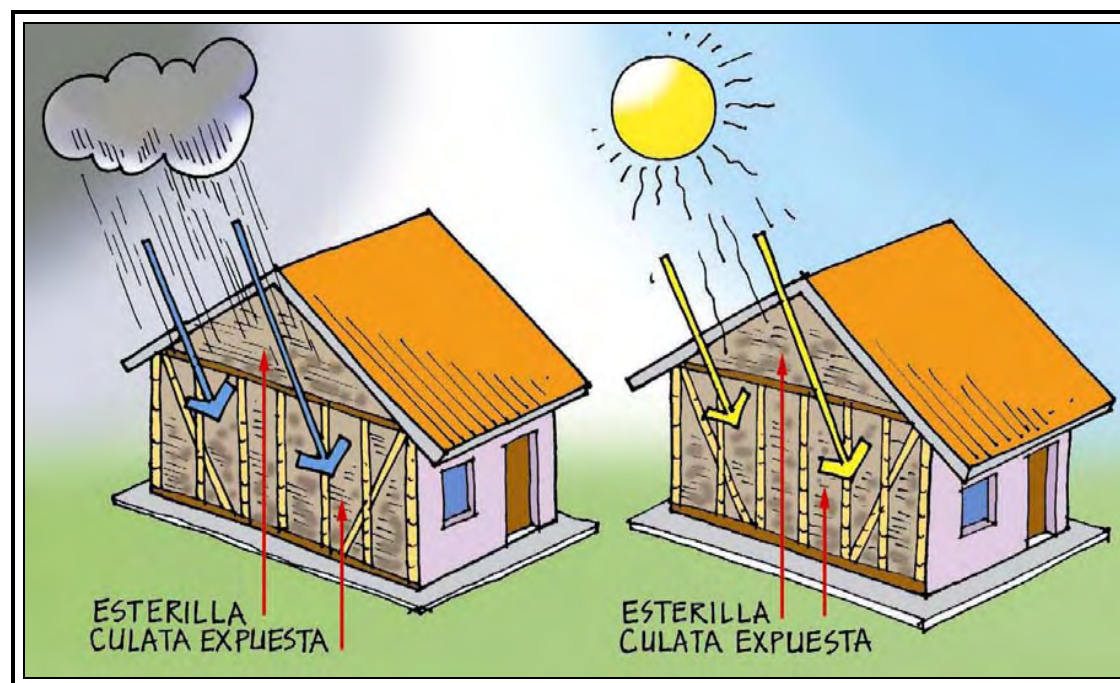
3.2.9 Aleros cortos

La falta de aleros es una fuente obvia de humedad en los muros.



3.2.10 Falta de recubrimiento

Por lo general se presenta en las culatas laterales de la edificación y expone la estructura a una fuente sustancial de humedad y rayos solares.

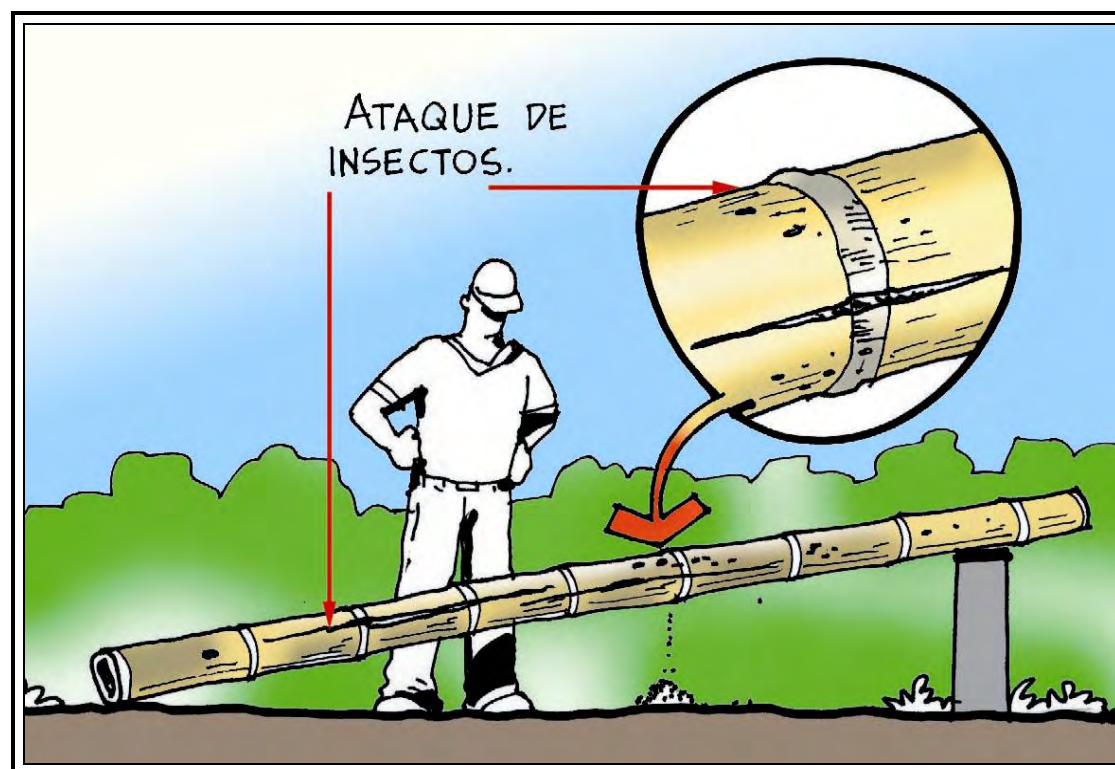


3.2.11 Ausencia de inmunización

La falta de protección con inmunizantes en la construcción y la utilización de maderas y guaduas con contenidos de humedad por encima del 20 % exponen la estructura a la humedad y a los insectos.

3.2.12 Guaduas cortadas sin completar su periodo de maduración

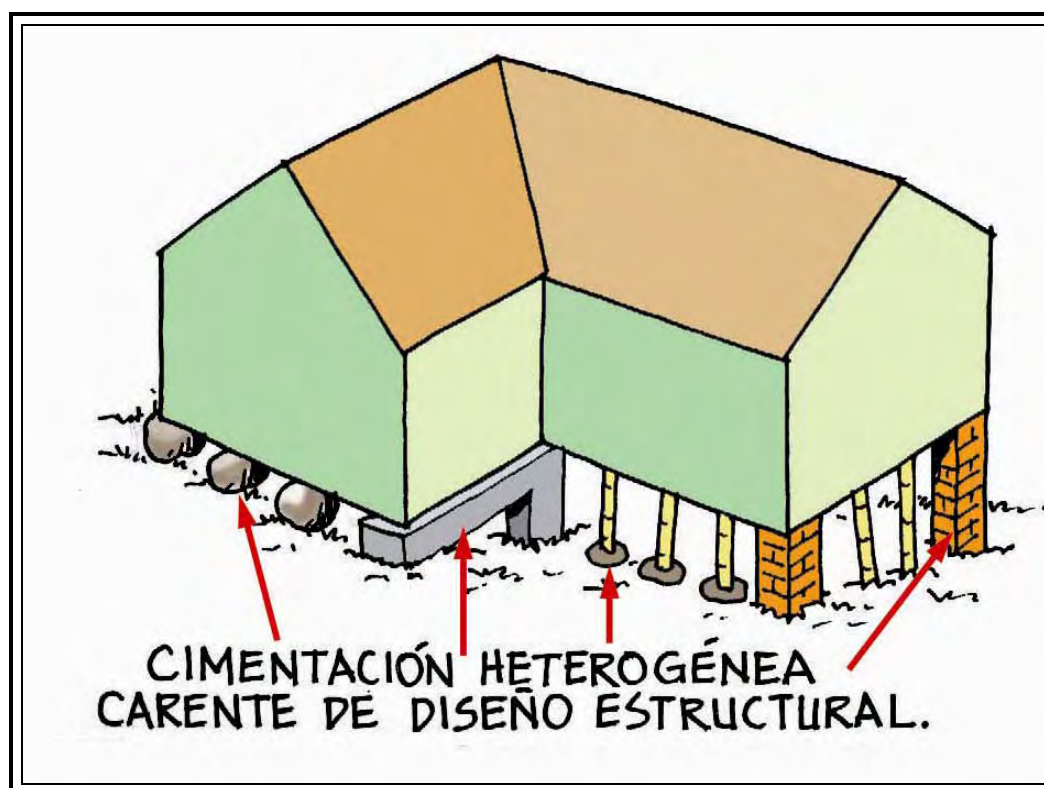
Las guaduas que no han alcanzado una edad mínima de cuatro a cinco años son más susceptibles a sufrir ataques de insectos que guaduas de mayor edad.



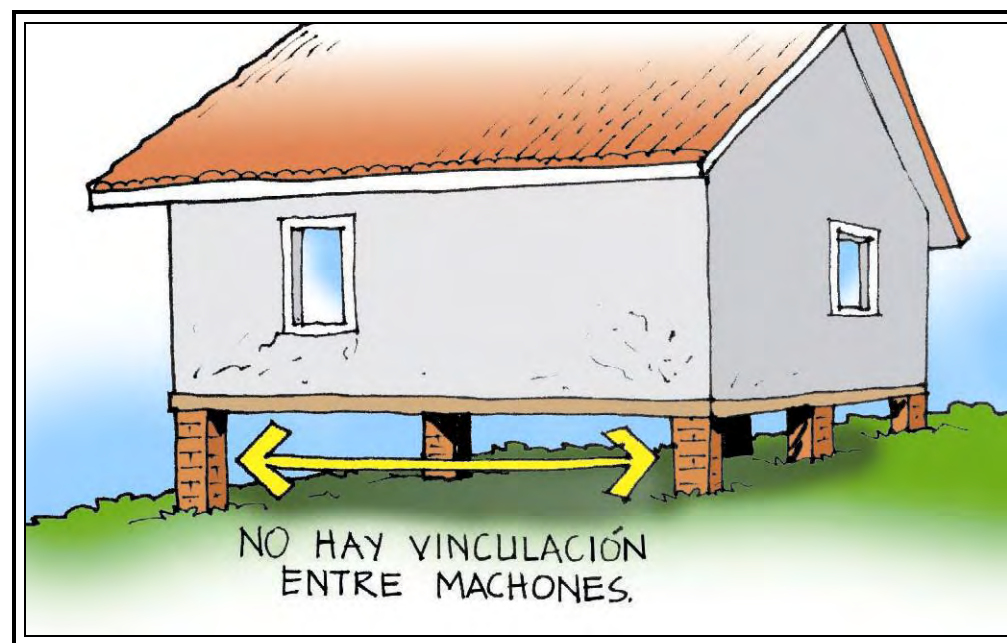
3.3 Deficiencias estructurales

3.3.1 Cimentación

Ausencia de sistema de cimentación: Como ya se anotó, muchas viviendas de bahareque tradicional carecen de un sistema de cimentación. Además, aún así lo tengan, en muchas ocasiones, el sistema de cimentación es precario o incidental, no planeado racionalmente, careciendo de vigas de cimentación continua, o de diafragma definido. Es común que la cimentación sea heterogénea, mezclando piedras con machones y vigas de concreto ciclópeo.



Machones de ladrillo o concreto sin ninguna vinculación entre si: En las viviendas cimentadas sobre machones de ladrillo o de concreto, es común que no exista arriostamiento alguno contra movimiento lateral del sistema ocasionando inestabilidad ante fuerzas horizontales.

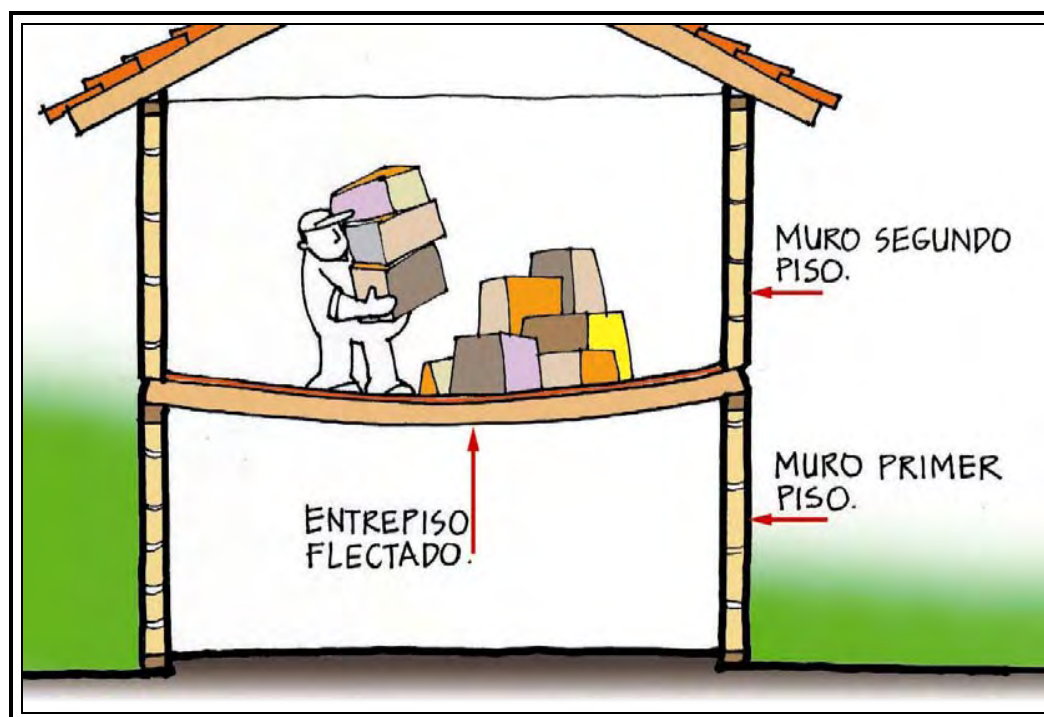


3.3.2 Conexiones entre muros

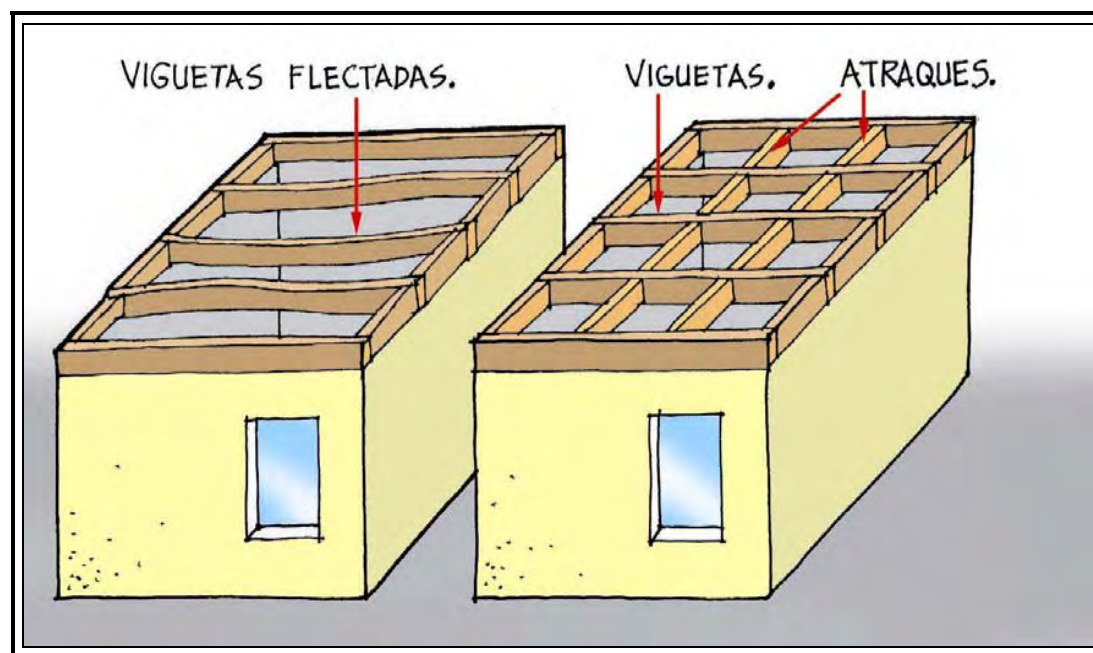
Falta de continuidad horizontal que provoca la desvinculación de los muros.

