



**COMISIÓN ASESORA PERMANENTE PARA EL RÉGIMEN
DE CONSTRUCCIONES SISMO RESISTENTES**
(Creada por medio de la Ley 400 de 1997)

RESOLUCIÓN NÚMERO 0020 DEL XX DE XXXXX DE 2021

“Por medio de la cual se adoptan recomendaciones y lineamientos técnicos para la construcción de viviendas de uno y dos pisos resistentes a vientos, huracanes y sismos en el archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina”

**LA COMISIÓN ASESORA PERMANENTE PARA EL RÉGIMEN
DE CONSTRUCCIONES SISMO RESISTENTES**

En ejercicio de las facultades que le confiere el artículo 41 de la Ley 400 de 1997, y

CONSIDERANDO:

Que de acuerdo con el numeral 6º del artículo 41 de la Ley 400 de 1997, la Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes tiene la función de coordinar las investigaciones sobre las causas de fallas de estructuras y emitir conceptos sobre la aplicación de las normas de construcciones sismo resistentes.

Que de igual forma, el numeral 7º del artículo 41 de la Ley 400 de 1997, señala que la Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes sirve de órgano consultivo del Gobierno Nacional frente a los aspectos técnicos que demande el desarrollo de las normas sobre construcciones sismo resistentes.

Que el 17 de noviembre de 2020 mediante el Boletín 24, el IDEAM declara el Estado de Alarma con Nivel de peligrosidad Alta Huracán y Categoría 4. Señala el citado Boletín que a las 19:00 HLC, el huracán IOTA mantiene su intensidad en categoría 4, localizado cerca de la latitud 13.7 n, longitud 83.9 w. con vientos máximos sostenidos de 115 nudos (210 km/h), moviéndose hacia el oeste a 8 nudos (15 km/h) con presión mínima central de 935 MB. De acuerdo con el NHC, se mantiene aviso de tormenta tropical para el departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina.

Que en visita y sobrevuelo de verificación a la Isla de Providencia, el día martes 17 de noviembre de 2020, se evidenciaron afectaciones en más del 95%, generando daños graves en las viviendas, infraestructura hospitalaria, educativa, comercio, y daños ambientales, que impactan gravemente el orden económico y social de su población.

Que igualmente en la Isla de San Andrés, se generaron afectaciones de gran magnitud, haciendo necesarias la toma de medidas urgentes y excepcionales para conjurar y sortear la crisis del Departamento, determinantes para la declaratoria de desastre y calamidad pública conforme a lo establecido en el artículo 59 de la Ley 1523 de 2012.

Que mediante acta del 17 de noviembre de 2020 el Consejo Nacional para la Gestión del Riesgo, teniendo en cuenta la situación constitutiva de desastre en los términos de la Ley 1523 de 2012 y de acuerdo con la información suministrada por la UNGRD, recomendó al Presidente de la República declarar la situación de desastre en el Departamento del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina.

Que el Presidente de la República haciendo uso de sus facultades constitucionales y legales, declaró la existencia de una situación de desastre en el Departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina a través de la expedición del Decreto 1472 del 18 de noviembre de 2020, por el término de doce (12) meses, teniendo en cuenta la información registrada por la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres - UNGRD.

Que en el parágrafo del artículo 4 de la declaratoria, conforme lo determina el artículo 61 de la Ley 1523 de 2012, dentro de las líneas de acción del Plan de Acción Específico se encuentra: "(...) 5. Recuperación y/o Construcción de vivienda (averiada y destruida)". (...)"

Que bajo el principio de diversidad cultural establecido en la Constitución Política y en la Ley 1523 de 2012, en reconocimiento de los derechos económicos, sociales y culturales de las personas, los procesos de la gestión del riesgo deben ser respetuosos de las particularidades culturales de cada comunidad y aprovechar al máximo los recursos culturales de la misma, lo cual tiene una especial importancia en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina.

Con base en lo anterior, y teniendo en cuenta que es de interés del Gobierno Nacional, agilizar los procesos de rehabilitación y reconstrucción de tal manera que se realice en el menor tiempo posible el tránsito de la fase de atención de la emergencia hacia la recuperación y reconstrucción de las viviendas afectadas en el departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, se requiere la adopción de recomendaciones y lineamientos técnicos para la construcción de viviendas de uno y dos pisos resistentes a vientos, huracanes y sismos en el archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina.

Hoja No. 2

Secretaría de la Comisión:

ais Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica

Carrera 19A N° 84-14 Oficina 502 • Bogotá, D. C., COLOMBIA • Teléfono: +57-1-530-0826 • asosismica@gmail.com

Que, en mérito de lo expuesto,

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO. La Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes adopta una serie de recomendaciones y lineamientos técnicos para la construcción de viviendas de uno y dos pisos resistentes a vientos, huracanes y sismos en el archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, mediante los documentos denominados “*RECOMENDACIONES Y LINEAMIENTOS TÉCNICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS DE UNO Y DOS PISOS RESISTENTES A VIENTOS, HURACANES Y SISMOS EN EL ARCHIPIÉLAGO DE SAN ANDRÉS, PROVIDENCIA Y SANTA CATALINA*” y “*RECOMENDACIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS DE UNO Y DOS PISOS EN MADERA Y BAHAREQUE ENCEMENTADO RESISTENTES A HURACANES, PARA EL ARCHIPIELAGO DE SAN ANDRÉS, PROVIDENCIA Y SANTA CATALINA, COLOMBIA*”, los cuales hacen parte integral de la presente resolución.

ARTÍCULO SEGUNDO. La presente Resolución rige a partir de la fecha de su publicación en el Diario Oficial.

NOTIFÍQUESE Y CÚMPLASE

Dada en Bogotá D.C. el día xx de xxxxx de 2021.

EDUARDO CASTELL RUANO

Secretario de la Comisión Asesora Permanente
Presidente de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica — AIS

**RECOMENDACIONES GENERALES
PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN
DE VIVIENDAS EN ZONAS PROPENSAS
A HURACANES Y AMENAZA SÍSMICA**



**Asociación Colombiana
de Ingeniería Sísmica**

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA - AIS

Bogotá D.C., enero de 2021

Documento elaborado por:

Ing. Luis Felipe López M.
Ing. Yosef Farbiarz F.
Ing. María Del Pilar Duque U.
Ing. Lina María González M.

Con la colaboración de:

Ing. Juan Francisco Correal D.
Ing. José Joaquín Álvarez E.
Ing. Eduardo Castell R.
Ing. Angel David Guerrero R.

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1 – INTRODUCCIÓN	1
1.1 – Alcance	2
CAPÍTULO 2 – EFECTOS PRINCIPALES DEBIDOS A CARGAS LATERALES POR VIENTOS FUERTES O SISMOS	3
2.1 – Vuelco	4
2.2 – Levantamiento.....	4
2.3 – Deslizamiento	4
2.3 – Inclinación.....	4
2.3 – Inundación.....	4
CAPÍTULO 3 – RECOMENDACIONES GENERALES	5
3.1 – Localización de la vivienda	5
3.2 – Geometría y forma de la vivienda.....	7
3.2.1 – Forma de la cubierta.....	7
3.2.2 – Relación de aspecto en planta	9
CAPÍTULO 4 – BIBLIOGRAFÍA	11

CAPÍTULO 1 – INTRODUCCIÓN

El 15 de noviembre de 2020, el huracán Iota, de categoría 5 en la escala Saffir-Simpson, impactó el archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina en el Caribe Colombiano; este evento causó grandes destrozos, especialmente en la isla de Providencia, la cual fue completamente devastada, destruyendo y afectando seriamente la mayoría de las construcciones existentes en la isla.

Las edificaciones de vivienda del archipiélago están construidas con estructuras de mampostería de arcilla, estructuras de concreto, estructuras de acero y estructuras de madera.

Algunas de las causas principales de los daños fueron:

- Poca resistencia de muros estructurales ante cargas laterales.
- Conexión inadecuada entre elementos estructurales.
- Conexión inadecuada entre muros estructurales y cimentación
- Conexión inadecuada entre muros estructurales y cubierta.
- Ausencia de un diafragma resistente en el nivel de cubierta.

Reconstrucción de Edificaciones

Para la reconstrucción de edificaciones deberá utilizarse el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR10 vigente específicamente el Capítulo A.10 Evaluación e Intervención de edificaciones construidas antes de la vigencia de la presente versión del Reglamento.

Ya que la arquitectura con madera es parte intrínseca de la tradición local, es imperativo que se generen recomendaciones técnicas que permitan el desarrollo de estas tecnologías, pero incluyendo especificaciones para atender la demanda por cargas laterales debidas a vientos fuertes y sismos.

El diseño estructural de las edificaciones según el material que compone la estructura deberá hacerse siguiendo las directrices de los títulos específicos del Reglamento NSR-10 indicados a continuación:

Título B para cargas

Título C para concreto estructural

Título D para mampostería estructural

Título E para casas de uno y dos pisos en mampostería confinada y bahareque encementado

Título F para estructuras metálicas

Título G para estructuras de madera y guadua

En el documento denominado *RECOMENDACIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS DE UNO Y DOS PISOS EN MADERA Y BAHAREQUE ENCEMENTADO RESISTENTES A HURACANES, PARA EL ARCHIPIELAGO DE SAN ANDRÉS, PROVIDENCIA Y SANTA CATALINA, COLOMBIA* se presenta un compendio de guías y manuales de construcción, así como normas de diseño estructural que podrían ser usadas para la reconstrucción de las edificaciones de las Islas usando madera y guadua como material estructural; no obstante, dicho documento es una recomendación y no se constituye en un manual de construcción, ni tampoco una norma de diseño.