3.3.3 Entrepiso

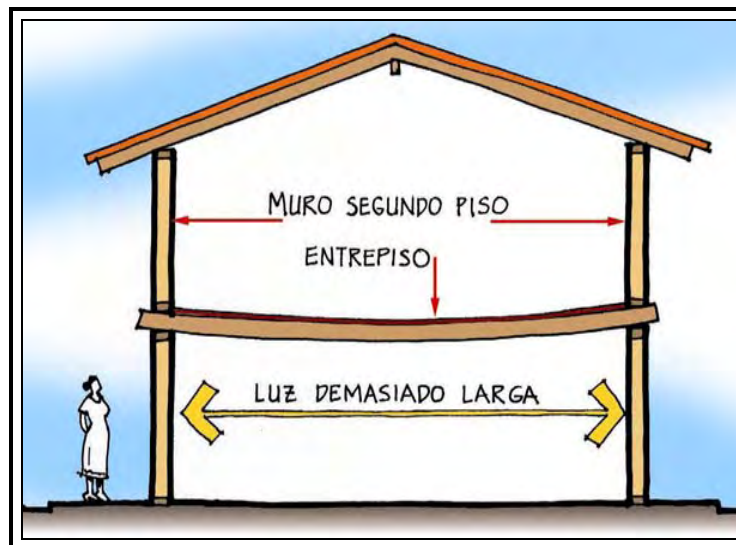
Secciones inadecuadas: La ausencia generalizada de diseño estructural alguno, muchas veces resulta en secciones de madera insuficiente para soportar las cargas de servicio del entrepiso, sin deformarse excesivamente e, inclusive, estar peligrosamente cerca del límite de su resistencia última.



Falta de atraques: La falta de atraques, o riostras laterales entre sus elementos, puede hacer que los entrepisos no se comporten como un diafragma, deformándose exageradamente bajo carga horizontal, de manera que ésta no se transmita adecuadamente a los muros que deben soportar el entrepiso.

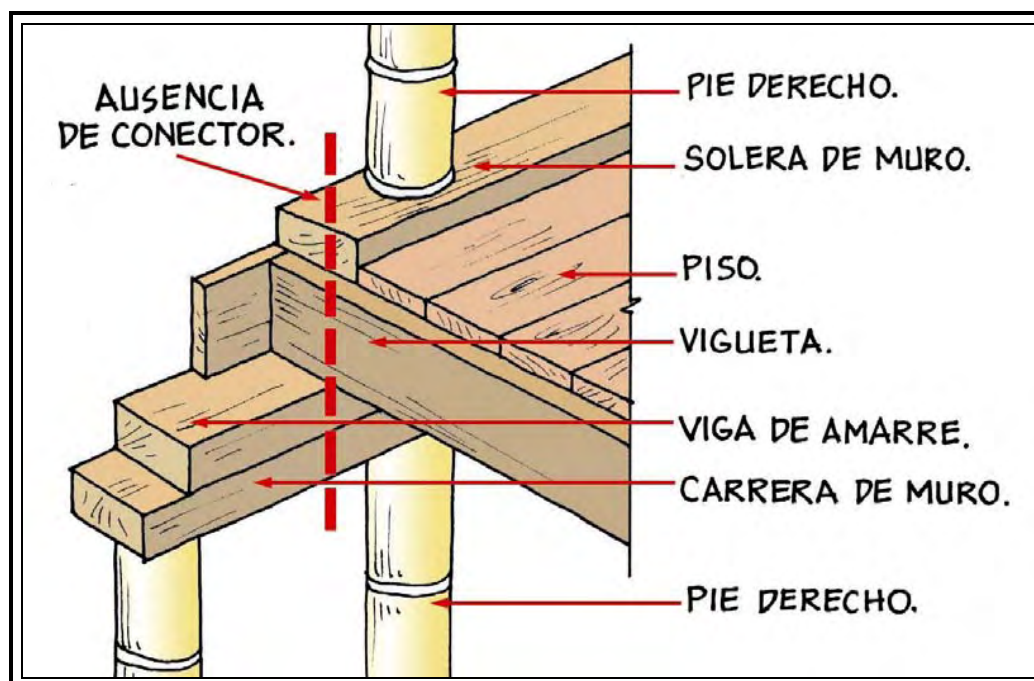


Luces demasiado largas: Es común encontrar luces de entrepiso muy largas, sobre todo en edificaciones con locales comerciales en el primer piso, lo que provoca que las viguetas se deformen excesivamente.



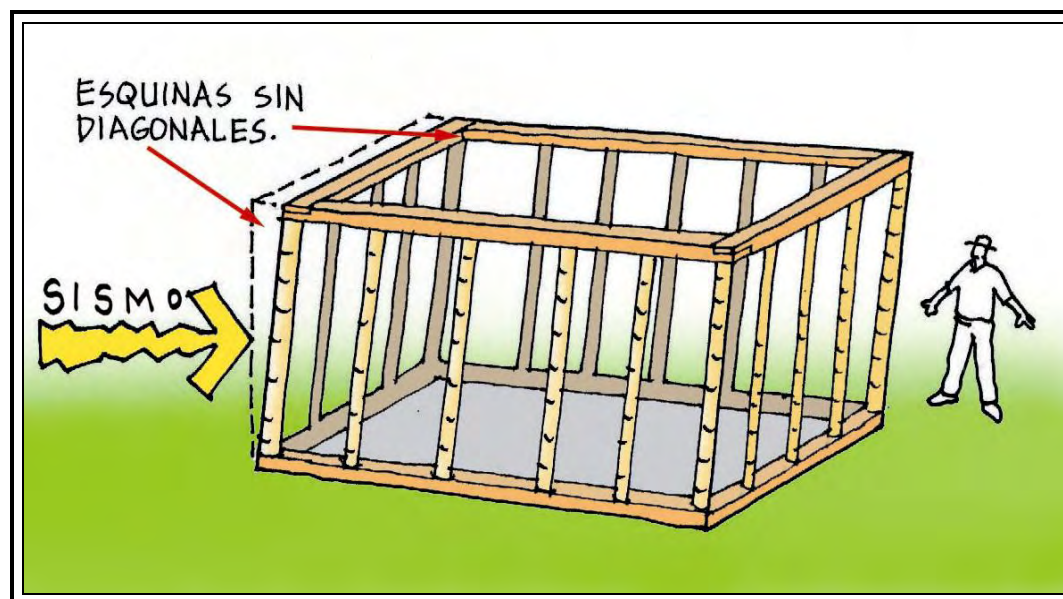
Flexión de elemento por longitud excesiva para el tamaño de la sección

Falta de conexión entre el sistema de entrepiso con los muros: Esto se presenta en casi la totalidad de las estructuras de bahareque tradicional. La continuidad vertical inexistente puede generar la pérdida de apoyo del diafragma de entrepiso sobre los muros y ocasionar el colapso de la edificación.



3.3.4 Entramado de los muros

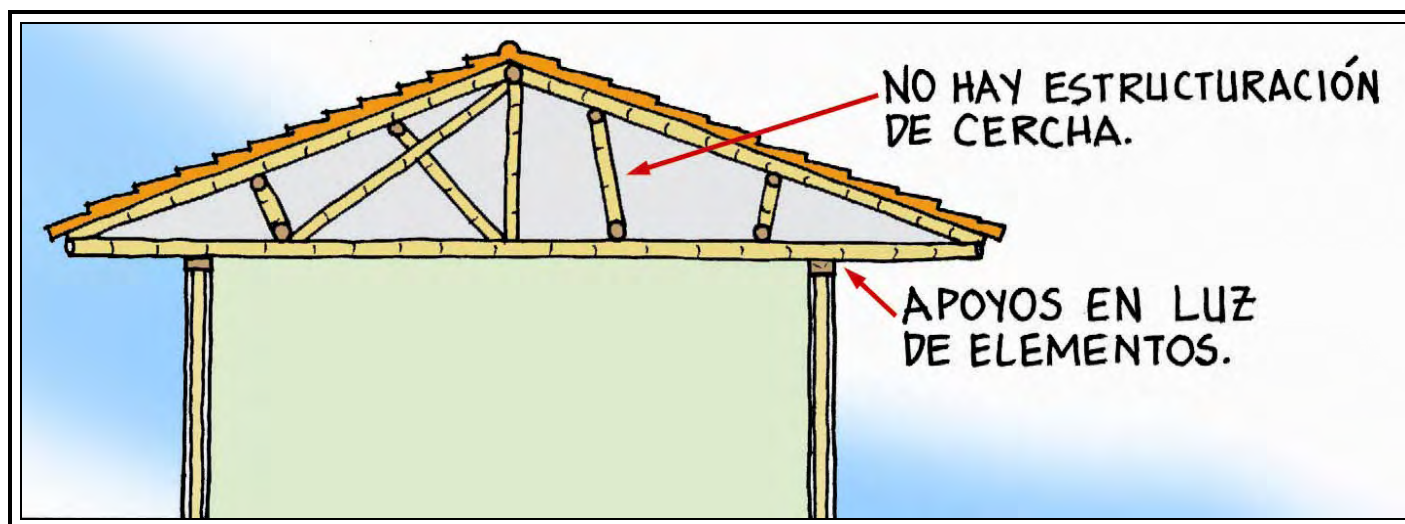
Falta de arriostramiento en las esquinas de los muros: La falta de diagonales en las esquinas de las construcciones disminuyen notablemente la capacidad ante fuerza horizontal.



3.3.5 Cubierta

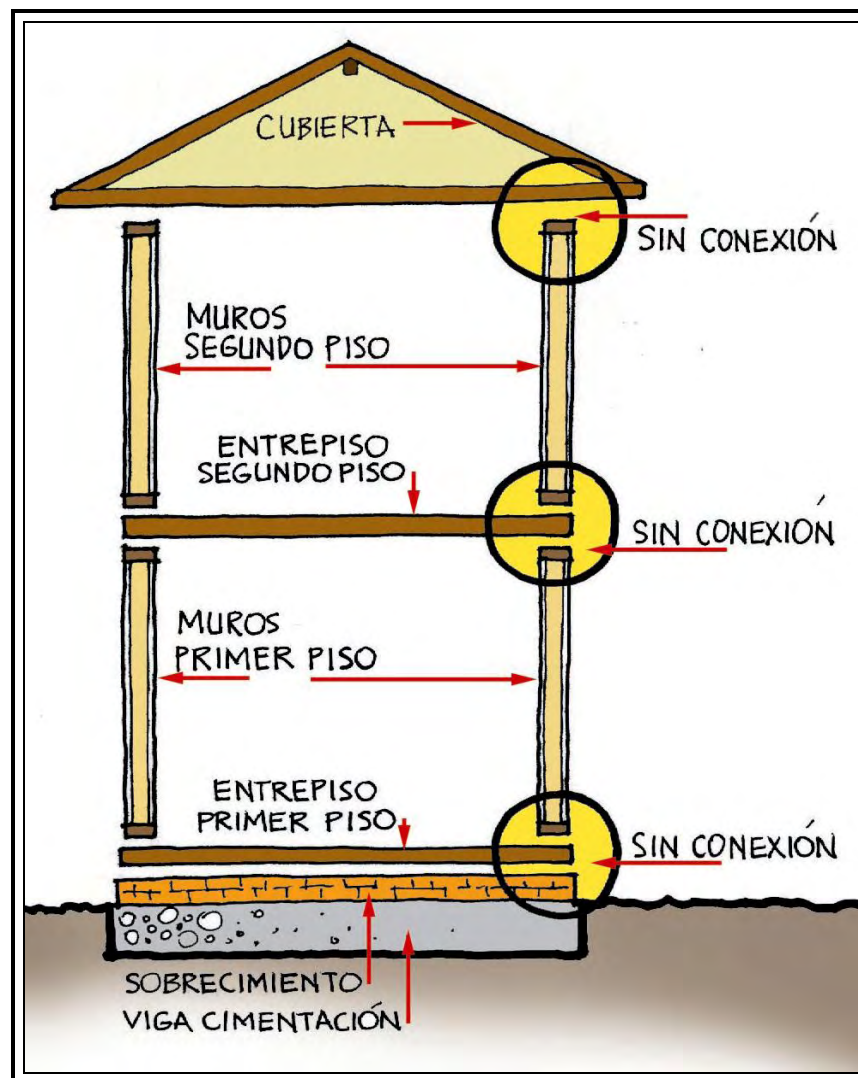
Falta de conexión de la cubierta con los muros: Cuando una edificación se somete a cargas horizontales, su sistema de cubierta puede perder apoyo sobre los muros debido a la ausencia de elementos de anclaje de la cubierta.

Entramados de cubierta sin estructuración: La preocupación de los constructores de bahareque tradicional se circunscribía generalmente al soporte del peso de las tejas y su transmisión vertical a los muros, cuidando la geometría impuesta por las necesidades de cobertura y evacuación de la lluvia, en concordancia con las formas tradicionales de la planta de la construcción. En general, la estructuración de cubierta no obedece a conceptos de conformación de cercha o celosía, en el sentido técnico estructural. Es más bien, una imitación descuidada de ese entramado con el fin de sostener el peso de las tejas y cumplir con cubrir la planta y atender el efecto de la lluvia.



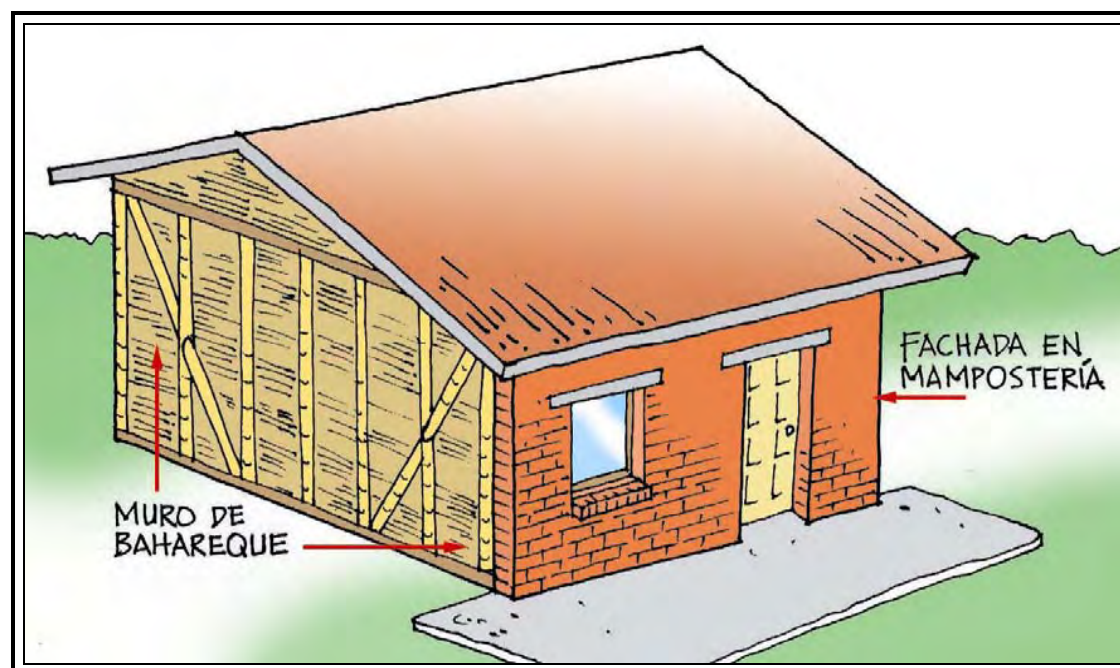
3.3.6 Continuidad vertical

Es común la falta total de continuidad vertical de la estructura en edificaciones de bahareque tradicional. No hay presencia de conectores entre los diferentes niveles de la edificación.

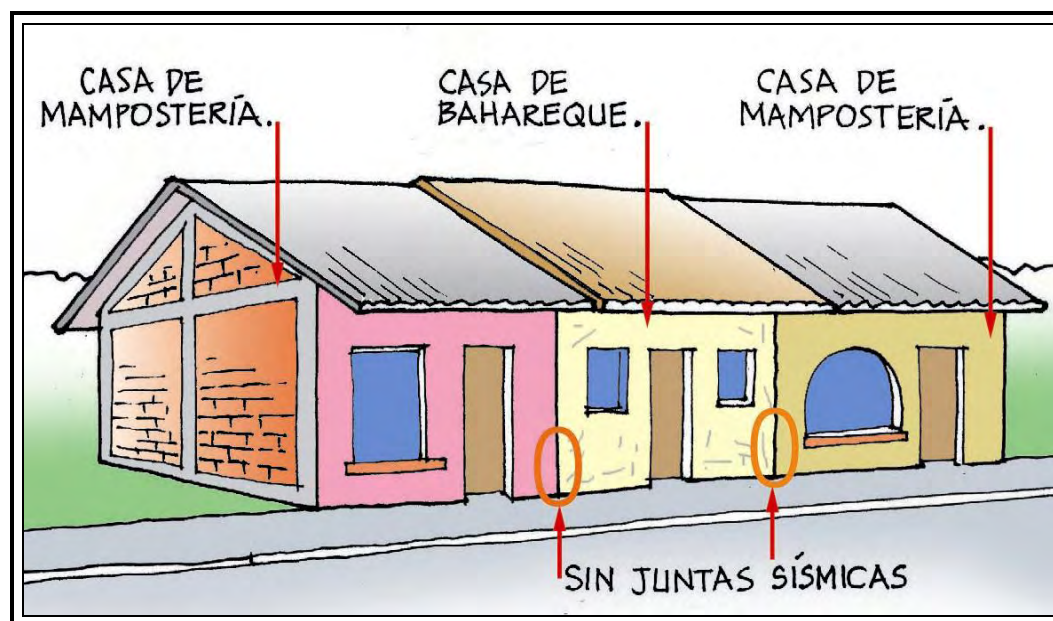


3.3.7 Interacción con mampostería

Fachadas o muros interiores en mampostería: Este tipo de adiciones, que es muy común y que se considera por lo general como una mejora de la vivienda, es también muy nocivo. La obvia dificultad en anclar adecuadamente un elemento de mampostería a otro de bahareque y su significativa diferencia en masa y en rigidez, resulta en una estructuración inestable cuyas fuerzas inerciales en un sismo pueden terminar por producir el colapso de los elementos de mampostería, de parte o de toda la edificación. al igual que el efecto de dominó.