1.1 – Alcance

El presente documento establece recomendaciones y lineamientos generales para la construcción de viviendas de uno y dos pisos para que sean resistentes a vientos, huracanes y sismos, para el archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Estas recomendaciones están dirigidas a todos los profesionales de la ingeniería y la arquitectura que trabajan en el diseño y construcción de vivienda. En este documento se establecen las condiciones estructurales que permitan un funcionamiento adecuado de las viviendas de uno y dos pisos ante cargas laterales y verticales generadas por huracanes y sismos y verticales generadas por cargas gravitacionales.

1.2 – Diseño Arquitectónico

De acuerdo con el literal A.1.3.3 del Reglamento NSR-10 vigente,

A.1.3.3 — DISEÑO ARQUITECTÓNICO — El proyecto arquitectónico de la edificación debe cumplir la reglamentación urbana vigente, los requisitos especificados en el Título J y en el Título K del Reglamento NSR 10 para medios de evacuación, protección contra incendios, la señalización de los medios de evacuación, los materiales apropiados para la protección contra incendios de los medios de evacuación y elementos de seguridad anti impacto o caída como barandas y elementos vidriados, y además debe indicar, para efectos de este Reglamento, los grupos de ocupación de cada una de las partes de la edificación, número de personas para las cuales está diseñado el espacio, y su clasificación dentro de los grupos de uso definidos en el Capítulo A.2, el tipo de cada uno de los elementos no estructurales y el grado de desempeño mínimo que deben tener de acuerdo con los requisitos del Capítulo A.9. El proyecto arquitectónico debe ir firmado por un arquitecto con matrícula profesional vigente. Cuando los planos arquitectónicos incluyan los diseños sísmicos de los elementos no estructurales, éstos deben ir firmados por un profesional facultado para este fin. Véase A.1.3.6 y el literal (h) de A.6.5.2.3 sobre separación sísmica de edificaciones adyacentes.

Para la reconstrucción se recomienda utilizar las tipologías de vivienda seleccionadas de acuerdo con la convocatoria realizada por la Sociedad Colombiana de Arquitectos – SCA con el respaldo del Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), la Región de Arquitectos del Grupo Andino (RAGA) y la Federación Panamericana de Asociaciones de Arquitectos (FPAA), denominada *DISEÑO ARQUITECTÓNICO DE TIPOLOGÍAS DE VIVIENDA PARA LOS HABITANTES AFECTADOS POR EL HURACÁN IOTA DE LAS ISLAS CARIBEÑAS DE PROVIDENCIA Y SANTA CATALINA*.

<https://sociedadcolombianadearquitectos.org/portfolio/convocatoria-providencia-y-santa-catalina/>

CAPÍTULO 2 – EFECTOS PRINCIPALES DEBIDOS A CARGAS LATERALES POR VIENTOS FUERTES O SISMOS

Las cargas laterales a las que se pueden ver sometidas las edificaciones se producen principalmente por la presión o la succión ejercidas por el viento y a las fuerzas inerciales debido a la vibración del terreno en eventos sísmicos. Durante un huracán, las edificaciones se ven sometidas a fuertes vientos, pero, además, estos fenómenos atmosféricos pueden venir acompañados por inundaciones, marejadas ciclónicas, deslizamientos de tierra, entre otros.

Durante un sismo, la vibración del terreno somete a las edificaciones a fuerzas inerciales laterales, pero, también puede producir derrumbes que generen empujes directos en las edificaciones localizadas en las partes bajas de un talud o el colapso de ésta si se ubica en orilla del talud, o represamientos de quebradas y ríos que, a su vez, resulten finalmente en avalanchas.

En la Figura 1 se muestran los efectos más usuales debidos a huracanes sobre viviendas.

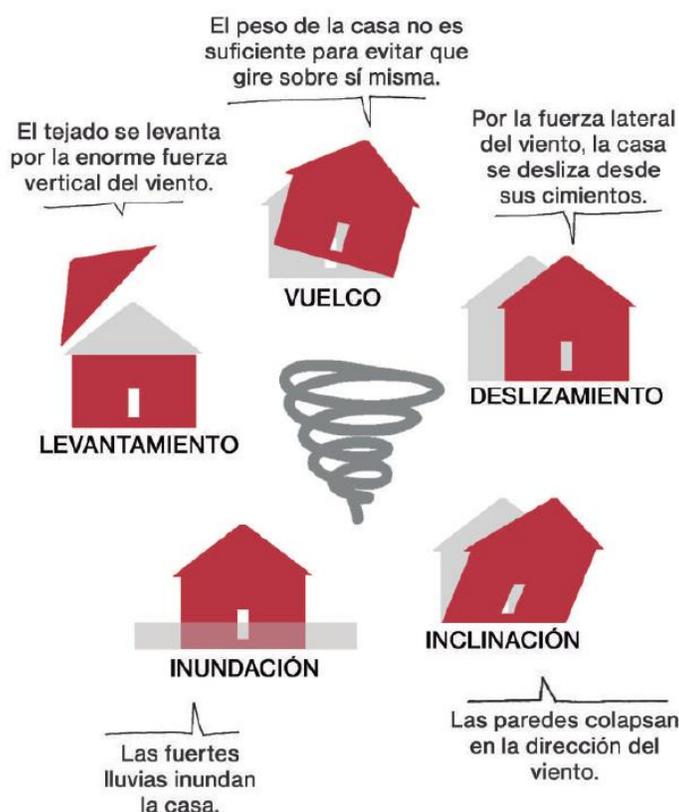


Figura 1. Efectos sobre vivienda debido a huracanes (Hábitat para la Humanidad, 2017)

2.1 – Vuelco

Este tipo de falla se presenta debido a un inadecuado sistema de anclaje de los muros de la vivienda contra la cimentación, sumado al bajo peso de las edificaciones; otra razón para una falla por vuelco es debido a la gran altura de las áreas expuestas en viviendas con relaciones de aspecto en planta Longitud/Ancho ($L/B > 3$)

2.2 – Levantamiento

La falla por levantamiento se puede presentar tanto en la cubierta como de forma global en la vivienda, generalmente se presenta por ausencia de conexiones que puedan resistir las presiones de succión debidas a viento.

2.3 – Deslizamiento

También conocida como falla por cortante en la base, se presenta cuando los anclajes de los muros a la cimentación son insuficientes para resistir las fuerzas horizontales producto de la presión del viento o las fuerzas inerciales por sismo sobre la edificación.

2.3 – Inclinación

Se presenta cuando el sistema de resistencia contra cargas laterales no tiene la rigidez suficiente para impedir una deformación excesiva de la vivienda.

2.3 – Inundación

Los huracanes por lo general vienen acompañados de lluvias torrenciales; si la edificación se encuentra cerca de un río o drenaje natural es muy posible que se vea expuesta a inundaciones. Si la edificación se encuentra muy cerca de la línea costera es posible que sea afectada por la marejada ciclónica. Las marejadas ciclónicas son mucho más destructivas que el viento y son responsables de hasta el 90% de las víctimas fatales en ciclones tropicales (Resio & Westerink, 2008).

CAPÍTULO 3 – RECOMENDACIONES GENERALES

Para diseñar y construir viviendas resistentes a cargas laterales, deben tenerse en cuenta varios aspectos tales como:

- Localización de la vivienda.
- Geometría y forma de la vivienda.
- Materiales.
- Sistema de resistencia a fuerzas horizontales

Los anteriores puntos son claves para poder obtener una vivienda segura, que resista huracanes y proteja la vida de las personas que en ella habitan.

Si no se siguen estas recomendaciones en edificaciones con sistema principal resistente a fuerzas de viento o sismo, es muy posible que la edificación sufra algún tipo de daño durante el evento eólico o incluso presente colapso total o parcial.

3.1 – Localización de la vivienda

Un adecuado emplazamiento de la vivienda puede marcar la diferencia entre la supervivencia de la edificación o su total colapso. Deben considerarse las siguientes variables para construir una vivienda en una zona susceptible a vientos huracanados.

- Distancia a la línea costera (protección contra marejada ciclónica)

Las marejadas ciclónicas son quizás los fenómenos más destructivos durante un huracán, inclusive, más aún que el viento (véase la Figura 2). La mejor forma de prevenir la afectación por marejadas ciclónicas es localizando las viviendas lo más retirado de la línea de costa; sin embargo, algunas veces esto no es posible debido a aspectos comerciales o limitaciones de espacio, casos en los cuales se debe conocer muy bien el mapa de vulnerabilidad a inundaciones ciclónicas y evacuar estas áreas siempre que se aproxime un huracán; también se pueden elevar las edificaciones con palafitos reforzados con diagonales que garanticen el paso de las olas por debajo de la edificación; pero en cualquier situación, las zonas de costa deberán estar evacuadas durante la ocurrencia de huracanes.

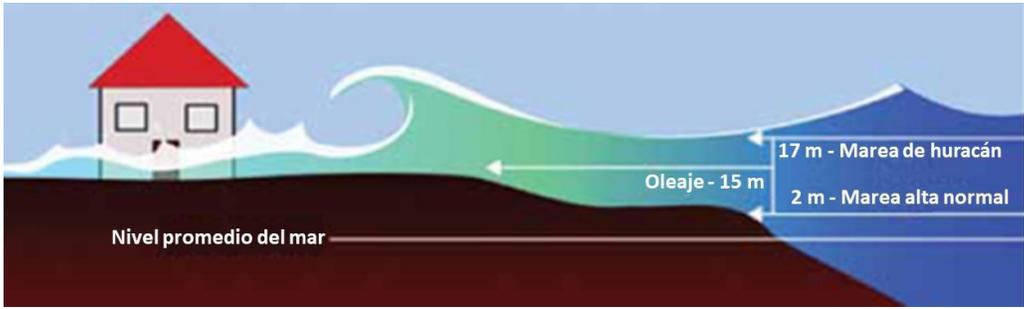


Figura 2. Marejada Ciclónica (Texas General Land Office, 2013)

- Zona no inundable

Se recomienda construir las casas lo más alejado posible de las fuentes de agua como ríos o drenajes naturales, debido a que durante los huracanes se presentan lluvias de gran intensidad que pueden inundar las zonas aledañas a los cauces. Se deben respetar las distancias mínimas establecidas en las normas urbanísticas.