Colindancia con estructuras de mampostería o concreto reforzado: es común que muchos de los daños que sufren las edificaciones de bahareque sean producto del golpeo con estructuras vecinas construidas con materiales más rígidos, como mampostería y concreto, debido a la ausencia de juntas sísmicas entre las construcciones.



4 Daños en edificaciones de bahareque tradicional

Los constituyentes principales de la construcción en bahareque (guadua, tierra y madera), son materiales naturales que el tiempo y la agresión ambiental, particularmente el agua y los insectos xilófagos y los hongos deterioran inexorablemente.

Además, las deficiencias listadas en el anterior numeral pueden resultar, directa o indirectamente en daños en elementos en toda la edificación.

4.1 Daños por exposición ambiental

4.1.1 Humedades

Diversos procesos pueden causar humedad a una edificación de bahareque tradicional: El mismo proceso constructivo, efectos de capilaridad, la condensación, filtraciones de aguas lluvias o aguas subterráneas, y naturalmente, rotura o falla de elementos hidráulicos. Cualquiera que sea su fuente, se termina con la pudrición de elementos que estén en contacto directo con el agua.

Los daños más comunes en las diferentes partes de la edificación producidos por humedades son:

- a. **Cimentación:** Por lo general se presenta la pudrición de los elementos de madera que están en contacto directo con el sistema cimentación por efecto de la capilaridad que transmite la humedad del suelo al entramado.
- b. **Muros y entrepisos:** Daños por capilaridad desde la cimentación, daños por contacto directo con el agua lluvia en muros sin recubrimiento, por bajantes de agua lluvia dañados. En cualquier caso, resulta en revoques fisurados, y, en todo caso, en pudrición de la madera y de la guadua.



Daños por humedad en recubrimiento



Pudrición de entrepiso por humedad



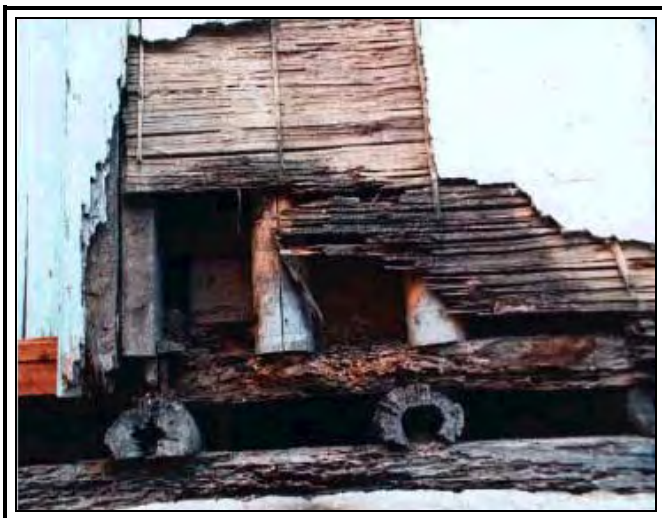
Pudrición por falta de recubrimiento

c. **Cubiertas:** la utilización de tejas de barro mal cocidas puede general la transmisión de humedades por capilaridad a su sistema de soporte, lo que genera el debilitamiento de todo el entramado de cubierta. Las goteras producidas por el corrimiento de tejas en sismos leves o con la vibración ambiental (por tráfico u otras actividades) también debilitan el sistema si no se controlan a tiempo.

4.1.2 Agentes biológicos

Es muy difícil detectar el ataque de insectos, hongos, líquenes y cualquier otro tipo de agente biológico que pueda dañar o deteriorar el sistema estructural de una edificación de bahareque. En la gran mayoría de los casos sólo puede detectarse cuando hay ya un deterioro avanzado de los elementos afectados; en algunos casos, la guadua y la madera ya estaban afectadas por agentes biológicos antes de utilizarse en la construcción de la edificación. Los agentes biológicos más comunes son:

a. **Insectos:** Existen muchas variedades de insectos xilófagos, es decir, insectos roedores de maderas. Su acción puede resultar en la total destrucción de la integridad estructural de un elemento de madera o de guadua. Como su detección es difícil antes de que sea evidente el daño, es esencial la inmunización, proceso que no siempre se hacía.



Ataque por humedad e insectos xilófagos



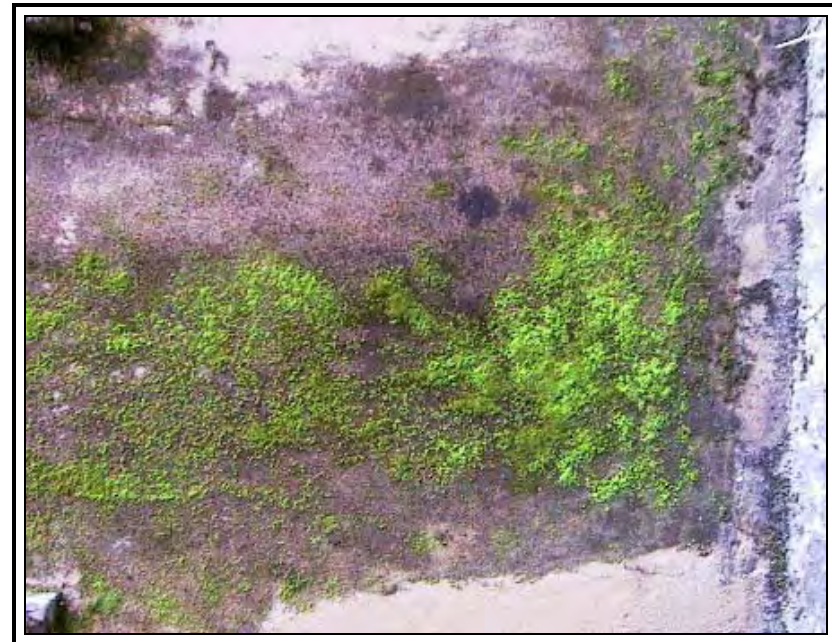
Viga de madera atacada por insectos xilófagos

b. **Hongos y mohos:** La humedad ambiental o interna, puede resultar en la aparición de hongos y de moho en la superficie de los elementos de madera que, a su vez, promueven la conservación y atracción de mayor humedad y, eventualmente, resultan en la pudrición del elemento afectado.



Pudrición en esterilla por moho

c. **Líquén y musgo:** De manera similar, la humedad puede resultar en la aparición de vegetación, especialmente musgo y líquen. Ambos conservan la humedad, promoviendo entonces la pudrición del material afectado.



Depósito de musgo y líquen en recubrimiento de mortero

4.2 Daños por inestabilidad y por la acción de cargas

4.2.1 Cimentaciones

a. Asentamientos diferenciales: Este tipo de problema se debe a la pérdida de apoyo, parcial o total, en un punto de la edificación, por falla de elementos de cimentación o por insuficiencia en la capacidad portante del suelo, lo que causa daños y deformaciones permanentes.



b. **Inestabilidad del suelo:**
Es muy común que en nuestras ciudades se construya en terrenos de alta pendiente. Si la ladera es inestable, pueden generarse deslizamientos en las temporadas invernales.



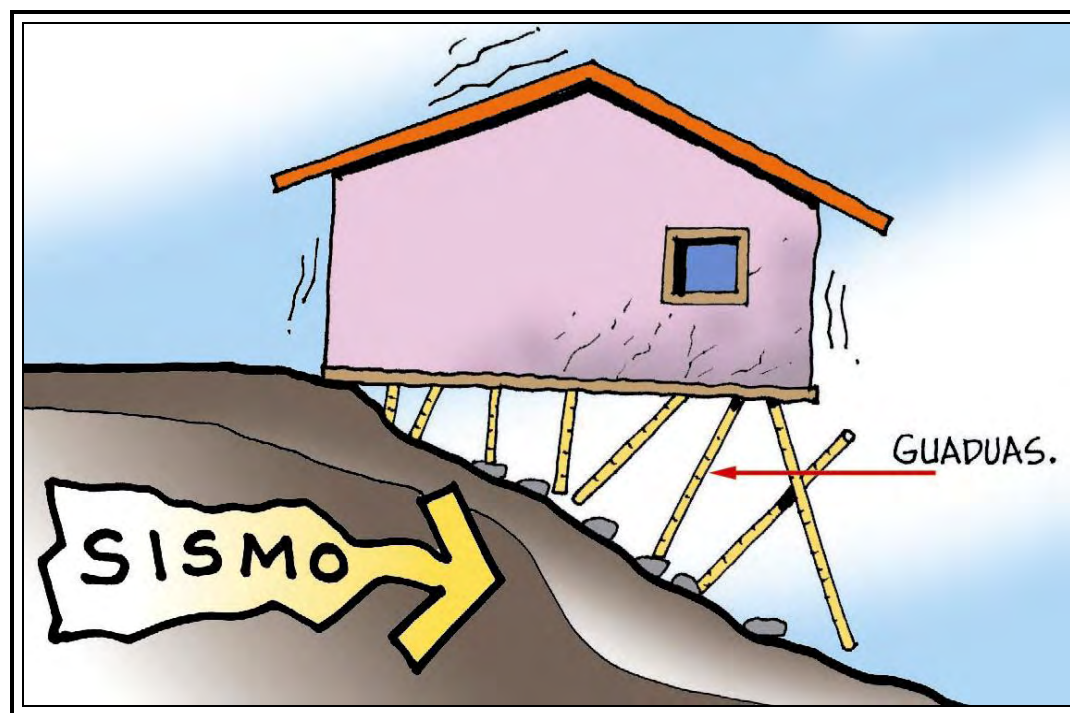
c. Desplome de machones de mampostería o concreto : Debido a que estos sistemas de cimentación por lo general carecen de estructuración adecuada, su respuesta a eventos sísmicos es muy deficiente, pues no se comportan de manera monolítica y en muchos caso pueden provocar el colapso de la edificación.



d. Desplazamiento de los muros con respecto a la cimentación: En las construcciones de bahareque tradicional no hay elementos conectores entre el sistema de cimentación y los muros. Es común que las fuerzas sísmicas venzan las fricciones y los muros se desplacen sobre la cimentación; si este desplazamiento es excesivo los muros pueden perder apoyo y ocasionar daños considerables a la edificación e, incluso, su colapso parcial o total.



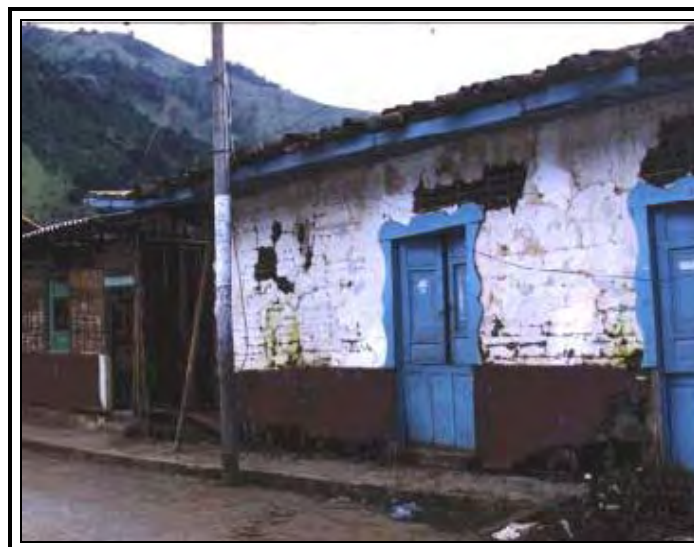
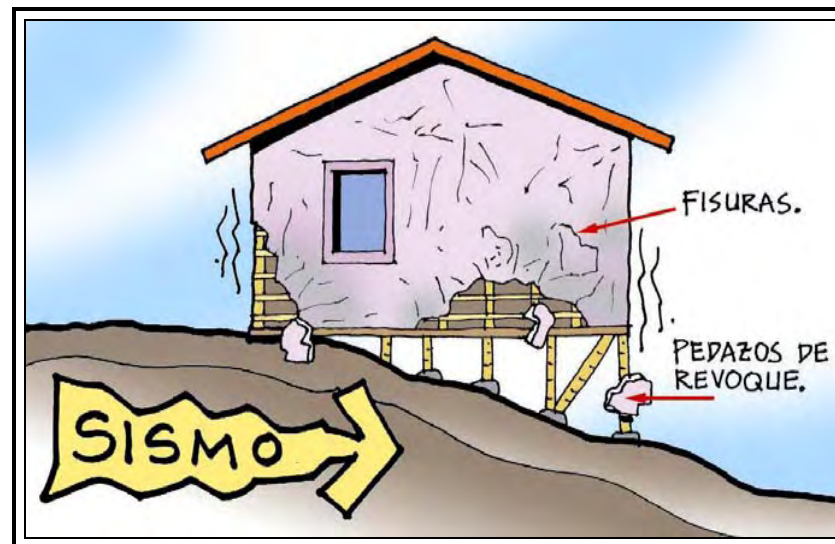
e. Pérdida de apoyo en cimentaciones de ladera con base en guadua: Estos sistemas de cimentación son inestables ante cargas horizontales, pues sólo están planteados para transmitir la cargas gravitacionales al suelo.



4.2.2 Muros

a. Agrietamiento y pérdida de recubrimiento:

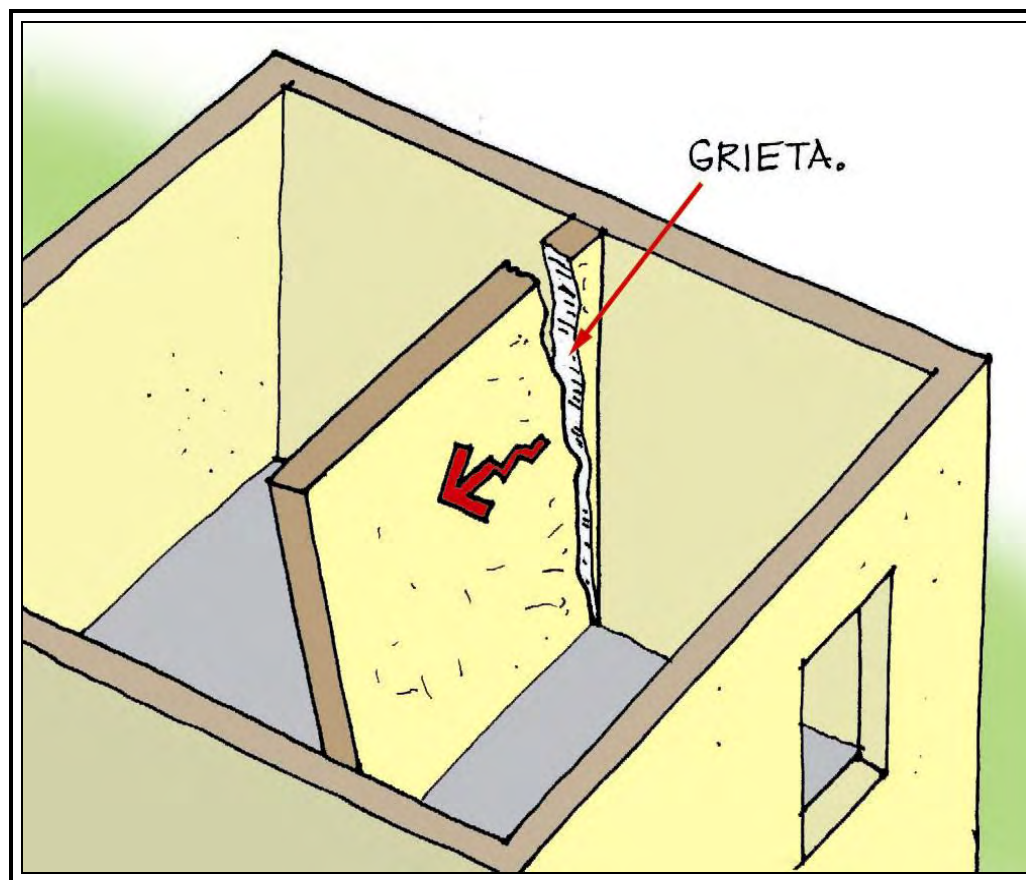
Todos los bahareques excepto el de tabla se agrietan cuando son sometidos a movimientos sísmicos de mediana intensidad.