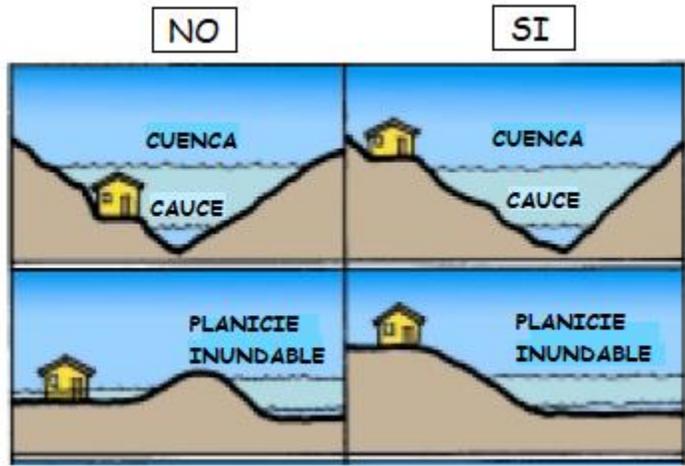


Figura 3. Zona inundable (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2000)

- Zonas propensas a vientos más fuertes

Se debe evitar localizar las viviendas en la cima de una colina; los vientos tienden a ser más fuertes a mayor altura, además la edificación quedaría expuesta por todos sus lados.



Figura 4. Vivienda en la zona de una colina (Hábitat para la Humanidad, 2017)

- Zonas propensas a derrumbes o deslaves

No se debe ubicar la casa en zonas inestables de laderas o que presenten riesgo de derrumbe. Si se hacen cortes en la ladera, éstos deben tener en cuenta las obras necesarias de contención que garanticen la estabilidad del terreno y las obras de drenaje que encaucen la escorrentía de las aguas lluvias para evitar la saturación del terreno durante el evento eólico.

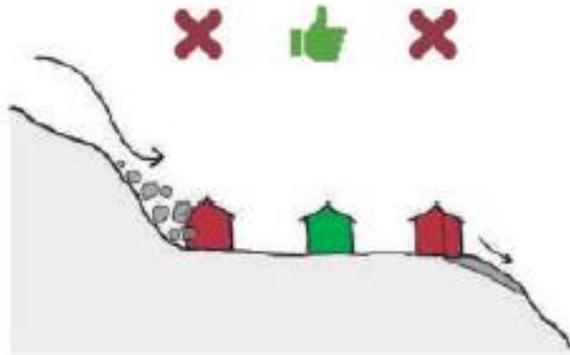


Figura 5. Zona de derrumbe (Hábitat para la Humanidad, 2017)

3.2 – Geometría y forma de la vivienda

La forma de la cubierta, así como la relación de aspecto en planta (L/B) de una vivienda, puede ser la diferencia entre el colapso y la supervivencia durante un huracán.

3.2.1 – Forma de la cubierta

Las cubiertas a cuatro aguas tienen un mejor desempeño durante los huracanes, debido a que se reduce el área de presión en todas las caras; consecuentemente, las cubiertas a dos

aguas son más vulnerables y requieren de mayor refuerzo, mientras que las cubiertas a una sola agua no son recomendables en zonas propensas a huracanes.

El ángulo de inclinación de la cubierta también es un factor importante para el diseño; ángulos entre 20° a 30° son los que mejor desempeño tienen durante los huracanes.



This Photo by Unknown Author is licensed under CC BY-NC

Figura 6. Cubierta de cuatro aguas



This Photo by Unknown Author is licensed under CC BY-NC

Figura 7. Cubierta de dos aguas



[This Photo](#) by Unknown Author is licensed under [CC BY-NC](#)

Figura 8. Cubierta de un agua

3.2.2 – Relación de aspecto en planta

Sin importar el material usado, siempre es muy importante mantener una relación de aspecto en planta L/B equilibrada; para zonas con vientos huracanados de hasta 250 km/h se recomienda una relación de aspecto $L/B < 2.4$

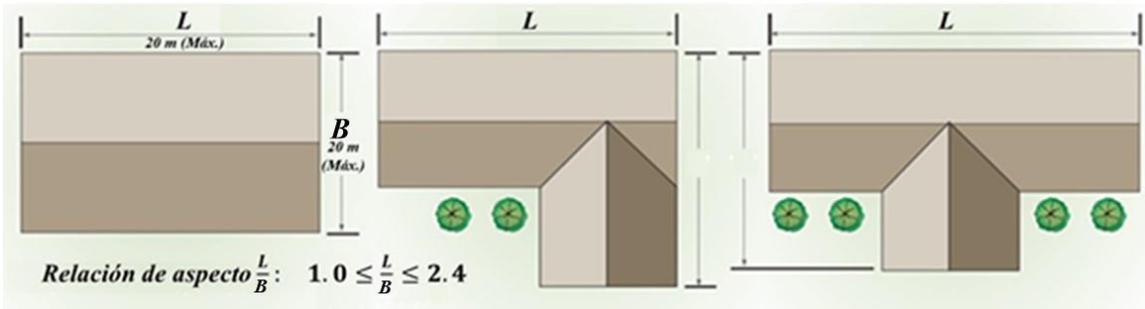
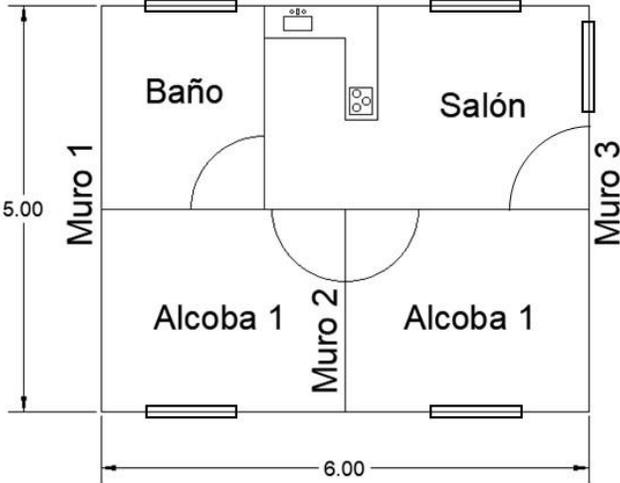


Figura 9. Relación de aspecto en planta (American Wood Council, 2015)



CAPÍTULO 4 – BIBLIOGRAFÍA

American Wood council. (2018). *WFCM 2018, Workbook, Design of wood frame buildings for high winds, snow, and seismic loads*. Leesburg, Virginia, USA: American Wood Council.

American Wood Council. (2018). *WFCM, Wood Frame Construction Manual, for one and two family dwellings*. Leesburg, Virginia, USA: American Wood Council.

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica . (2000). *Manual de construcción sismo resistente de viviendas de bahareque encementado*. Bogota, Colombia : Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica . (2000). *Manual de construcción, evaluación y rehabilitación sismo-resistente de viviendas de mamposteria*. Bogota, Colombia: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica .

Asociación colombiana de Ingeniería Sísmica . (2010). *Reglamento colombiano de construcción sismo resistente* . Bogotá, colombia: Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica.

Habitat para la Humanidad. (2017). *Viviendas de madera resistentes a huracanes* . San Jose, Costa Rica: Habitat para la Humanida, oficina para America Latina y el Caribe.

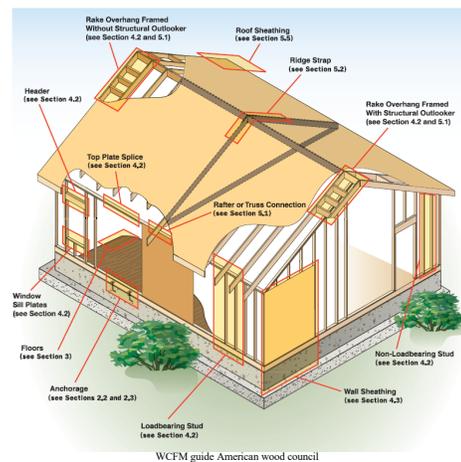
Rothoblaas. (2020). *Timber Frame, soluciones para proyectar y construir con entramado ligero*. Cortaccia, Italia: Rothoblaas SRL.

Texas Genaral Land Office. (2013). *Manual para preparar las viviendas para enfrentar los desastres naturales costeros en Texas*. Dallas , Texas, USA: Texas Genaral Land Office and Texas See Grant College Program.

RECOMENDACIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS DE UNO Y DOS PISOS EN MADERA Y BAHAREQUE ENCEMENTADO RESISTENTES A HURACANES, PARA EL ARCHIPIELAGO DE SAN ANDRÉS, PROVIDENCIA Y SANTA CATALINA, COLOMBIA.



<https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-54965248>



ais

Asociación Colombiana
de Ingeniería Sísmica

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA - AIS

Bogotá D.C., enero de 2021

Documento elaborado por:

Ing. Luis Felipe López M.
Ing. Yosef Farbiarz F.
Ing. María Del Pilar Duque U.
Ing. Lina María González M.

Con la colaboración de:

Ing. Juan Francisco Correal D.
Ing. José Joaquín Álvarez E.
Ing. Eduardo Castell R.
Ing. Angel David Guerrero R.

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1 – INTRODUCCIÓN	1
1.1 – Alcance	1
1.2 – Diseño Arquitectónico	2
CAPÍTULO 2 – MATERIALES	3
2.1 – Madera	3
2.2 – Tableros.....	4
2.3 – Conectores metálicos	6
2.4 – Guadua y Esterilla.....	10
2.5 – Sistema de resistencia ante fuerzas horizontales	11
CAPÍTULO 3 – DETALLES CONSTRUCTIVOS PARA VIVIENDAS DE MADERA Y BAHAREQUE ENCEMENTADO RESISTENTES A HURACANES	14
3.1 – Cimentación	14
3.1.1 – Cimentación de vigas corridas	14
3.1.2 – Losa de cimentación	16
3.1.3 – Sobrecimiento	16
3.2 – Muros estructurales.....	17
3.2.1 – Madera	17
3.2.1 – Bahareque	19
3.3 – Conexiones.....	20
3.3.1 – Contra la cimentación	20
3.3.2 – Anclaje antivuelco	21
3.3.3 – Conexiones contra huracanes.....	23
CAPÍTULO 4 – NORMAS Y GUÍAS DE DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS DE MADERA DE UNO Y DOS PISOS	27
4.1 – Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente.....	27
4.2 – Normas, guías y manuales de literatura internacional	29
CAPÍTULO 5 - COMPLEMENTO DE CARGAS DE VIENTO PARA EL TÍTULO E, VIVIENDAS DE MADERA, GUADUA Y BAHAREQUE ENCEMENTADO.....	33
5.1 – Longitud mínima requerida de muros en cada dirección.....	33
5.2 – Ejemplo de aplicación.....	38
CAPÍTULO 6 – BIBLIOGRAFÍA	40

CAPÍTULO 1 – INTRODUCCIÓN

El 15 de noviembre de 2020, el huracán Iota, de categoría 5 en la escala Saffir-Simpson, impactó el archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina en el Caribe Colombiano; este evento causó grandes destrozos, especialmente en la isla de Providencia, la cual fue completamente devastada, destruyendo o afectando seriamente la mayoría de las construcciones existentes en la isla.

La isla de Providencia ha sido habitada desde hace más de 300 años por poblaciones Raizales, las cuales han desarrollado una arquitectura propia usando la madera como material principal de construcción; estas edificaciones de madera se vieron dramáticamente afectadas, en gran medida debido a su poca resistencia ante fuerzas de viento.

Algunas de las causas principales de los daños fueron:

- Poca resistencia de muros estructurales ante cargas laterales.
- Conexión inadecuada entre elementos estructurales.
- Conexión inadecuada entre muros estructurales y cimentación
- Conexión inadecuada entre muros estructurales y cubierta.
- Ausencia de un diafragma resistente en el nivel de cubierta.

Ya que la arquitectura con madera es parte intrínseca de la tradición local, es imperativo que se generen recomendaciones técnicas que permitan el desarrollo de estas tecnologías, pero incluyendo especificaciones para atender la demanda por cargas laterales debidas a vientos fuertes y sismos.

En el presente documento se incluye un compendio de guías y manuales de construcción, así como normas de diseño estructural que podrían ser usadas para la reconstrucción de las Islas empleando madera y guadua como material estructural; no obstante, este documento no es un manual de construcción, ni tampoco una norma de diseño.

Cualquier diseño estructural con madera o bahareque encementado deberá hacerse siguiendo los lineamientos estipulados en los títulos G y E de la NSR-10 respectivamente, para el caso específico de los entramados livianos de madera se recomienda consultar la bibliografía recomendada en capítulo 6 de este documento.

1.1 – Alcance

Este documento establece recomendaciones y lineamientos para la construcción de viviendas de uno y dos pisos en madera y bahareque encementado para que sean resistentes a huracanes, para el archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Estas recomendaciones son de índole general y están dirigidas a todos los profesionales de la ingeniería y la arquitectura que trabajan en construcción de vivienda, así no sean especialistas en cálculo estructural. En este documento se establecen las condiciones

estructurales que permitan un funcionamiento adecuado de las viviendas de uno y dos pisos ante cargas laterales y verticales generadas por huracanes y verticales generadas por cargas gravitacionales.

1.2 – Diseño Arquitectónico

De acuerdo con el literal A.1.3.3 del Reglamento NSR-10 vigente,

A.1.3.3 — DISEÑO ARQUITECTÓNICO — El proyecto arquitectónico de la edificación debe cumplir la reglamentación urbana vigente, los requisitos especificados en el Título J y en el Título K del Reglamento NSR 10 para medios de evacuación, protección contra incendios, la señalización de los medios de evacuación, los materiales apropiados para la protección contra incendios de los medios de evacuación y elementos de seguridad anti impacto o caída como barandas y elementos vidriados, y además debe indicar, para efectos de este Reglamento, los grupos de ocupación de cada una de las partes de la edificación, número de personas para las cuales está diseñado el espacio, y su clasificación dentro de los grupos de uso definidos en el Capítulo A.2, el tipo de cada uno de los elementos no estructurales y el grado de desempeño mínimo que deben tener de acuerdo con los requisitos del Capítulo A.9. El proyecto arquitectónico debe ir firmado por un arquitecto con matrícula profesional vigente. Cuando los planos arquitectónicos incluyan los diseños sísmicos de los elementos no estructurales, éstos deben ir firmados por un profesional facultado para este fin. Véase A.1.3.6 y el literal (h) de A.6.5.2.3 sobre separación sísmica de edificaciones adyacentes.

Para la reconstrucción se recomienda utilizar las tipologías de vivienda seleccionadas de acuerdo con la convocatoria realizada por la Sociedad Colombiana de Arquitectos – SCA con el respaldo del Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), la Región de Arquitectos del Grupo Andino (RAGA) y la Federación Panamericana de Asociaciones de Arquitectos (FPAA), denominada *DISEÑO ARQUITECTÓNICO DE TIPOLOGÍAS DE VIVIENDA PARA LOS HABITANTES AFECTADOS POR EL HURACÁN IOTA DE LAS ISLAS CARIBEÑAS DE PROVIDENCIA Y SANTA CATALINA*.

<https://sociedadcolombianadearquitectos.org/portfolio/convocatoria-providencia-y-santa-catalina/>

CAPÍTULO 2 – MATERIALES

2.1 – Madera

Se recomienda el uso de madera de origen certificado proveniente de bosques de reforestación.

La madera debe estar seca, con contenido de humedad menor al 19%, preferiblemente en equilibrio con la humedad del lugar. Las piezas de madera deben estar escuadradas y deben protegerse con inmunizante para prevenir el ataque de insectos y hongos.

Se recomienda usar madera que tenga algún grado de clasificación mecánica o que haya pasado por un proceso de clasificación visual.



Figura 1. Madera de pino amarillo del sur con sello de grado estructural

¹Referencia. <https://lpcolombia.com.co/?producto=lp-lumber>

Se puede usar cualquier tipo de madera estructural, pero se recomienda el uso de maderas coníferas que por su bajo peso son más fáciles de manipular, algunas especies recomendadas son:

- Pino Caribe
- Pino Patula
- Pino Radiata
- Pino amarillo del sur

¹ Nota: En el documento se dan referencias a productos de marcas específicas que se sabe que cumplen con el propósito técnico de este documento y se pueden sustituir por productos que cumplan con calidades iguales o superiores. Dicha referencia no tiene propósitos comerciales.

Las escuadrías más comunes en miembros estructurales para viviendas de madera son:

Tabla 1. Dimensiones madera

Elemento	Dimensión comercial	Dimensión real
Pie derecho	2" x 4"	38 mm x 89 mm
Vigueta entrepiso	2" x 6"	38 mm x 140 mm
Alfarda cubierta	2" x 6"	38 mm x 140 mm

Las escuadrías anteriores son las más comunes en el mercado colombiano, pero pueden variar de acuerdo con el origen de la madera. Las secciones recomendadas aquí no pueden ser usadas sin un análisis previo de cumplimiento de las especificaciones dadas en el Título G de la NSR-10; también se pueden usar las tablas de diseño oficiales de las maderas importadas.

2.2 – Tableros

Los tableros usados como revestimiento de entramados de muros, pisos y cubiertas, funcionan como elemento arriostrante del entramado evitando que este se deforme en su plano (rigidez). Ayuda rigidizar los diafragmas de cubierta y entrepiso, además de recibir directamente las presiones del viento y transferirlas a los pies derechos y soleras de los entramados. Existen varios tipos de tableros, pero los más comunes son: tableros de madera contrachapada y tableros de fibras orientadas, OSB (Oriented Strand Board).

También se podrían usar tableros de esterilla de guadua laminada, los cuales ya son producidos a escala industrial en el país.

- Tablero estructural de madera contrachapada

También conocido como Triplex o Plywood en inglés, es un panel fabricado con láminas delgadas de madera dispuestas de forma ortogonal, pegadas y prensadas. Se consiguen en diferentes espesores, pero para el caso de las islas del Caribe colombiano se recomienda un espesor de, por lo menos, 12 mm para los muros y de mínimo 9 mm para las cubiertas para espaciamiento entre pies derechos o viguetas de techo menores de 42 mm, para espaciamientos de pies derechos en muros entre 42 mm y 61 mm se recomiendan espesores de 18 mm ; se debe garantizar que el adhesivo utilizado para la elaboración del panel sea del tipo fenólico, ya que este es el que resiste mejor los ambientes salinos. En los manuales del American Wood Council se pueden consultar los detalles de clavado para estos tableros.