Daños en muros por movimiento sísmico

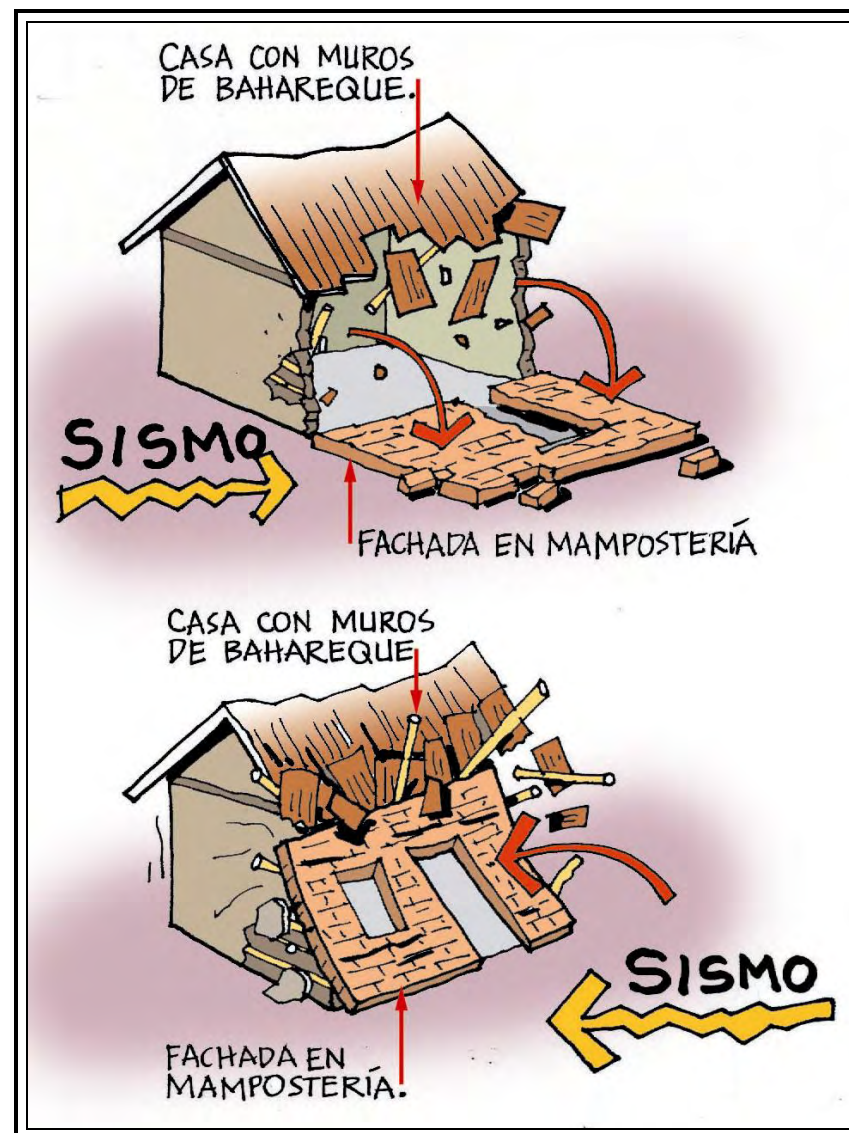
b. Desvinculación de muros entre si:

En edificaciones con deficiencias en la continuidad horizontal de sus muros, es posible que se presenten desvinculaciones de muros, que pueden causar el colapso del muro.



c. Daños por interacción nociva de muros de bahareque con muros de mampostería o concreto:

Este tipo de daño se presenta generalmente por el cambio de la fachada de bahareque por una de mampostería, casi siempre sin ningún tipo de confinamiento. La diferencia entre sus masas hace que las fuerzas inerciales relativas y la falta de conexión entre ambos sistemas, tenga graves efectos que van desde la simple pérdida de la fachada, cuando ésta se cae hacia afuera, hasta la destrucción parcial o total del inmueble, cuando la fachada cae hacia el interior de la edificación.



d. Daños por colindancia con estructuras de concreto o mampostería:

Dado que el período de vibración de las estructuras de bahareque es superior al de las de concreto o mampostería, si nos se las separa con juntas sísmicas adecuadas entre las dos estructuras es común que la estructura de bahareque sufra daños considerables debido al golpeteo con la estructura vecina.



4.2.3 Entrepiso

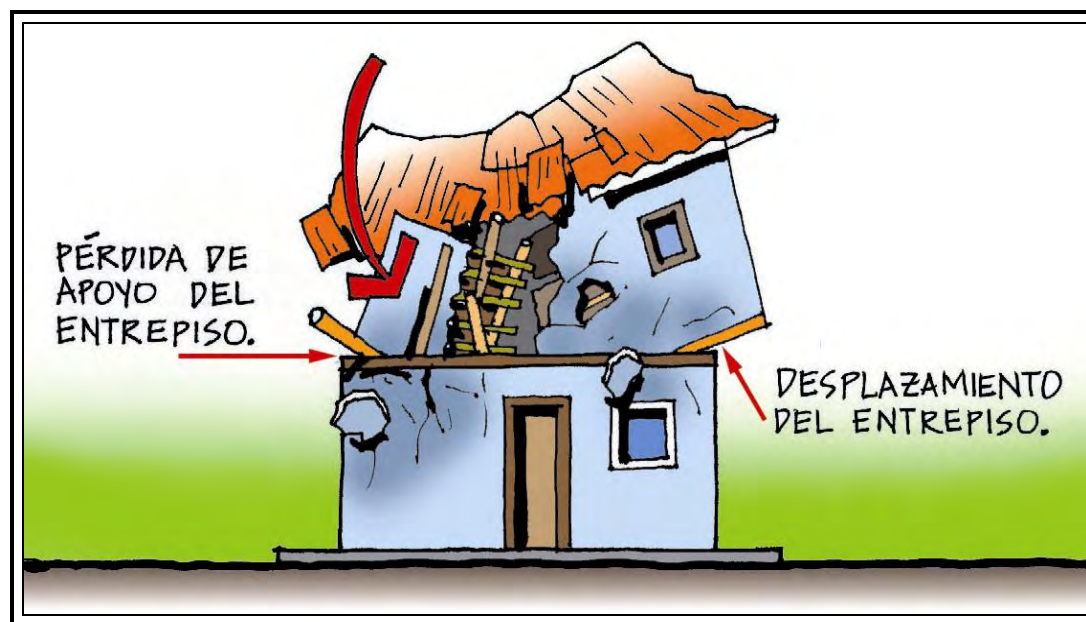
- a. Desplazamiento del entrepiso sobre los muros del primer piso por falta de continuidad vertical:

Este daño se presenta por la falta de elementos conectores entre los muros y el diafragma de entrepiso; el componente vertical de las aceleraciones sísmicas contribuyen a reducir las fricciones entre muros y entrepisos o cimentaciones.:



- b. Colapso, parcial o total, de entrepiso por pérdida de apoyo:

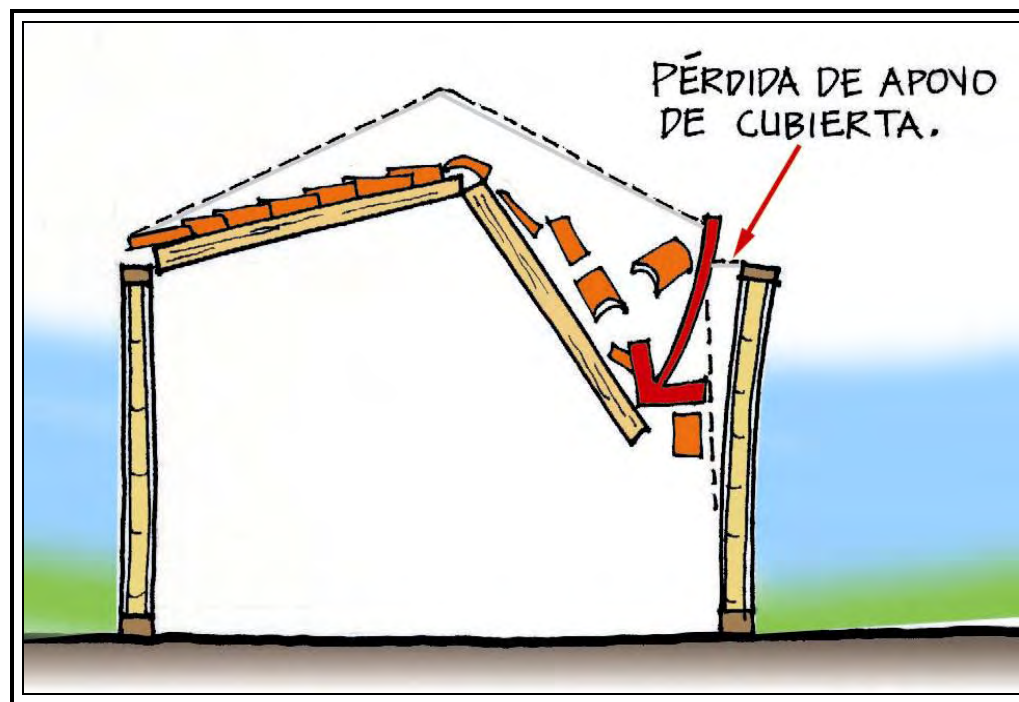
Cuando la superficie de apoyo del entrepiso es muy pequeña se puede perder el apoyo en un sismo causando daños considerables en la edificación.



4.2.4 Cubiertas

- a. Colapso de cubierta por falla en los apoyos:

Se presenta sobretodo en casas sin aleros debido a la falta de conectores de los muros a la cubierta.



- b. Colapso de cubierta por debilitamiento previo debido a pudrición de los elementos: Aunque es un daño de tipo ambiental puede ser la razón por la cual al ocurrir el sismo la cubierta no pueda soportar las cargas que el movimiento impone.



5 Evaluación del estado de viviendas de bahareques tradicionales

Para evaluar el estado de una edificación de bahareque es fundamental establecer el inventario de sus deficiencias y de sus daños, de acuerdo con su identificación, establecida en los numerales anteriores. Así mismo, además de identificar su existencia, es esencial establecer su extensión, calificándola en función del estado de conservación de los elementos estructurales y no estructurales y de la amenaza que representan las patologías halladas contra la seguridad de la edificación y de sus usuarios.

5.1.1 Conservación

El estado de conservación de una edificación de bahareque puede calificarse como excelente, bueno, aceptable, deficiente y pésimo, de acuerdo con las deficiencias y los daños detectados, como se indica en la siguiente tabla.

Estado de conservación de edificaciones de bahareque

Conservación	Deficiencias y daños
Excelente	<ul style="list-style-type: none"> ▪ No se observan daños por humedad ni por agentes biológicos ▪ No se observa agrietamiento alguno, ni corrimientos de entrepisos o cimentaciones, ni hundimientos o asentamientos.
Buena	<ul style="list-style-type: none"> ▪ No se observan daños por humedad ni por agentes biológicos ▪ Agrietamiento incipiente de los revoques de muros ▪ Uniones completamente sanas
Aceptable	<ul style="list-style-type: none"> ▪ No se observan daños por humedad, pero hay algún depósito incipiente de moho o líquen, pero no hay daños por insectos xilófagos ▪ Agrietamiento vertical leve en bordes de muros ▪ Grietas diagonales y horizontales leves en algunos muros ▪ Desprendimiento localizado y limitado de revoques ▪ No hay desvinculación de cubierta ni de muros ▪ Ningún asentamiento o asentamiento incipiente de cimentaciones
Deficiente	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Se observan daños por humedades y por agentes biológicos ▪ Desplazamiento relativo en los empalmes de muros ▪ Agrietamiento en mayoría de muros. ▪ Pérdida de apoyo parcial de cubierta y/o entrepisos ▪ Pérdida de apoyo parcial en asentamientos ▪ Hundimientos y asentamientos de apoyos
Pésima	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Daños entre moderados y severos por humedad y por agentes biológicos ▪ Deformaciones permanentes importantes, con la posibilidad de desplome de la estructura ▪ Falla de los elementos diagonales ▪ Desprendimiento de elementos verticales (pie-derechos) de las soleras superior o inferior ▪ Pandeo perpendicular al plano del muro ▪ Falla parcial o total de cimentación. ▪ Pérdida de apoyos de la cubierta

5.1.2 Seguridad

Así mismo, las patologías y los daños detectados, así como las deficiencias, deben calificarse en función de la afectación de la seguridad de la edificación y de sus usuarios, ya sea por efectos paulatinos de deterioro o por daños súbitos tras eventos como incendios, inundaciones, avalanchas y sismos, como se indica en la siguiente tabla.

Afectación de la seguridad de edificaciones de bahareque

Afectación a la seguridad	Deficiencias y daños
Ninguna	<ul style="list-style-type: none"> ▪ No se observa agrietamiento alguno ni corrimientos de entrepisos o cimentaciones, ni hundimientos o asentamientos.
Mínima	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Agrietamiento incipiente de los revoques de muros ▪ Uniones completamente sanas
Intermedia	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Agrietamiento vertical leve en bordes de muros ▪ Grietas diagonales y horizontales leves en algunos muros ▪ Desprendimiento localizado y limitado de revoques ▪ No hay desvinculación de cubierta ni de muros ▪ Ningún asentamiento o asentamiento incipiente de cimentaciones
Severa	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pérdida de sección en elementos estructurales por pudrición o ataque de insectos. ▪ Desplazamiento relativo en los empalmes de muros. ▪ Agrietamiento en mayoría de muros. ▪ Pérdida de apoyo parcial de cubierta y/o entrepisos ▪ Deformaciones permanentes importantes, con la posibilidad de desplome de la estructura ▪ Falla de elementos diagonales de muros ▪ Desprendimiento de elementos verticales (pie-derechos) de las soleras superior o inferior ▪ Pandeo perpendicular al plano del muro ▪ Falla parcial o total de cimentación. ▪ Pérdida de apoyos de la cubierta

6 Rehabilitación de viviendas de bahareque tradicional

Una estrategia integral de intervención de la vulnerabilidad del bahareque apunta, en primer lugar, a la sustitución de materiales degradados y al tratamiento preventivo de los que pueden aún conservarse. Particularmente, es un hecho incontrovertible que la protección frente a la humedad y a la exposición solar directa son condiciones indispensables de la durabilidad del bahareque.

No obstante, la rehabilitación misma puede calificarse en función de diversas variables. Por ejemplo, para que una vivienda de bahareque cumpla con la reglamentación vigente, a la luz de las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistentes, NSR-98 (Ley 400 de 1997, y sus decretos reglamentarios), debe cumplir con todos los requisitos mínimos contenidos en su capítulo E.7.

Sin embargo, las NSR-98 no obligan a los propietarios de edificaciones construidas antes de su vigencia a intervenirlas para que cumplan con sus requerimientos mínimos, excepto si son estructuras pertenecientes al Grupo de Uso IV, es decir, si son estructuras indispensables.

Así, el nivel de intervención que debe hacerse a una edificación afectada por deficiencias, por patologías ambientales o por daños después de un evento súbito, como incendio, inundación, avalancha o sismo, depende del criterio y la capacidad económica de su propietario, debidamente asesorado por un profesional idóneo en ingeniería civil o arquitectura. Con esto en mente, la rehabilitación puede clasificarse, de acuerdo con el nivel de intervención, como reparación, mejoramiento o reestructuración, en función del grado de seguridad que el propietario deba, desear, o esté dispuesto, a proveer a su inmueble.

Debe recordarse que las NSR-98 especifican que si la estructura se clasifica como indispensable, el propietario no tiene otra opción que intervenir la estructura para obtener un grado de seguridad acorde con las normativas vigentes. En los demás casos, puede escoger el nivel de seguridad según su criterio personal, incluyendo la rehabilitación del inmueble para que cumpla con las normas, aún así no presente deficiencias o daños aparentes.

6.1 Niveles de intervención

Dependiendo del grado de seguridad que resulte de la intervención sobre la estructura, la rehabilitación puede clasificarse así:

6.1.1 Reparación

Es la intervención que restaura el nivel de seguridad que tenía la estructura antes de sufrir daño.

6.1.2 Mejoramiento

Es la intervención que incluye reparación, pero que mejora el nivel de seguridad de la edificación, con respecto al nivel que tenía antes de sufrir los daños, pero que no le aporta todas las condiciones necesarias para cumplir con la normativa vigente.