Figura 2. Tablero de madera contrachapada

- Tablero estructural de fibras de madera orientadas, OSB.

Los tableros OSB son tableros hechos con viruta de madera. Gracias a que tienen fibras en todas las direcciones debido al pequeño tamaño de las virutas, tienen una resistencia un poco inferior a los paneles de madera contrachapada, pero son más económicos. Al igual que los tableros contrachapados, los tableros de OSB deben ser elaborados con adhesivos fenólicos resistentes a ambientes salinos. Se siguen las mismas recomendaciones de espesores de los tableros contrachapados.



Figura 3. Tablero de OSB

- Tablero de Esterilla laminada

En el mercado colombiano existen tableros estructurales fabricados a partir de esterillas de guadua laminadas de forma ortogonal. Estos paneles tienen capacidades estructurales equivalentes a los de madera y pueden ser usados como alternativa para revestir los marcos de madera de los muros y las cubiertas; usualmente, estos tableros tienen 17 mm de espesor. Deben ensamblarse usando adhesivos fenólicos resistentes a ambientes salinos.



Figura 4. Tablero de esterilla laminada, <http://www.ecotableros.com/>

2.3 – Conectores metálicos

Los conectores son sin lugar a duda uno de los componentes más importantes de una vivienda de madera; de ellos depende en gran medida que los elementos estructurales puedan desarrollar toda su capacidad durante un evento eólico o sísmico. Los conectores metálicos, además de servir como elemento de conexión entre las partes y componentes de la edificación, cumplen la función de aportar ductilidad a la edificación, característica vital para resistir fuerzas sísmicas o de viento.

La tipología de los conectores depende del lugar de la edificación al que pertenece; no es lo mismo un anclaje contra la cimentación que una pletina para resistir huracanes en la cubierta. A continuación, se presentan los conectores más comunes y su lugar en la edificación.

- Clavos

Los clavos o puntillas representan el conector más pequeño, pero también el más importante en una construcción con madera, con el que se pueden unir elementos de madera directamente sin necesidad de ningún otro material; también sirven para sujetar pletinas o herrajes metálicos que posteriormente unirán los elementos de madera entre sí.

Los clavos deben ser de acero inoxidable para prevenir la corrosión, especialmente en ambientes con alto contenido de salinidad como lo es el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina.

En Colombia, los clavos se comercializan usando el sistema inglés de unidades; normalmente, el tamaño más usado en la construcción con madera es el de 2 1/2", que aparece en la literatura estadounidense como 8d. En la Figura 5 se pueden ver los tamaños en pulgadas y su respectivo nombre en inglés.

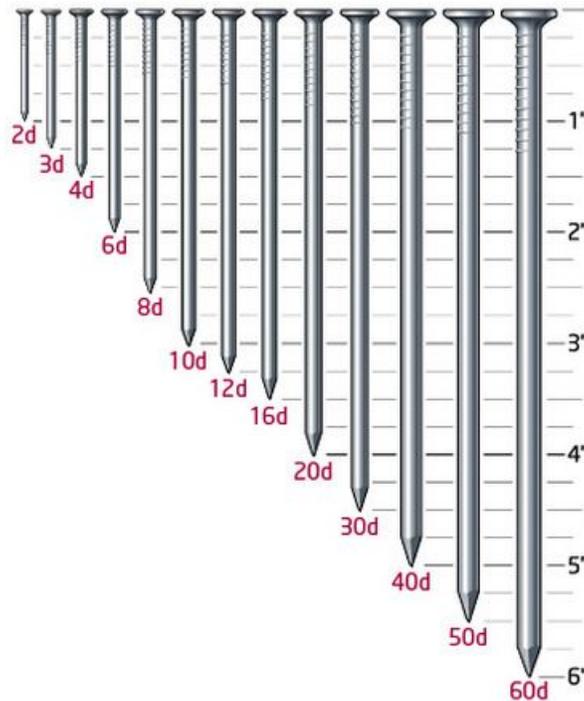


Figura 5. Tamaños y nombres en inglés de los clavos de acero

- Pernos y varillas roscadas

En viviendas de madera de uno y dos pisos no es muy común el uso de pernos y varillas roscadas, salvo en la conexión de los muros contra la cimentación en donde siempre se usan varillas roscadas.

Estos elementos son más frecuentes en estructuras de grandes luces tales como, cerchas o estructuras espaciales, en donde, debido a que las fuerzas son mayores se requieren elementos más resistentes que los clavos. Por lo general, el uso de pernos y varillas roscadas siempre va acompañado de pletinas o herrajes metálicos que ayudan a una mejor transmisión de las cargas entre elementos.

El diseño de conexiones que contengan varillas roscadas o pernos debe hacerse de acuerdo con lo estipulado en el Título G de la NSR-10. La resistencia mínima a la fluencia de estos elementos debe ser de por lo menos 200 MPa; para uso en ambientes salinos se recomienda que las varillas sean de acero inoxidable.



Figura 6. Varilla roscada

- Tornillos autoperforantes

Los tornillos autoperforantes son elementos muy versátiles en la construcción con madera; generalmente usados para conectar elementos de madera sin la necesidad de pletinas metálicas, estos tornillos presentan una alta resistencia a los ambientes salinos debido a que quedan totalmente embebidos en los elementos de madera; no obstante, se deben emplear en elementos de madera con espesores superiores a los 80 mm, y deben ser diseñados por un ingeniero estructural.

No se recomienda el uso de tornillos autoperforantes para la instalación de tableros estructurales en entramados livianos de madera, debido a su baja ductilidad ante cargas cíclicas.



Figura 7. Tornillos autoperforantes, (Rothoblaas, 2020) Ver Nota 1

- Conectores de lámina delgada

Las pletinas de lámina delgada son, sin lugar a duda, el sistema más popular de conexión entre elementos de madera.

Las pletinas se conectan a los elementos de madera por medio de clavos, cuyo tamaño se especifica en la descripción del conector; algunos conectores usan tornillos autoperforantes.



Figura 8. Conector de lámina delgada, (Simpson strong tie, 2019) Ver Nota 1

2.4 – Guadua y Esterilla

El Decreto 52 de 2002 introdujo el bahareque encementado en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10. La guadua y su producto derivado, la esterilla, son los materiales principales para la construcción de viviendas de bahareque encementado. La guadua *Angustifolia Kunt* es la especie de bambú usada en Colombia, actualmente incluida dentro de los Títulos E y G de la NSR-10.

Para obtener guadua y esterilla de óptima calidad se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- **Madurez:**
La guadua debe tener entre 3 y 5 años de edad.
- **Secado:**
La guadua debe estar seca ($CH < 19\%$)
- **Inmunizado:**
La guadua debe estar tratada con algún químico que prevenga el ataque de insectos y hongos



Figura 9. Guadua y Esterilla

2.5 – Sistema de resistencia ante fuerzas horizontales

El sistema de resistencia ante fuerzas horizontales de sismo o viento en viviendas construidas con entramados livianos de madera o con bahareque encementado, está configurado por muros de corte o diafragmas verticales y diafragmas horizontales de piso e inclinados de techo.

En el caso de viviendas de un solo piso, los muros estructurales son los encargados de transmitir a la cimentación las cargas horizontales impuestas por el empuje del viento o por un sismo generadas en los diafragmas de techo, piso y muros exteriores.

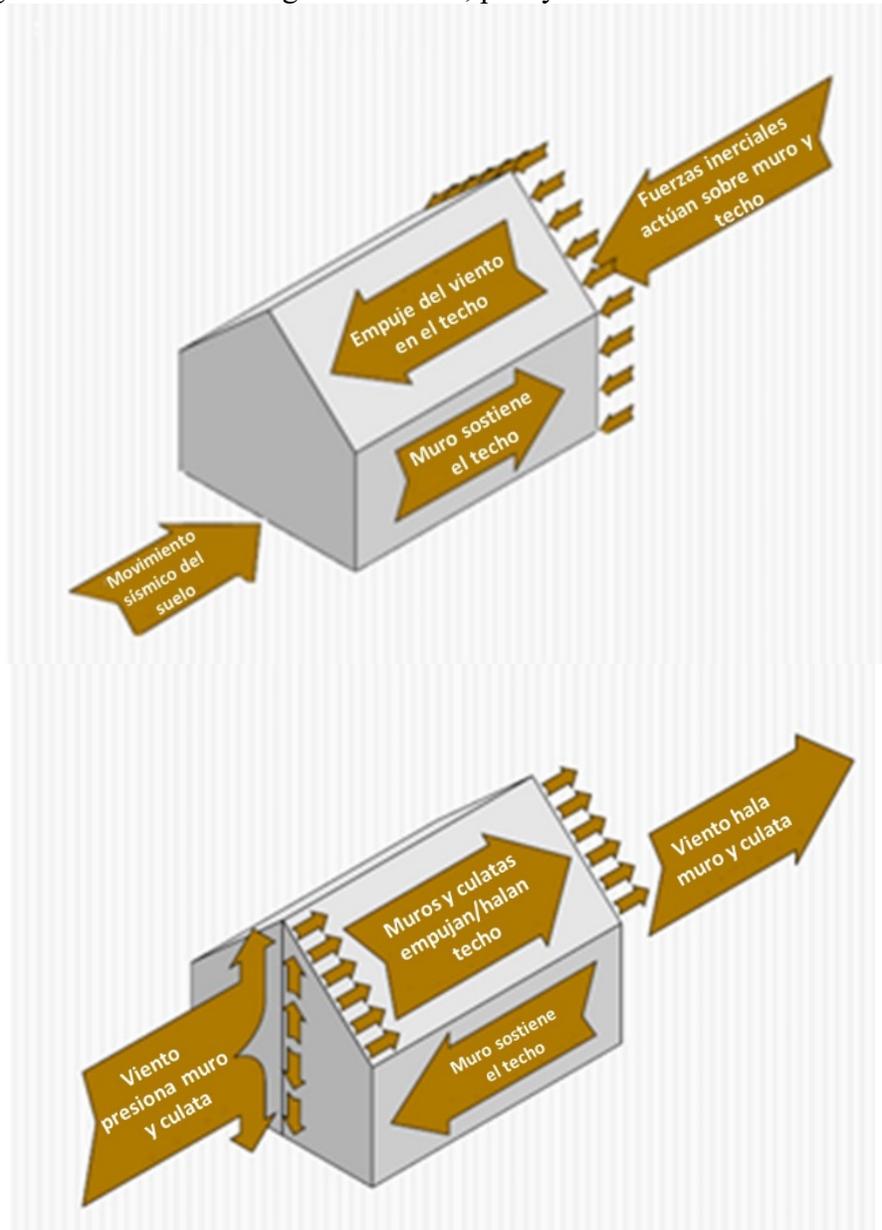


Figura 10. Trayectoria y Sistema de resistencia a cargas de sismo y viento (The Engineered Wood Association, 2003)

En el caso de viviendas de dos pisos, los muros del segundo piso deberán transmitir las cargas horizontales al diafragma de entrepiso, el cual, a su vez, redistribuye la carga horizontal a los muros del primer nivel. Los muros del segundo piso deben estar alineados con los muros del primer piso, garantizando una trayectoria continua y clara de las cargas debidas a empujes laterales.

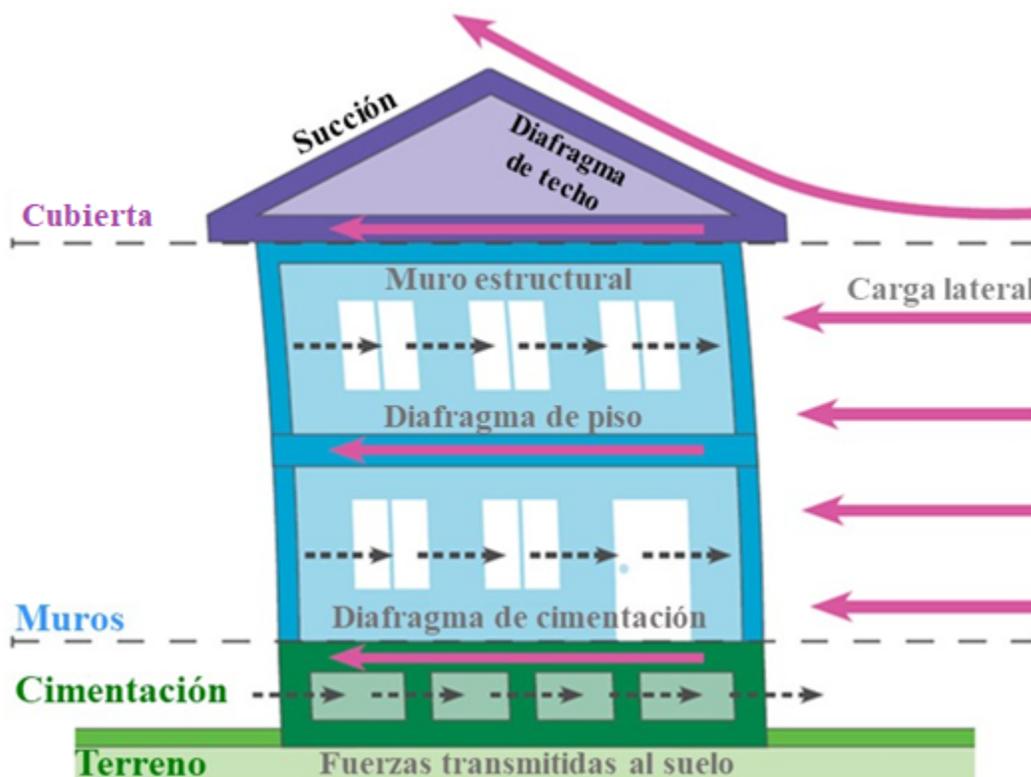


Figura 11. Componentes del Sistema de resistencia a fuerzas horizontales (FLASH, Federal Alliance for Safe homes, 2015)

Los elementos estructurales de la vivienda deben estar apropiadamente conectados entre sí para garantizar la adecuada transmisión de las cargas; adicionalmente, se requiere de una apropiada continuidad vertical entre los muros del primer y segundo piso, especialmente en las fachadas de la edificación.

Los elementos estructurales del sistema de resistencia a cargas horizontales son:

- **Diafragma de cimentación:** Se encarga de transferir las cargas gravitacionales de la super estructura al suelo. Durante eventos sísmicos o eólicos, es responsable de transmitir los empujes laterales.

- **Muros estructurales:** Los muros son esencialmente la estructura de la vivienda; se encargan de transmitir el peso del nivel superior a la cimentación, además de proveer la estructura con la rigidez y resistencia necesarias para resistir las cargas laterales.
- **Diafragma de entrepiso:** Tiene la función de distribuir el cortante proveniente del piso superior entre los muros del nivel inferior. Debe tener una rigidez tal que le permita distribuir las cargas. Los diafragmas de piso hacen que los muros se comporten de forma acoplada. Constituyen un sistema que recibe cargas de los muros exteriores en cada nivel y la distribuyen a los muros estructurales del nivel inferior.
- **Muros estructurales del segundo piso:** Tienen la misma función de los muros estructurales del primer nivel; deben transmitir las cargas del nivel de cubierta al diafragma de entrepiso.
- **Diafragma de cubierta:** Debe tener la rigidez suficiente para distribuir los empujes laterales a los muros que lo soportan.

CAPÍTULO 3 – DETALLES CONSTRUCTIVOS PARA VIVIENDAS DE MADERA Y BAHAREQUE ENCEMENTADO RESISTENTES A HURACANES

En este documento se deben seguir los criterios básicos de planeamiento estructural establecidos en el literales E.1.3 del Reglamento NSR-10 vigente.

3.1 – Cimentación

El sistema de cimentación de casas de madera o de bahareque encementado debe estar conformado por elementos de concreto reforzado, existen dos tipos de cimentación que pueden ser usadas, cimentación de vigas corridas y cimentación de placa flotante.

3.1.1 – Cimentación de vigas corridas

Este tipo de cimentación se caracteriza por la ubicación de vigas de cimentación conformando anillos (ver Figura 21), las vigas suelen estar ubicadas debajo de los muros de corte, siempre debe haber una viga debajo de los muros exteriores en todo el perímetro externo de la vivienda.

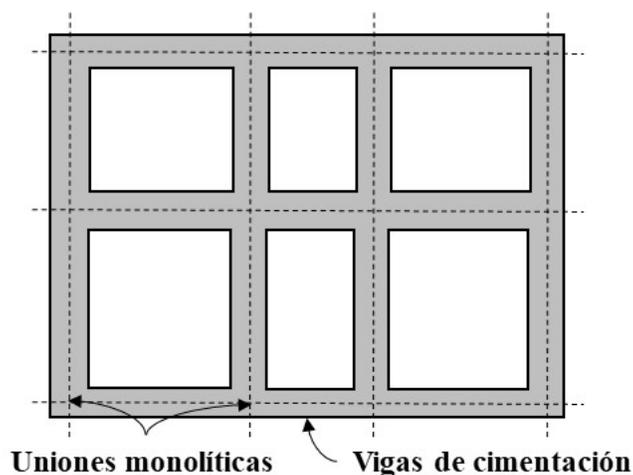


Figura 12. Reticula de vigas de cimentación

De acuerdo con el Manual de construcción sismo resistente de viviendas de uno y dos pisos de mampostería, "en suelos de poca resistencia o cuando a cierta profundidad (menos de 1.0 m) se encuentre un suelo de mayor resistencia al superficial, se recomienda construir previamente un cimiento de concreto ciclópeo sobre el cual se coloque la viga de amarre o de cimentación de concreto reforzado" (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica , 2000)

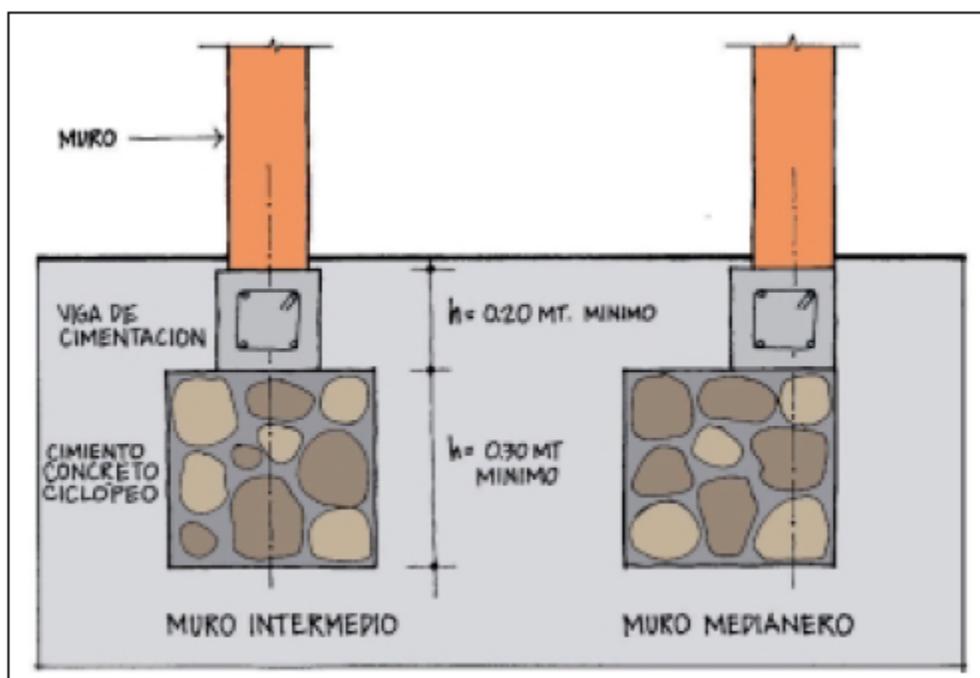


Figura 13. Detalle de cimiento ciclópeo

En la Tabla E.2.2-1 del Capítulo E.2 del Título E de la NSR-10 se presentan las dimensiones mínimas recomendadas para cimentaciones de casas de uno y dos pisos en bahareque encementado; estos valores pueden ser usados también para viviendas de madera de uno y dos pisos, adicionando los conectores necesarios para anclar la vivienda a la cimentación. En el numeral 3.3 se muestran algunos tipos de conexiones que pueden ser empleadas.