6.1.3 Reestructuración

Es la intervención que incluye reparación y mejoramiento, y que, además, cumple con todos los requisitos de las normas sísmicas vigentes, aportando un alto grado de seguridad.

6.2 Niveles de seguridad

Para efectos de esta clasificación, se ha catalogado el grado de seguridad en tres niveles, alto, intermedio y mínimo, en función del comportamiento esperado de la edificación cuando sea sometida a eventos sísmicos.

6.2.1 Nivel Alto de Seguridad: Reestructuración

Corresponde a la reparación y rehabilitación de una vivienda en bahareque afectada por sismo, tal que se espera que no presente daños en sismos leves, daños moderados en elementos no estructurales en sismos intermedios y algún tipo de daño estructural en sismos fuertes, pero sin colapso total, aunque pueda presentarse colapso parcial, no progresivo.

Para lograrlo es necesario que la edificación se encuentre en un buen estado de conservación o que se rehabilite para corregir deterioros existentes, paulatinos o súbitos.

De tal manera, un nivel alto de seguridad implica la reestructuración completa de la edificación.

6.2.2 Nivel Intermedio de Seguridad: Mejoramiento

Corresponde a la reparación y rehabilitación de una vivienda en bahareque afectada por sismo o agentes ambientales o biológicos, tal que se espera que presente algún tipo de daño en elementos no estructurales en sismos leves, daños moderados en elementos estructurales y no estructurales en un sismo intermedio y daños estructurales en sismo fuerte que puedan obligar a su desalojo temporal o definitivo, pero sin causarle su colapso total o progresivo.

Para lograrlo, la edificación debe estar en un estado aceptable de conservación.

6.2.3 Nivel de Seguridad Mínimo: Reparación

Corresponde a la reparación de una vivienda en bahareque afectada por sismo, tal que se espera que presente algún tipo de daño en elementos no estructurales en sismos leves, daños moderados a severos en elementos estructurales y no estructurales en un sismo intermedio y daños estructurales severos en sismo fuerte que puedan obligar a su desalojo y demolición posterior, pero sin causarle su colapso total o progresivo.

6.3 Procedimientos de intervención

Los procedimientos de intervención se presentan aquí en función de la afectación de la edificación, clasificada en cuatro niveles (Ninguna, Mínima, Intermedia y Severa), para los tres niveles de seguridad que pueden alcanzarse después de la intervención: Mínimo (que implica sólo reparación), Intermedio (que implica mejoramiento estructural) y Alto (que implica reestructuración completa de la edificación, de acuerdo con las normativas vigentes).

Es competencia del propietario, asesorado por la entidad encargada de la ejecución de las obras, la elección del nivel de seguridad que desea alcanzar, en función del Grupo de Uso en el que se clasifique la edificación.

En la siguiente tabla se resumen los procedimientos de intervención que se detallan en los próximos numerales.

Procedimientos de intervención en función de la afectación sufrida, para los niveles de seguridad requeridos.

Afectación a la seguridad	Deficiencias y daños*	Nivel de seguridad después de intervención		
		Mínimo (Reparación)	Intermedio (Mejoramiento)	Alto (Reestructuración)
Ninguna	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Edificación presenta deficiencias constructivas (Ver 4.1, 4.2 y 4.3) ▪ No se observa agrietamiento alguno ni corrimientos de entresijos o cimentaciones, ni hundimientos o asentamientos. 	No requiere intervención	No requiere intervención	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rehabilitación y consolidación integral de la vivienda de acuerdo con el Capítulo E.7**
Mínima	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Edificación presenta deficiencias constructivas (Ver 4.1, 4.2 y 4.3) ▪ Agrietamiento incipiente de los revoques de muros ▪ Uniones completamente sanas 	No requiere intervención	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reparación cosmética de las grietas con las técnicas originales de construcción 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rehabilitación y consolidación integral de la vivienda de acuerdo con el Capítulo E.7**

Afectación a la seguridad	Deficiencias y daños*	Nivel de seguridad después de intervención		
		Mínimo (Reparación)	Intermedio (Mejoramiento)	Alto (Reestructuración)
Intermedia	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Edificación presenta deficiencias constructivas (Ver 4.1, 4.2 y 4.3) ▪ Agrietamiento vertical en bordes de muros ▪ Grietas diagonales y horizontales leves en muros ▪ Desprendimiento parcial y localizado de revocos ▪ Desprendimiento de clavos y elementos de unión de muros 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reparación de zonas afectadas, reemplazando elementos que se encuentren afectados por pudrición por humedad, hongos, líquenes u otros agentes. ▪ Las reparaciones pueden hacerse utilizando las técnicas originales de construcción. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reemplazar elementos que se encuentren afectados por pudrición por humedad, hongos, líquenes u otros agentes. Realizar anclajes entre muros, anclajes con cubierta, anclajes en entresijos y anclajes con la cimentación, de acuerdo con los procedimientos correspondientes, en las zonas afectadas. Retirar rellenos de tierra y reemplazar revocos de tierra por revocos con base en mortero de cemento aplicado sobre malla de gallinero clavada sobre esterilla o sobre malla venada sin esterilla. Proced. 7.3.1 a 7.3.10 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rehabilitación y consolidación integral de la vivienda de acuerdo con el Capítulo E.7**

Afectación a la seguridad	Deficiencias y daños*	Nivel de seguridad después de intervención		
		Mínimo (Reparación)	Intermedio (Mejoramiento)	Alto (Reestructuración)
Severa	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Edificación presenta deficiencias constructivas (Ver 4.1, 4.2 y 4.3) ▪ Deslizamiento relativo en los empalmes de muros ▪ Agrietamiento en mayoría de muros. ▪ Pérdida de apoyo parcial de cubierta y/o entresijos ▪ Deformaciones permanentes importantes. ▪ Falla de elementos diagonales en muros ▪ Desprendimiento entre pie-derechos y soleras ▪ Pandeo perpendicular al plano del muro ▪ Falla parcial o total de cimentación. ▪ Pérdida de apoyos de la cubierta 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reparación de zonas afectadas, reemplazando elementos que se encuentren afectados por pudrición por humedad, hongos, líquenes u otros agentes. ▪ Las reparaciones pueden hacerse utilizando las técnicas originales de construcción 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reemplazar elementos que se encuentren afectados por pudrición por humedad, hongos, líquenes u otros agentes. Realizar anclajes entre muros, anclajes con cubierta, anclajes en entresijos y anclajes con la cimentación, de acuerdo con los procedimientos correspondientes. Retirar rellenos de tierra y reemplazar revoques de tierra por revoques con base en mortero de cemento aplicado sobre malla de gallinero clavada sobre esterilla o sobre malla venada sin esterilla. ▪ Las reparaciones deben hacerse sobre zonas afectadas y no afectadas. Proced. 7.3.1 a 7.3.10 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rehabilitación y consolidación integral de la vivienda de acuerdo con el Capítulo E.7**

NOTAS:

* Cada categoría de afectación puede estar constituida por uno o varios de los daños listados, que pueden ser efectos paulatinos de deterioro por agresión ambiental o antrópica, o efectos súbitos por eventos como incendio, inundación, avalancha o sismo.

** Apartes del Capítulo 7 del Título E de las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistentes, NSR-98 (Ley 400 de 1997, y sus decretos reglamentarios)

6.3.1 Agrietamiento y pérdida de revoque

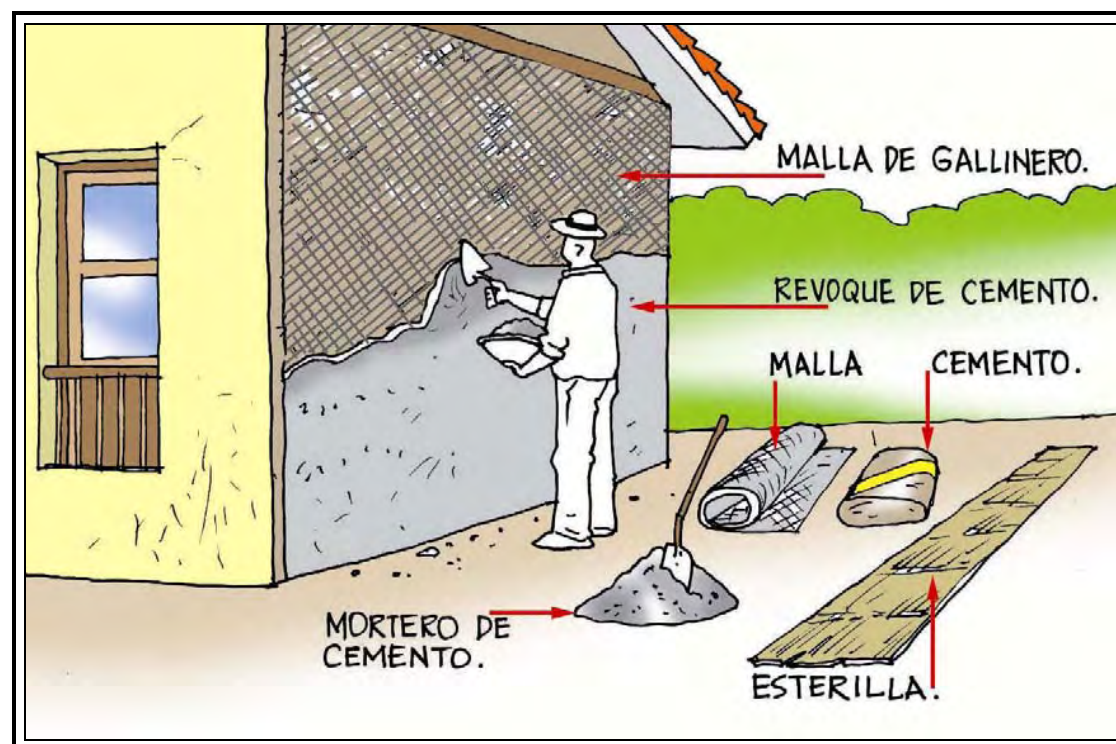
◆ Reparación:

Reemplazar los revoques existentes antes del daño por revoque del material original solamente en la zona afectada, utilizando las mismas técnicas utilizadas en la construcción original.



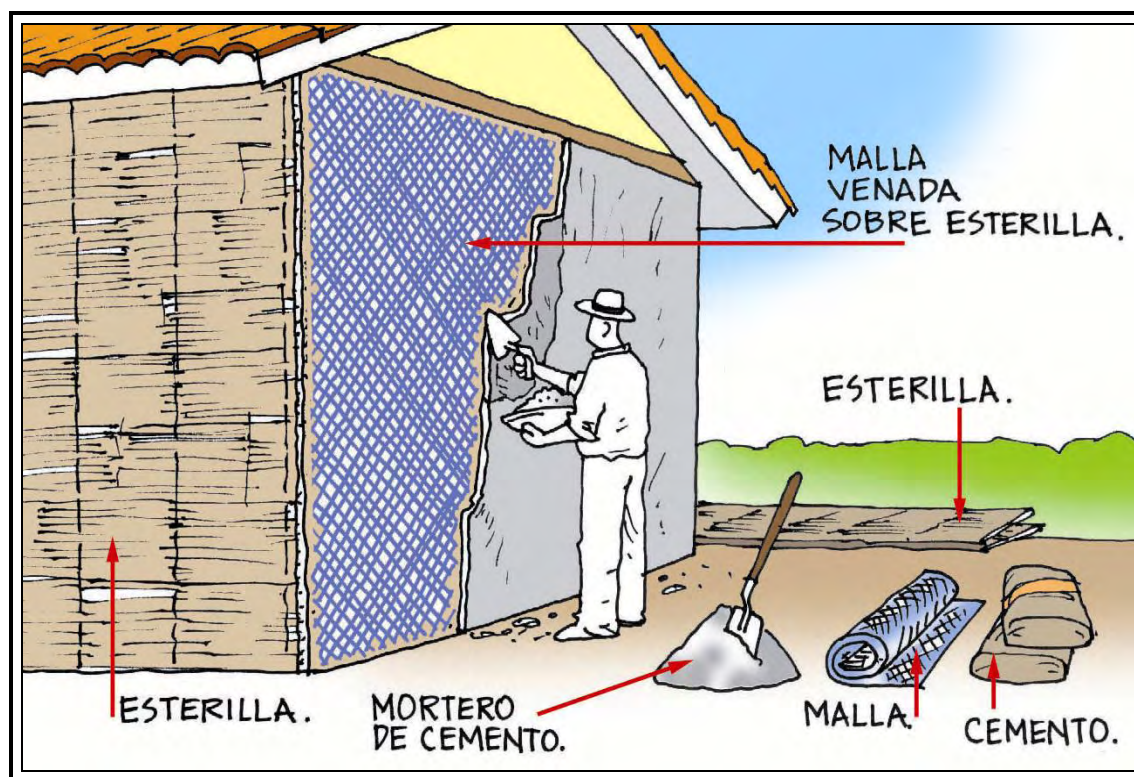
◆ Mejoramiento:

Mejorar las condiciones del muro afectado, re-vocando con mortero de cemento, aún para muros originalmente re-vocados con tierra. Si se trata de muros de bahareque embutido, debe clavarse sobre las latas una malla de gallinero de manera que permita la colocación del mortero. Debe re-vocarse todo el muro afectado, en proporción de una parte de cementante por cuatro de arena.



◆ Reestructuración:

Debe demolerse todos los revoques, tanto los de los muros afectados como los de los no afectados, y reemplazar todos los elementos que se encuentren deteriorados por pudrición, fisuración u otro agente agresivo. los revoques. Si la casa es de bahareque de tierra embutida, las latas de guadua se deben cambiar por esterilla. La reconstrucción de la vivienda debe hacerse de acuerdo con el Capítulo E.7 de las NSR-98, incluyendo cimentaciones, muros, entresijos y cubierta, y los anclajes correspondientes para garantizar continuidad.



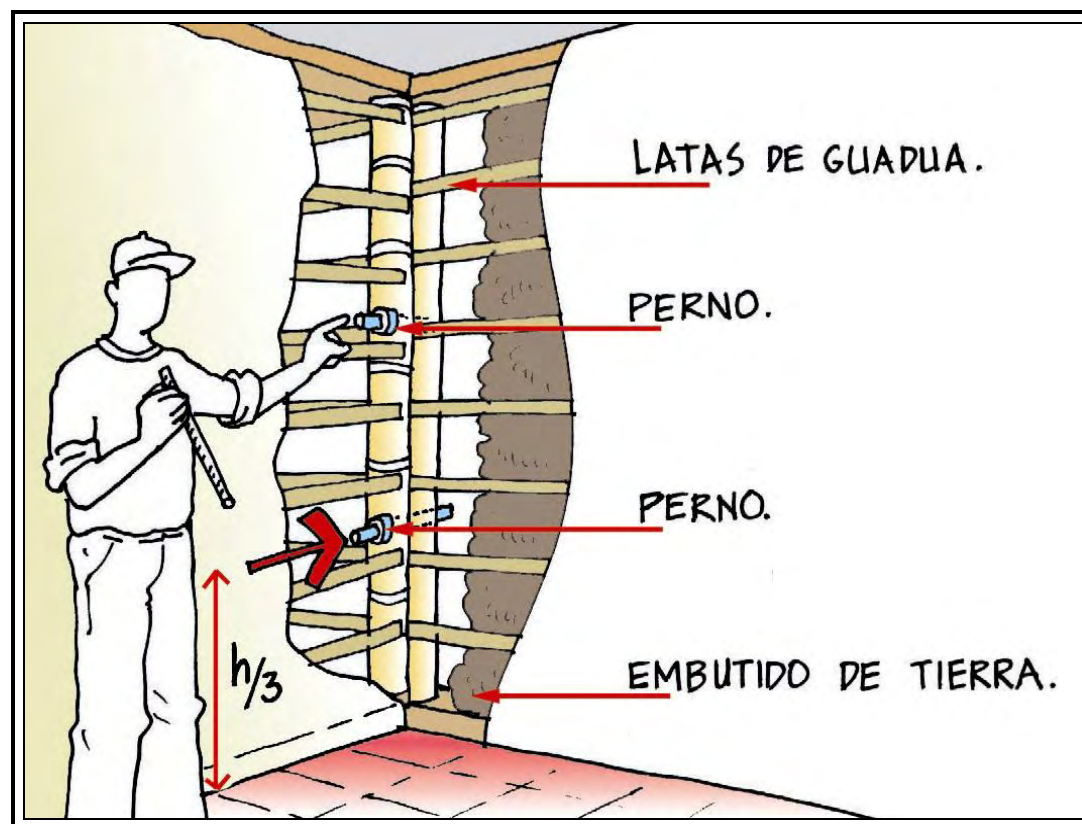
6.3.2 Desvinculación de muros

◆ Reparación: Resanar la grieta del muro desvinculado con el mismo tipo de revoque que el muro tenía antes de sufrir el daño, y utilizando las mismas técnicas empleadas originalmente..



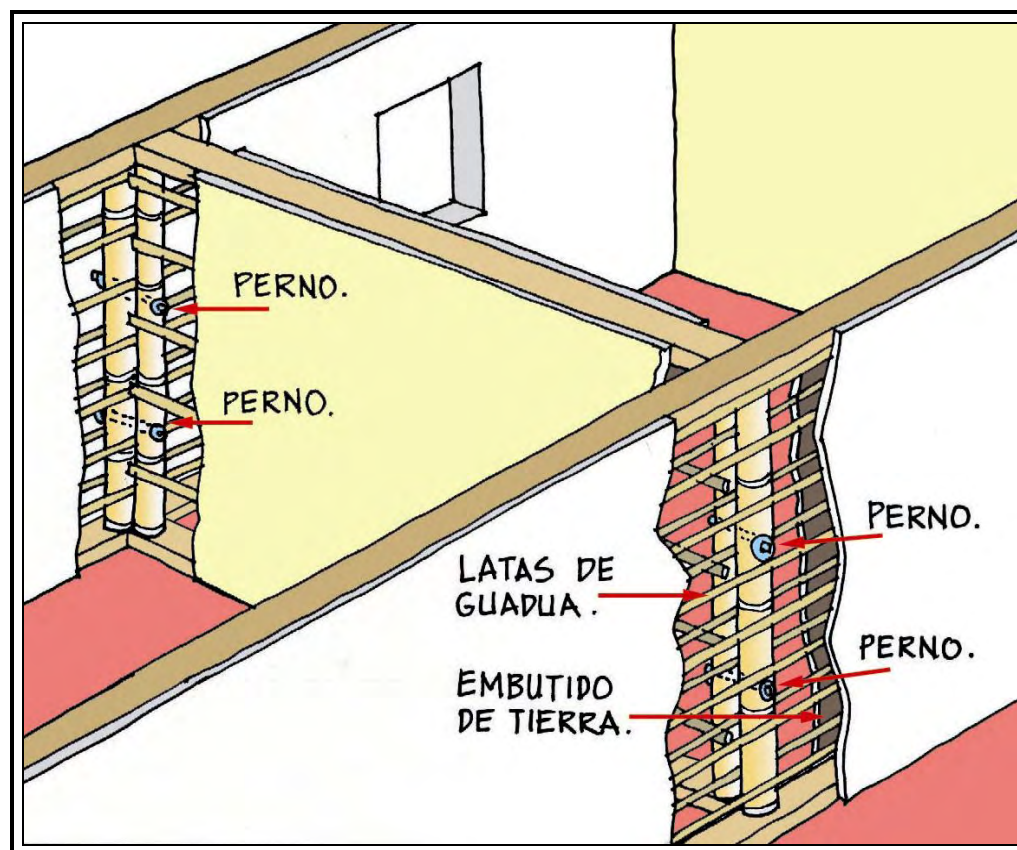
◆ Mejoramiento:

Conectar los muros afectados mediante dos pernos de varilla rosada, con diámetros de 10mm, colocados a tercios de la altura, h , del piso. Es decir, el primer perno se coloca a $\frac{1}{3}h$ y el segundo a $\frac{2}{3}h$. Si los pie-derechos de los muros son de guadua, los cañutos por donde pasen estos pernos deben rellenarse con mortero fluido de cemento.



◆ Reestructuración:

Demoler los revoques existentes, reemplazar todos los elementos deteriorados, y conectar todos los muros, tanto los afectados como los no afectados mediante pernos de varilla rosca, con diámetros de 10mm, colocados a tercios de la altura, h , del piso. Es decir, el primer perno se coloca a $\frac{1}{3}h$ y el segundo a $\frac{2}{3}h$. Si los pie-derechos de los muros son de guadua, los cañutos por donde pasen estos pernos deben rellenarse con mortero fluido de cemento. Los revoques deben reconstruirse con mortero de cemento aplicado sobre malla de gallinero o venada, clavada sobre esterilla.



6.3.3 Daños causados por sismo

- ◆ Reparación: Las reparaciones de edificaciones afectadas por sismos en revoques y muros, se realizan de la misma manera descrita en los numerales anteriores.
- ◆ Mejoramiento: Después de estar sometida a movimientos sísmicos, una edificación pierde rigidez por desajuste entre elementos del entramado, por fisuración y desvinculación de muros, etc. Para mejorarla se requiere recuperar rigidez, con conexiones y rigidizadores.

Cada muro estructural debe conectarse con la cimentación, por lo menos en sus extremos, con pernos de 10 mm de diámetro, embebidos por lo menos 15 cm en concreto. Además, las soleras inferiores y superiores de todos los muros estructurales y de todos los pisos de la edificación, incluyendo las soleras inferiores del primer piso, deben conectarse con los pie-derechos, por lo menos en los extremos de los muros, con láminas de acero, calibre 20 o calibre 22, de 6 cm de anchura, con no menos de 25 cm de traslapo sobre el pie-derecho, clavadas en zig-zag, cada 5 cm.

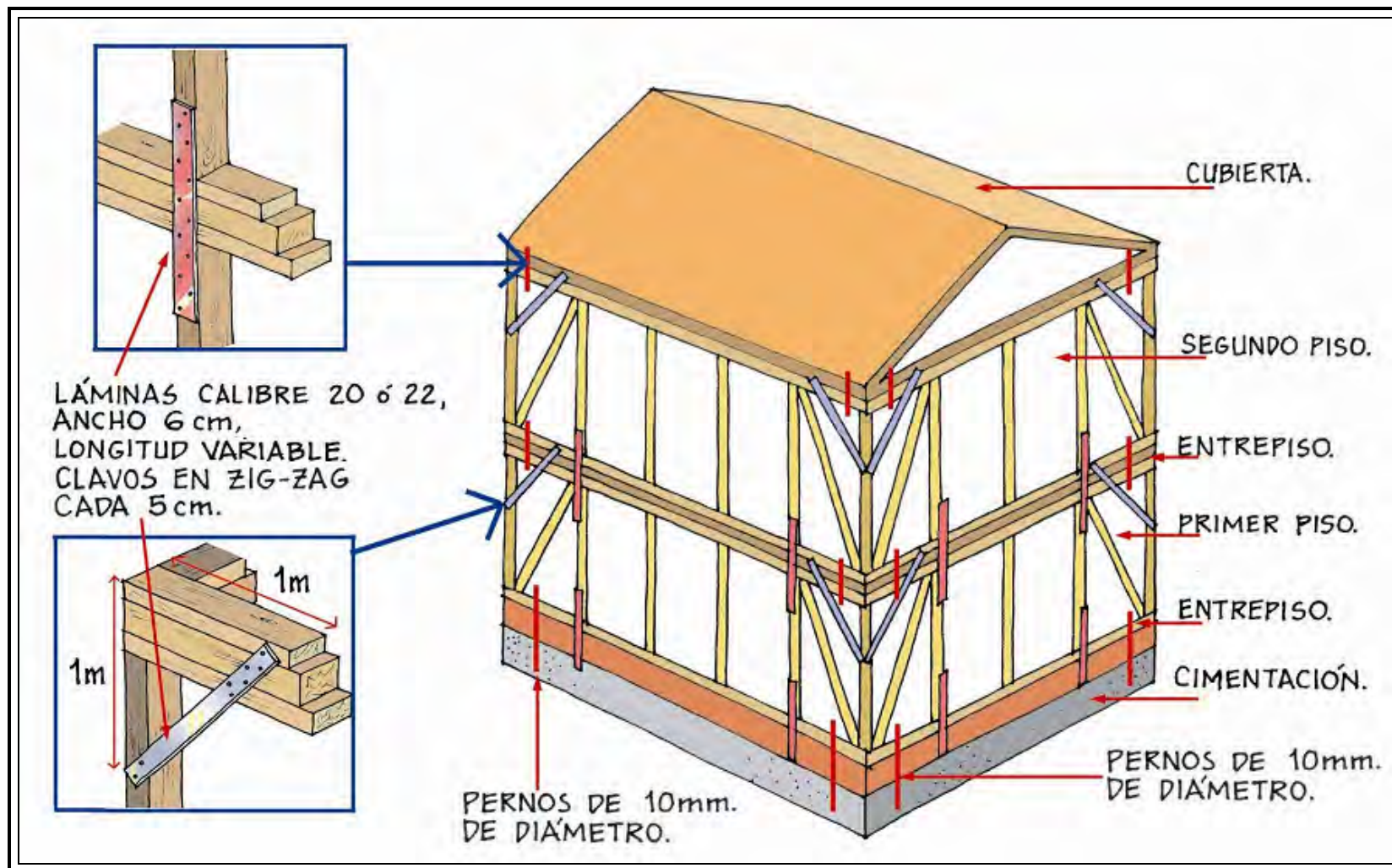
La cubierta debe conectarse con las soleras de manera similar a las conexiones con la cimentación. De igual manera, la cubierta debe conectarse con los pie-derechos de los muros que le sirven de apoyo, con láminas, de manera similar a la descrita para los muros.

Además, para garantizar la recuperación de la rigidez, deben instalarse rigidizadores de lámina en todas las esquinas de los muros estructurales. Los rigidizadores deben formar con la esquina del muro triángulos rectos con catetos de no menos de 1 m. Las láminas deben ser de acero, con calibre 20 o 22, con anchura mínima de 6 cm, clavadas en zig-zag, cada 5 cm.

Se sugiere que las láminas se fabriquen con acero galvanizado. En caso contrario, deben pintarse adecuadamente con pintura anticorrosiva, antes de instalarse.

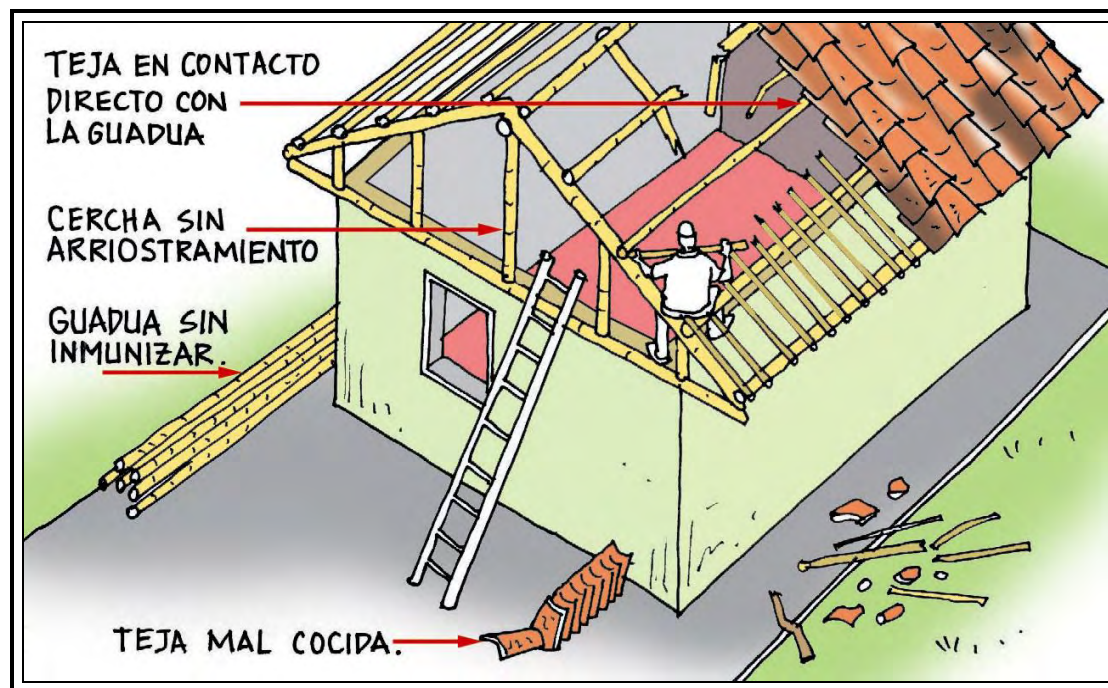
En la siguiente figura se muestra un esquema del procedimiento requerido para recuperar la rigidez de la edificación.

Procedimiento para recuperar la rigidez de una edificación después de un sismo que haya causado daños en muros y revoques.

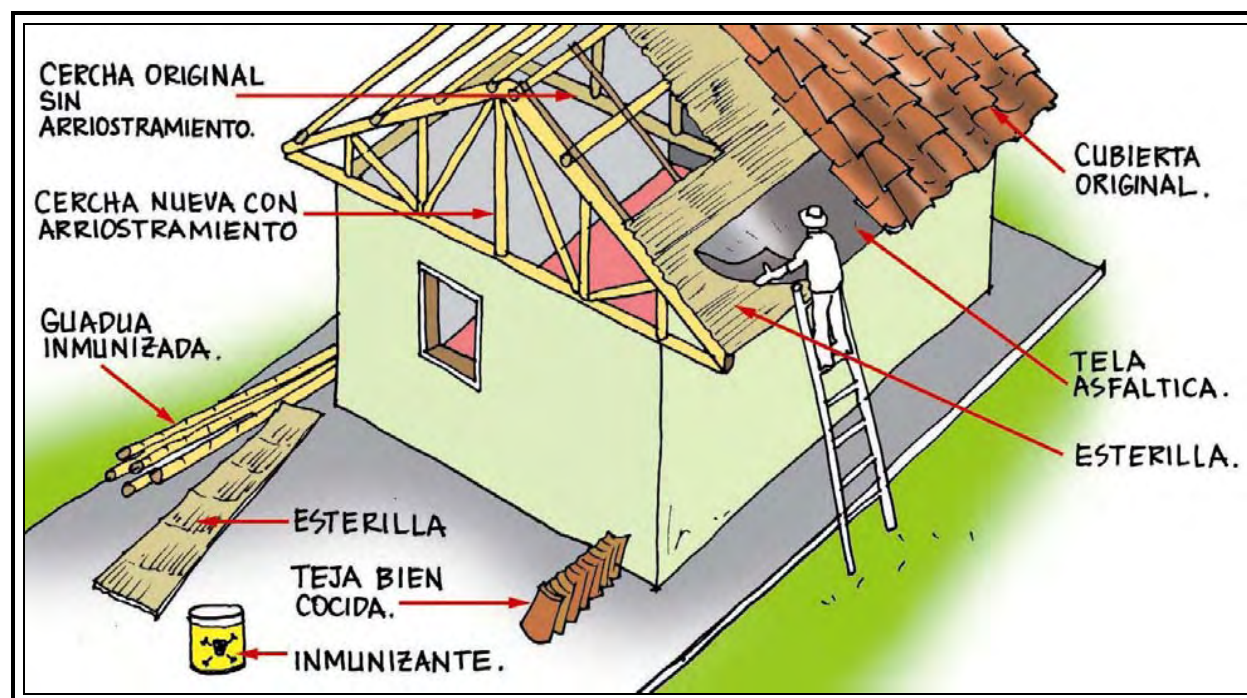


6.3.4 Colapso de cubierta por afectaciones ambientales

- ◆ Reparación: Si el colapso es parcial se repara de la misma forma como esta construida la parte de la cubierta que quedó en pie; si el colapso es total se reconstruye de forma igual a la que tenía antes del daño.