Tabla E.2.2-1
Valores mínimos para dimensiones, resistencia de materiales y refuerzo de cimentaciones

	Sistema Estructural	Un piso	Dos Pisos	Resistencia Mínima, MP _a	
				f_y	f_c
Anchura	Mampostería	250 mm	300 mm	420	17
	Bahareque	200 mm	250 mm		
Altura	Mampostería	200 mm	300 mm		
	Bahareque	150 mm	200 mm		
Acero Longitudinal		4 No. 3 (ó 10M)	4 No. 4 (ó 12M)	240	
Estribos		No. 2 a 200 mm	No. 2 a 200 mm		
	Acero para anclaje de muros	Mampostería	No. 3	No. 3	412
	Bahareque	No. 3	No. 4		

En este documento se deben seguir los requisitos para el sobrecimiento establecidos en el literal E.2.2.4 del Reglamento NSR-10 vigente.

En ambientes de grado de exposición severo se recomienda utilizar requisitos de durabilidad de la tabla C.4.3.1 del Reglamento NSR-10 vigente. La resistencia mínima a compresión del concreto en ambientes marinos como es el caso del archipiélago es de 35 MPa, con una relación agua/cemento de 0,40.

3.1.2 – Losa de cimentación

La cimentación de losa flotante es muy común en edificaciones livianas; al igual que la cimentación corrida, requiere de una retícula de vigas en los ejes donde se encuentran ubicados los muros, aunque suelen ser de un tamaño menor debido a que están fundidas de forma monolítica con la losa.

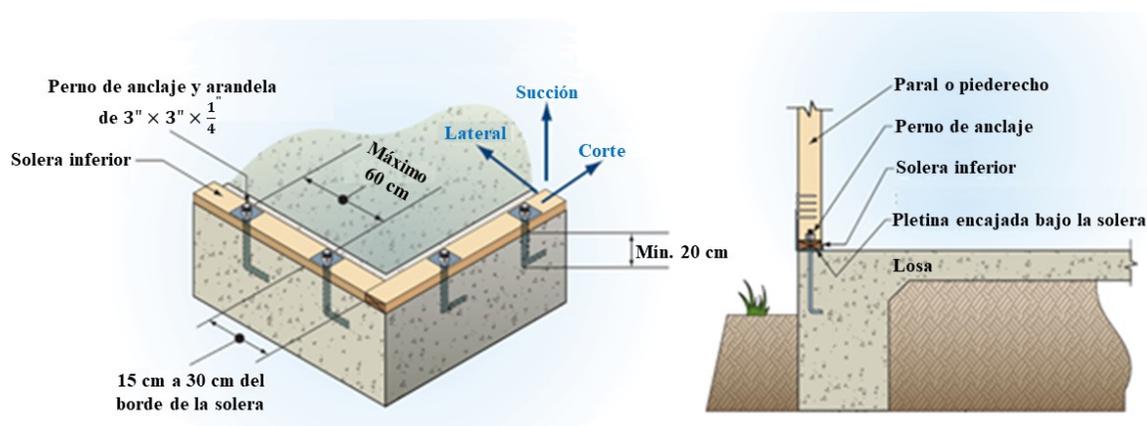


Figura 14. Cimentación en losa flotante. (American Wood Council, 2015)

En este documento se deben seguir los requisitos para losas de cimentación establecidos en los literales E.2.2.5 y E.5.1 del Reglamento NSR-10 vigente.

3.1.3 – Sobrecimiento

Siempre que se construye con madera o guadua, se debe garantizar una distancia mínima de estos materiales con el terreno natural; en el caso de cimentaciones corridas, a este elemento se le llama sobrecimiento. La distancia mínima recomendada es, por lo menos, 300 mm; no obstante, si existen antecedentes de inundaciones en la zona se deberá elevar el sobrecimiento por encima de la cota máxima de inundaciones.

También se recomienda la instalación de una barrera de humedad entre los elementos de madera (solera inferior) y el sobrecimiento, que puede ser de plástico o pintura impermeable.

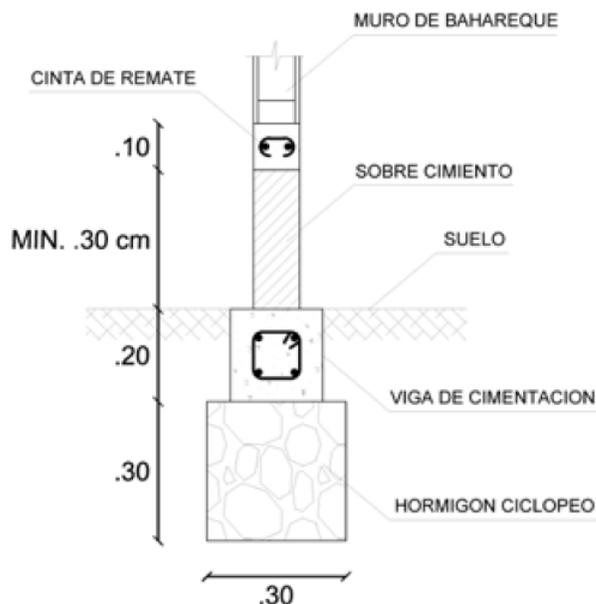


Figura 15. Detalle de sobrecimiento (International Network for Bamboo and Ratan INBAR, 2014)

3.2 – Muros estructurales

Para el diseño de estos muros se deben seguir los requisitos generales de diseño sismo resistente contenidos en la tabla A.3-1 del Reglamento NSR-10 vigente.

En este documento se deben seguir los requisitos para aberturas en los muros establecidos en el literal E.3.4 del Reglamento NSR-10 vigente.

3.2.1 – Madera

Los muros estructurales en viviendas de entramado liviano de madera están conformados por entramados fabricados con elementos verticales llamados pies derechos, normalmente con sección transversal de 2" x 4", separados a máximo 600 mm, centro a centro, unidos a elementos horizontales llamados solera inferior y solera superior o carrera. La solera inferior es un elemento de madera con sección transversal 2" x 4"; para la solera superior se deben instalar dos elementos de madera con sección 2" x 4", uno sobre el otro. Las medidas expresadas en pulgadas corresponden a medidas nominales, pero pueden diferir de las medidas reales de los miembros, dependiendo del proveedor de la madera. Usualmente, las medidas reales de una solera de 2" x 4" son de aproximadamente 38 mm x 89 mm.



Figura 16. Ejemplo de entramado liviano de madera <https://www.acmetools.com/blog/build-a-wall-with-a-door-simple-1-2-3/>

El muro se deberá recubrir con un tablero de madera estructural como los descritos en 3.3.2, el cual deberá estar clavado directamente a los elementos de madera tal y como se muestra en la Figura 17.

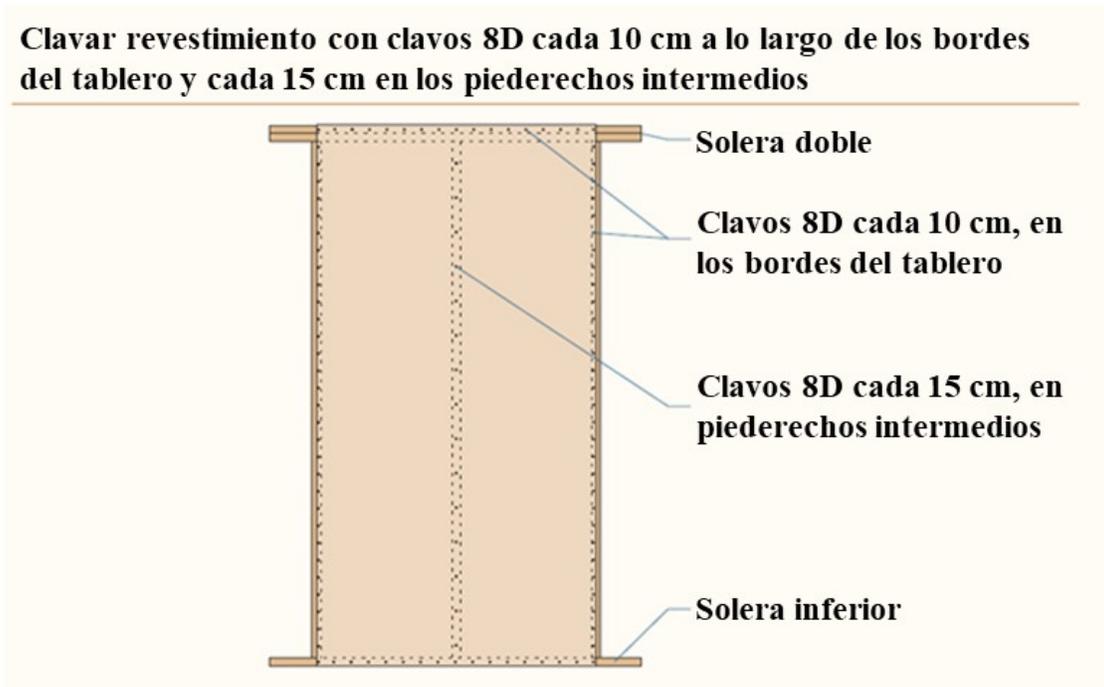


Figura 17. Detalle de muro de corte de marco ligero de madera (APA, The Engineered Wood Association, 2018)