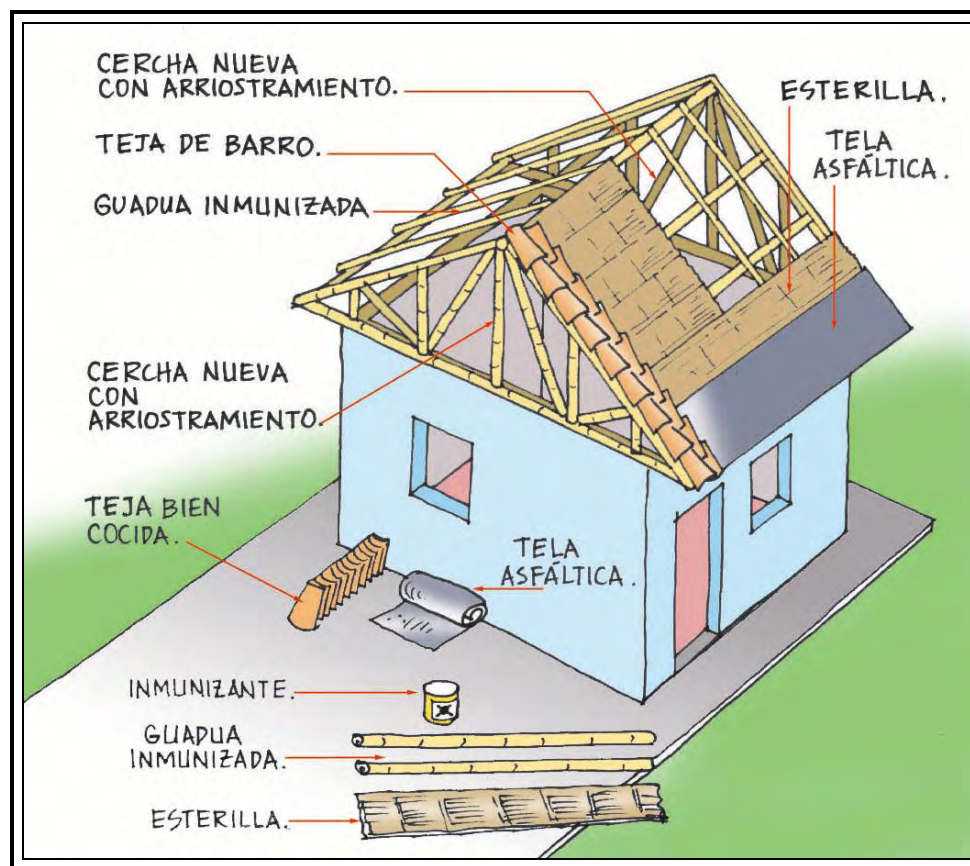


◆ Mejoramiento: Si el colapso es parcial, se repara la zona dañada con la misma técnica utilizada originalmente sin intervenir los elementos estructurales de la zona no afectada, pero se desenteja completamente la cubierta. Todos los elementos nuevos de madera y guadua deben estar inmunizados contra el ataque de insectos y hongos. La parte de la cubierta que no sufrió daños puede tratarse con pentaborato (solución en agua de 2 % de ácido bórico y 1 % de bórax, por peso), aplicado in situ. Si la teja es de barro, se aplica una capa de papel asfáltico para separar la teja de la madera y la guadua para evitar el paso de humedad. Si la teja es de asbesto-cemento se reemplaza por otro tipo de teja libre de asbesto. Si es de fibro-cemento, se coloca de nuevo la misma teja, amarrándola al entramado de madera o guadua para evitar su levantamiento, con amarres que no estén separados entre sí más de 50 cm.



◆ Reestructuración: Reemplazar totalmente la cubierta. La nueva cubierta debe fabricarse con elementos de madera o guadua, o ambos, que estén en buen estado y debidamente inmunizados contra ataque ambiental e insectos xilófagos. Puede tratarse con pentaborato (solución en agua de 2 % de ácido bórico y 1 % de bórax, por peso), por inmersión mínima de 8 horas; para ello deben perforarse los extremos de cada cañuto de cada guadua con agujeros de mínimo 3 mm de diámetro, para facilitar la penetración del tratamiento. Los elementos de la cubierta deben anclarse sobre las soleras, pero el anclaje debe hacerse directamente a los pie-derechos mediante pernos de 10 mm de diámetro embebidos en sus extremos y que atraviesen la solera. Si la teja es de barro, se aplica una capa de papel asfáltico para separar la teja de la madera y la guadua para evitar el paso de humedad. Si la teja es de asbesto-cemento se reemplaza por otro tipo de teja libre de asbesto. Si es de fibro-cemento, se coloca de nuevo la misma teja, amarrándola al entramado de madera o guadua para evitar su

levantamiento, con amarres que no estén separados entre sí más de 50 cm.

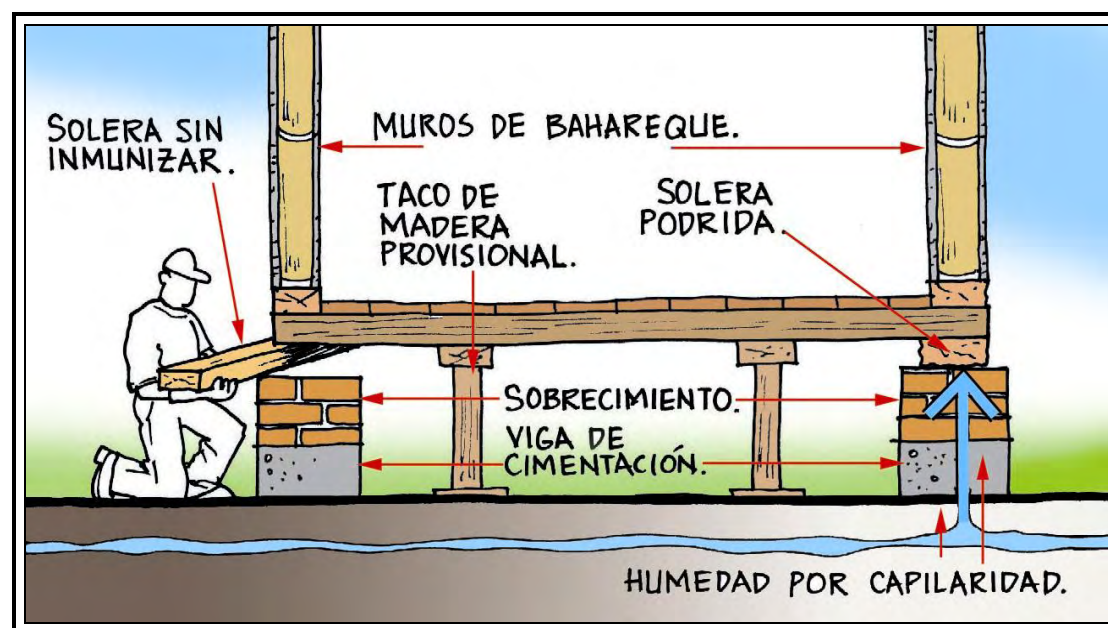


6.3.5 Colapso de cubierta por falla en los apoyos

- ◆ Reparación: Igual que el anterior
- ◆ Mejoramiento: Igual que el anterior
- ◆ Reestructuración: Igual que el anterior

6.3.6 Falla de soportes de madera a cimentación

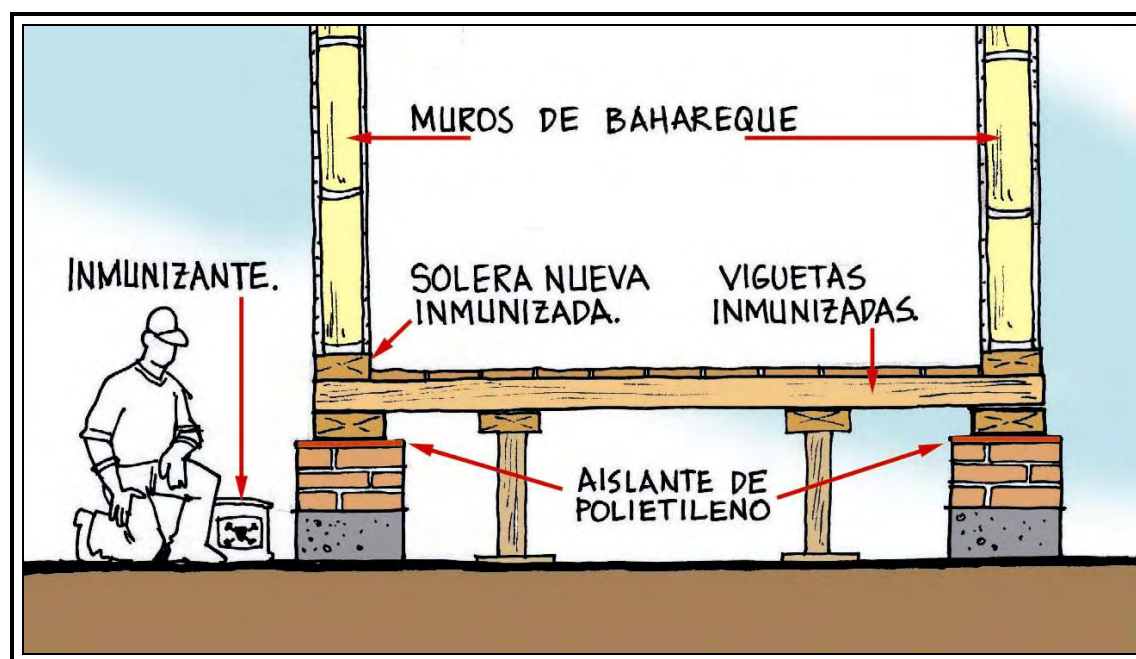
- ◆ Reparación: Por lo general estos elementos fallan debido al debilitamiento previo por exposición ambiental (pudrición), para este tratamiento se recomienda cambiar la solera o los elementos afectados por elementos nuevos, apropiadamente impermeabilizados.



- ◆ Mejoramiento: En este tratamiento se busca proteger el elemento nuevo, se debe aislar la madera del contacto directo con la cimentación por medio de plástico, además todos los elementos nuevos de madera deben ser inmunizados para protegerlos del ataque de insectos, el resto de la edificación se deja como estaba.

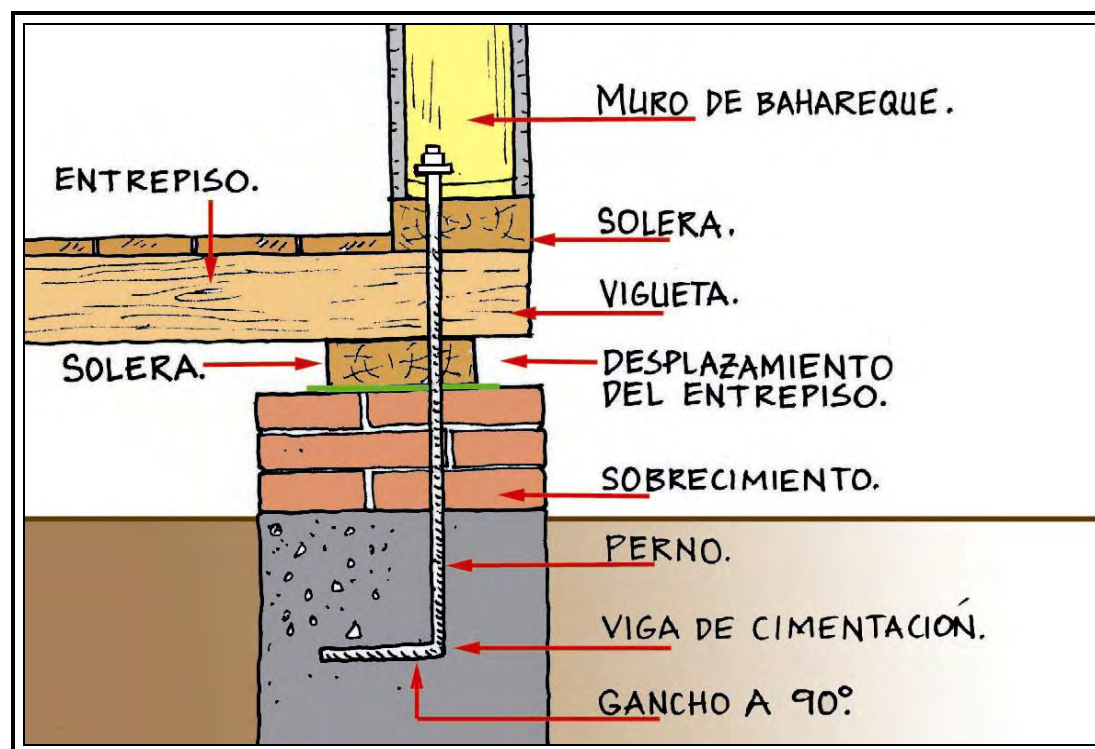


- ◆ Reestructuración: Se cambian los elementos dañados por piezas nuevas de madera, todas las soleras o elementos de madera que estén en contacto directo con el sistema de cimentación deben ser aislados con plástico incluyendo los elementos que no se vana cambiar, todo el sistema deber ser inmunizado tanto las partes nuevas así como las existentes que quedaron en buen estado.



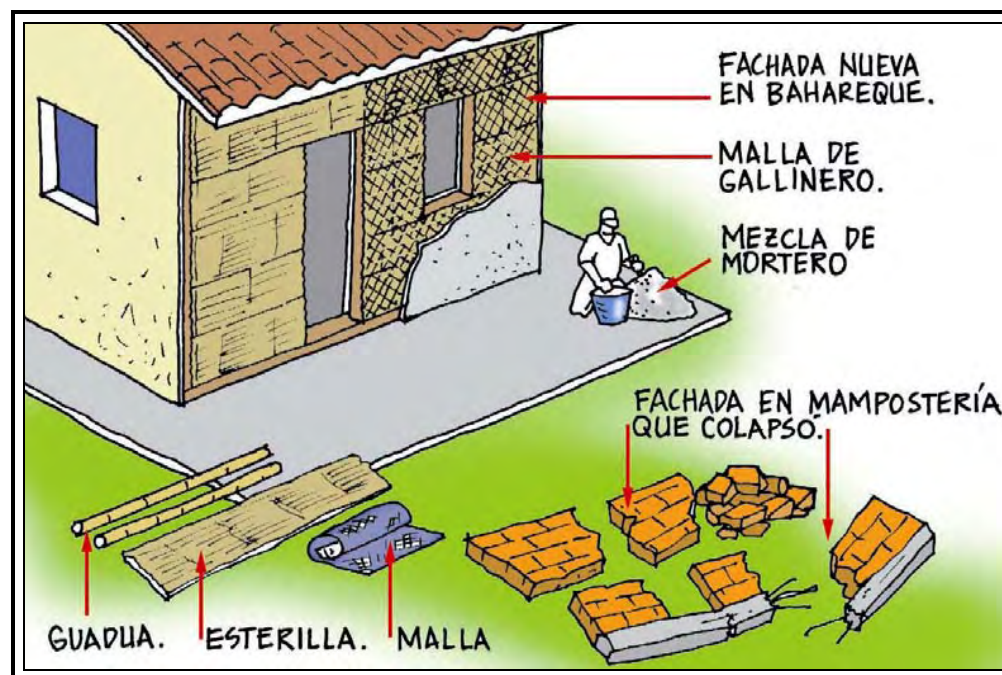
6.3.7 Desplazamiento de muros con respecto a la cimentación

- ◆ Reparación: no hay tratamiento
- ◆ Mejoramiento: No hay tratamiento
- ◆ Reestructuración: Si se presentan deslizamientos del entrepiso del primer piso o de los muros si el piso es de concreto, estos se deben anclar a la cimentación por medio de pernos de ½ pulgada (N° 4) dispuestos en las esquinas, si hay muros de mas de 4 m de longitud deben llevar mínimo tres anclajes.



6.3.8 Daños por interacción entre bahareque y otros materiales

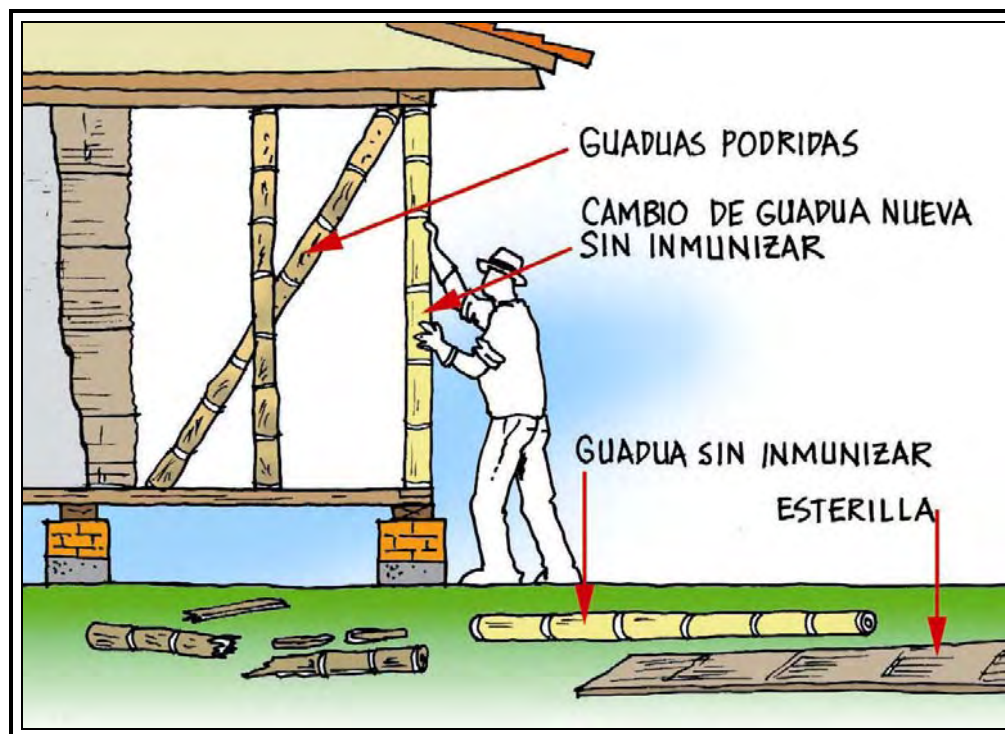
- ◆ Reparación: No hay tratamiento
- ◆ Mejoramiento: No hay tratamiento.
- ◆ Reestructuración: Si el daño de el muro de mampostería fue parcial o si este se cayó hacia la parte frontal de la vivienda, este debe ser reemplazado en su totalidad por un muro nuevo de bahareque, conectado a los muros existentes de la edificación por medio de pernos de diámetro 10 mm dispuestos a $h/3$, el muro deberá estar esterillado, sobre la esterilla se pondrá una malla de gallinero y se le aplicara un revoque de mortero de cemento en proporción una a cuatro si el muro es en la fachada o culatas laterales se recomienda adicionarle una aditivo impermeabilizante integral con el mortero de revoque.



Nota: Si la fachada cayera hacia atrás y destruya gran parte de la edificación, ésta deberá ser reconstruida como una edificación nueva en bahareque encementado, como lo estipula el capítulo E7 de la NSR-98.

6.3.9 Daños por exposición ambiental

◆ Reparación: Si se detecta que algún elemento de la estructura se encuentra podrido, este se debe reemplazar por uno igual en buen estado, además se debe buscar el origen de la afectación y solucionarla.



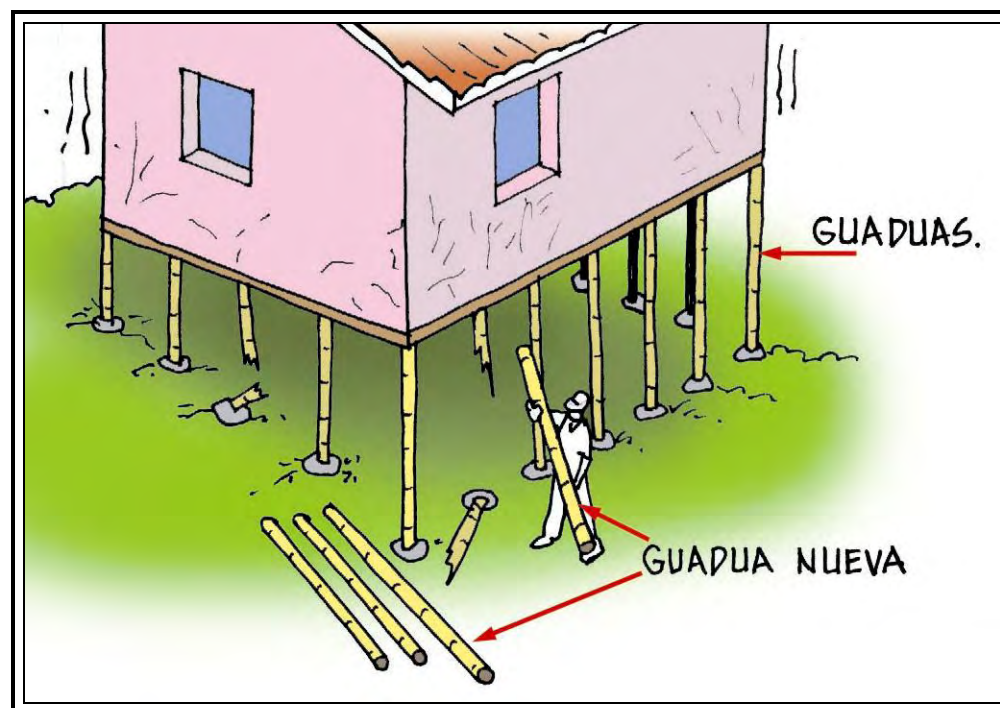
◆ Mejoramiento: se deben reemplazar todos los elementos afectados, si el origen del daño es debido al ataque de insectos los elementos nuevos deben ser inmunizados, también se recomienda hacer reparaciones preventivas y aislar la estructura del contacto directo con la humedad.

◆ Reestructuración: Consiste en cambiar todos los elementos afectados por agentes ambientales en la edificación, tanto las piezas nuevas así como las existentes se deben inmunizar, además hay que identificar la fuente de la afectación, humedades, filtraciones, insectos, etc. También, hacer las obras pertinentes para que no se repita el daño.

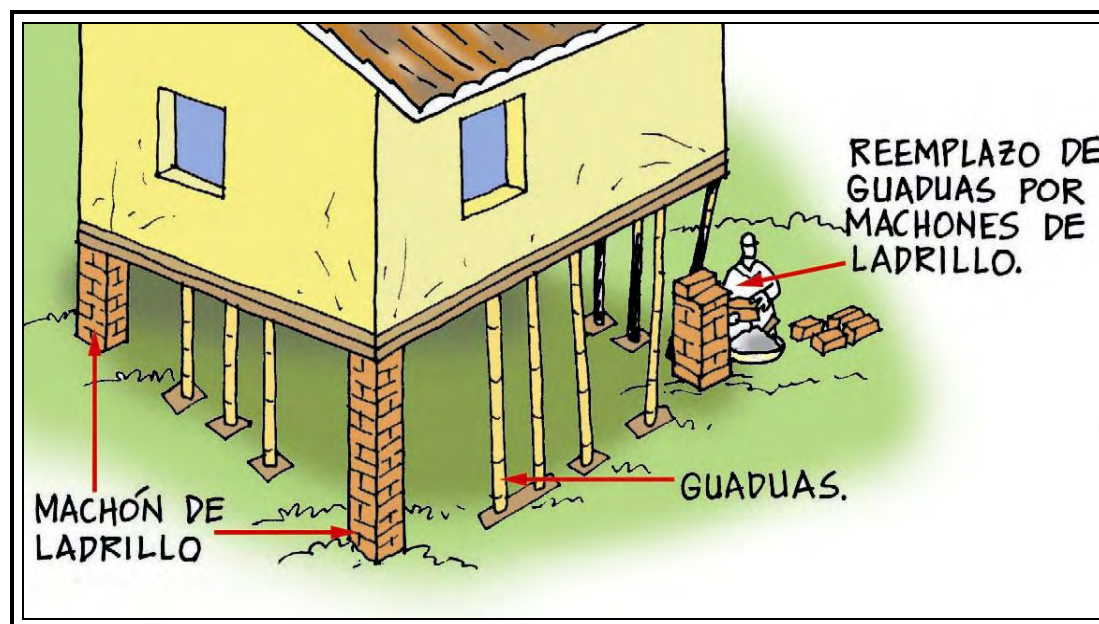


6.3.10 Daños en cimentaciones en ladera

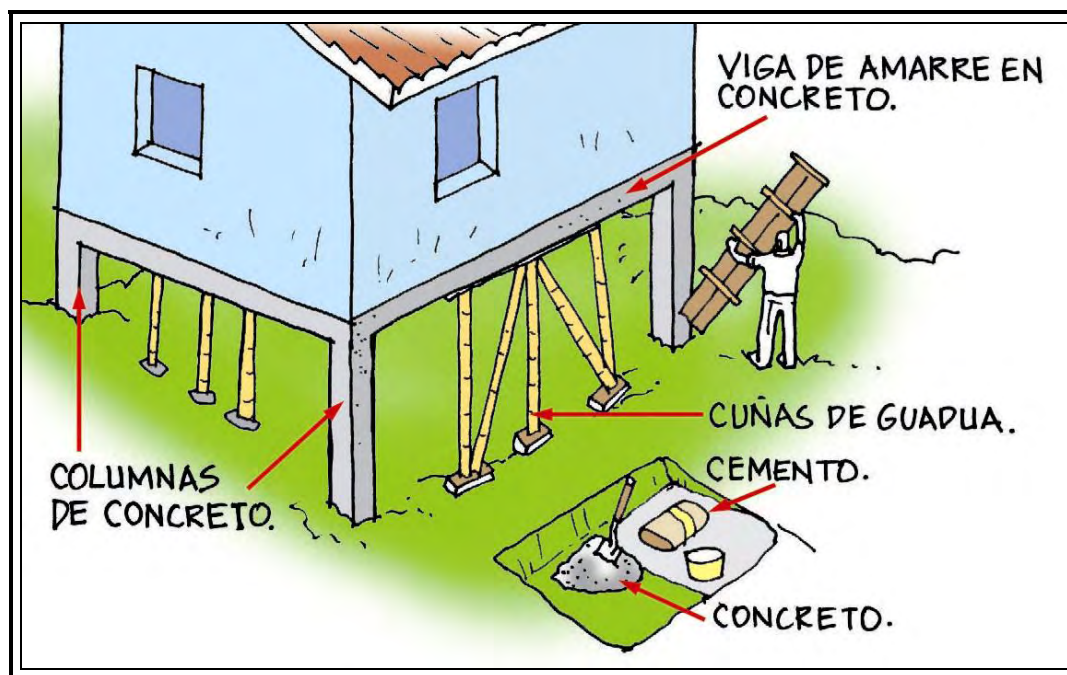
◆ Reparación: Si después del sismo la vivienda sigue en pie y solo se presentó la pérdida de algunas guaduas de apoyo, éstas deben reemplazarse por otras (por claridad, en el gráfico no se muestra el arriostamiento requerido).



◆ Mejoramiento: Existen varios tipos de tratamiento para el mejoramiento de este tipo de problema uno puede ser el cambio de las guaduas por machones de mampostería reforzada, o de concreto estructural para soportar la casa.

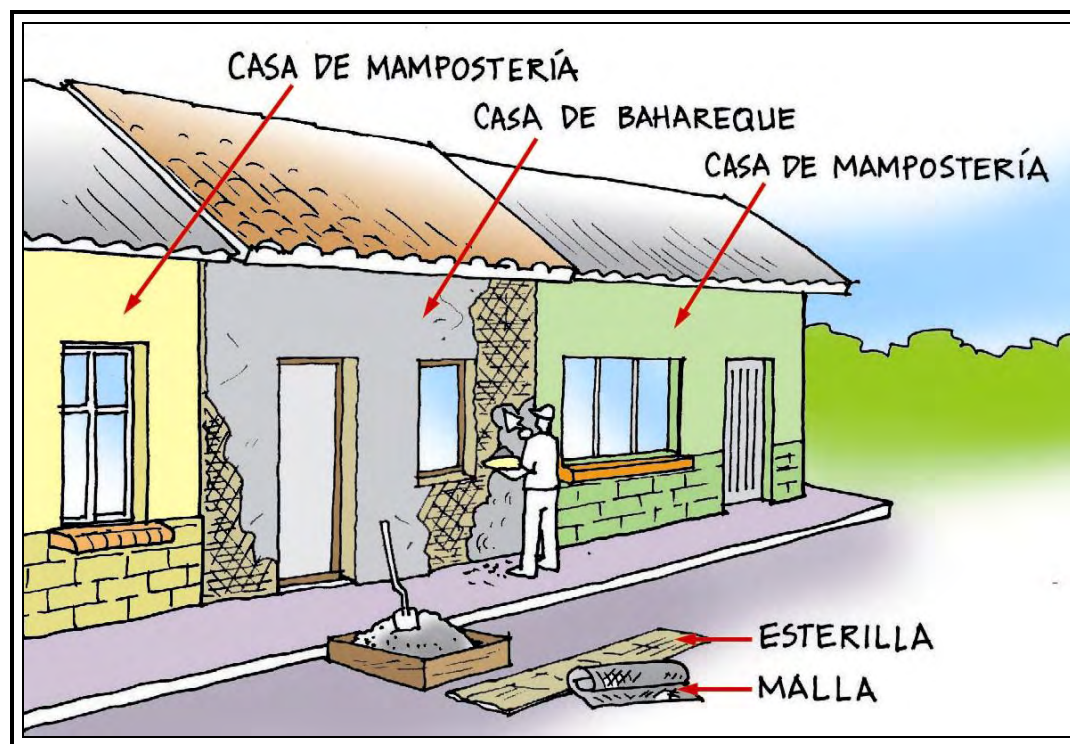


- ◆ Reestructuración: Se debe construir un sistema de pórticos de concreto reforzado para soportar la casa.



6.3.11 Daños por colindancia con estructuras de otros materiales

◆ Reparación: Por lo general los daños se presentan en los revoques de la edificación, la reparación consiste en reemplazar los revoques afectados, con las características ya descritas.



- ◆ Mejoramiento: No hay tratamiento
- ◆ Reestructuración: Establecer una junta sísmica ente la construcción de bahareque y las vecinas, reconstruyendo todos los muros que colindantes.

7 Referencias

- ✓ Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. 2001. Manual de construcción sismo resistente de viviendas en bahareque encementado. AI S. Bogotá D.C.
- ✓ Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2002. Estudios de Vulnerabilidad Sísmica, Rehabilitación y Refuerzo de Casas de Bahareque, Fase I.
- ✓ Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. 2004. Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistentes, NSR-98 (Ley 400 de 1997, y sus decretos reglamentarios). AI S. Bogotá D.C.
- ✓ Coburn, Andrew y Spence, Robin, 1992. Earthquake Protection. Wiley, Londres.
- ✓ Earthquake Engineering Research Institute - EERI . 1996. Post-Earthquake Investigation Field Guide. Oakland.
- ✓ Farbiarz Josef et. al., Conexiones, Elementos y Ensamblajes de Bahareque, Resultados Experimentales, I Congreso Internacional de Ingeniería Sísmica, Universidad de los Andes, 2001.
- ✓ Farbiarz Josef, Informe final de la Experimentación de la Fase I del Proyecto de Evaluación y Rehabilitación de Edificaciones de Bahareque Existente, 2002, Inédito.
- ✓ Farbiarz Josef, Informe final de la Experimentación de la Fase II del Proyecto de Evaluación y Rehabilitación de Edificaciones de Bahareque Existente, 2004, Inédito.
- ✓ Federal Emergency Management Agency. 1992. NEHRP Handbook for the seismic evaluation of existing buildings. FEMA-178. Washington.

- ✓ Hammond David J. 1992. Patterns Structure collapse and Hazard Identification. Structural Engineer.
- ✓ López Oscar y Teshigawana Masaomi. 1997. Cuadernos de Investigación No 40: Informe de Daños en edificaciones durante el Sismo de Colima del 9 de Octubre de 1995 en la Zona Epicentral. Centro Nacional de Prevención de Desastres. México, D.F.
- ✓ Rodríguez Edgar. 1993. Plan de Evaluación Post-Sísmica PETS. INGEOMINAS.
- ✓ Takeshi Jumonji. 1996. Cuaderno de Investigación No 36: Norma para la evaluación del nivel de daño por sismo en estructuras y Guía Técnica de Rehabilitación (estructuras de madera). Centro Nacional de Prevención de Desastres. México, D.F.
- ✓ Universidad de los Andes. 2002. Manual para la Rehabilitación de Viviendas Construidas en Adobe y Tapia Pisada. Corporación La Candelaria. Bogotá. Diciembre de 2002.

Este manual ha sido elaborado por la **ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA - AIS**, entidad sin ánimo de lucro fundada en 1975, cuyo objetivo ha sido la investigación y promoción de la seguridad sísmica en el territorio nacional. Sus principales aportes al desarrollo del país han sido la realización de los estudios de amenaza sísmica a nivel nacional y la elaboración de normas para la protección sísmica de edificaciones.

En relación con la normativa sismorresistente, su primer aporte de carácter legal correspondió al Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes en 1984. Más recientemente realizó las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente, que se aprobaron mediante la Ley 400 de 1997 y el Decreto 33 de 1998, conocidas como las Normas NSR-98, en las cuales se incluyeron disposiciones para el diseño simplificado y la construcción de casas de uno y dos pisos; también conocidas como el Título E. Posteriormente, después de una investigación tecnológica cuidadosa, mediante el Decreto 52 de 2002, se incorporó en dicho título la construcción de viviendas en bahareque encementado, atendiendo la necesidad de perfeccionar una técnica constructiva tradicional de especial importancia en la región centro-occidente del país. Esta parte de la normativa se ha venido promoviendo y divulgando mediante una guía similar denominada "Manual de Construcción Sismo Resistente de Viviendas en Bahareque Encementado".

Teniendo en cuenta la necesidad de contar con una guía técnica para la reparación y rehabilitación de bahareques tradicionales, producto de estudios detallados en laboratorios de estructuras en varias universidades del país, la AIS ha desarrollado adicionalmente el presente manual para que sirva de guía para la intervención de edificaciones de bahareque existentes, construidas antes de la vigencia de las Normas NSR-98. Es importante indicar que este manual no ha sido concebido para la construcción de viviendas nuevas ni para la ampliación de viviendas existentes. Por lo tanto, en cualquier caso, su contenido debe entenderse como una serie de recomendaciones técnicas idóneas para la reparación, mejoramiento o reestructuración de viviendas existentes, tal como aquí se definen, y no como una normativa legal para la intervención de estructuras. La AIS no se hace responsable por los resultados de la aplicación incorrecta de las recomendaciones aquí contenidas; en consecuencia, confía que su utilización se realice con la asesoría de un ingeniero civil o un arquitecto competente.



**ASOCIACION COLOMBIANA DE
INGENIERIA SISMICA**