3.2.1 – Bahareque

Los muros de bahareque encementado se pueden construir con pies derechos de guadua o con pies derechos de madera iguales a los pies derechos de los muros de madera. La separación máxima entre pies derechos no debe ser superior a 600 mm. Para la solera inferior se recomienda el uso de un elemento de madera de 2" x 4". Para la solera superior o carrera se recomienda el uso de un elemento de guadua o de madera con sección transversal de 2" x 4"

El recubrimiento se hará por medio de piezas de esterilla clavadas con clavos de 1½" y cosidas con alambre dulce de calibre 18.

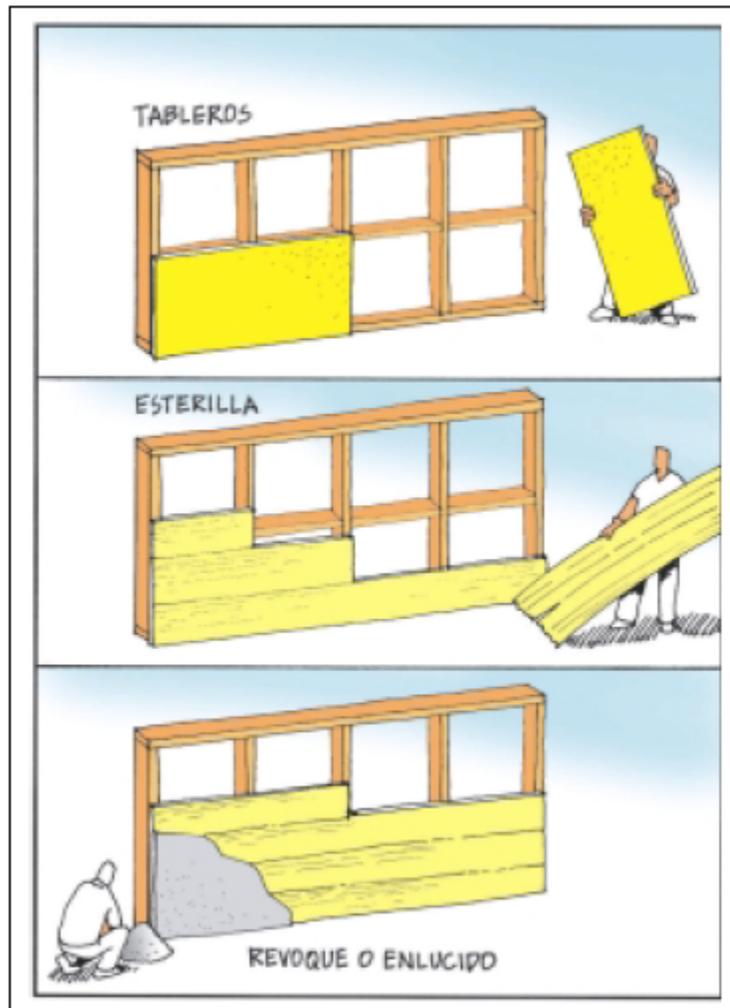


Figura 18. Muro de bahareque con pies derechos de madera y recubrimiento de esterilla (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2000)

3.3 – Conexiones

3.3.1 – Contra la cimentación

Se debe conectar la solera inferior de los muros a la cimentación a través de pernos de anclaje o varillas roscadas de 16 mm de diámetro. Para determinar la distancia entre estos elementos se deberá tener en cuenta la relación de aspecto en planta y el número de pisos de la edificación. Se puede usar la guía 160 mph Exposure C, WFCM Guide to wood frame construction in High Wind Areas for One and two family dwellings (American Wood Council, 2015)

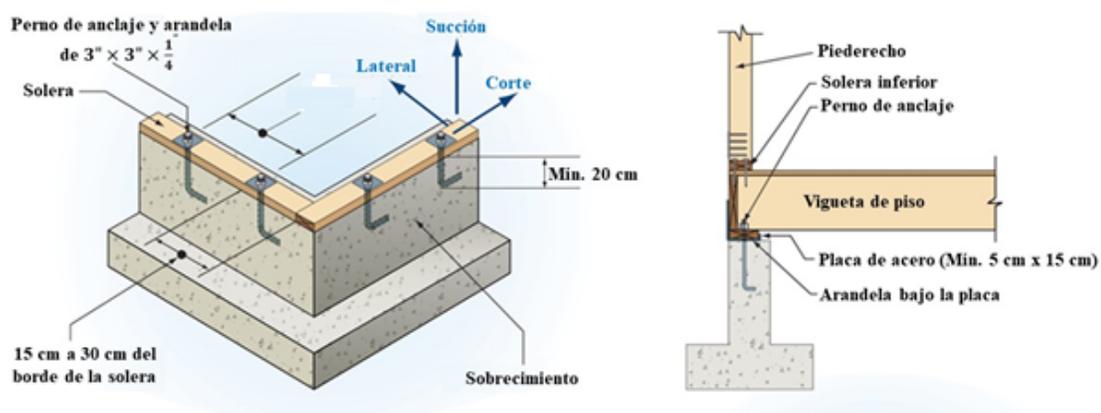


Figura 19. Detalle anclaje contra sobrecimiento en concreto (American Wood Council, 2015)

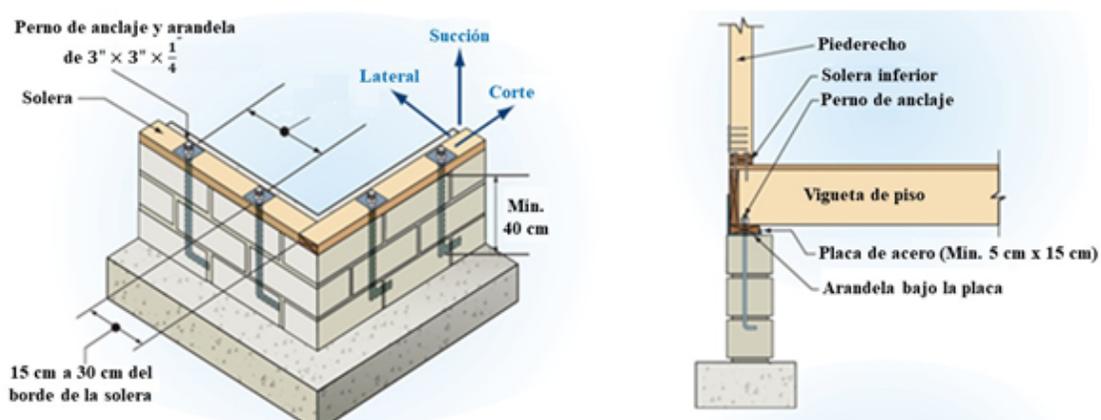


Figura 20. Detalle anclaje contra sobrecimiento en bloque estructural (American Wood Council, 2015)

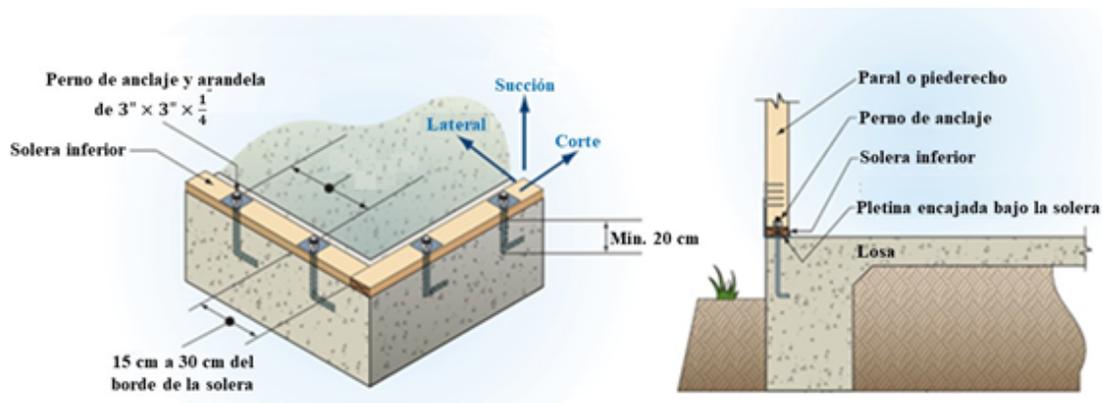


Figura 21. Detalle anclaje contra placa flotante (American Wood Council, 2015)

3.3.2 – Anclaje antivuelco

- Madera

Debido a la liviandad de las estructuras de madera, es necesario la instalación de anclajes antivuelco o hold-down como se les conocen en inglés, en los extremos de los muros en ambas direcciones en el caso que sea requerido. Existen muchos modelos de este tipo de herraje.

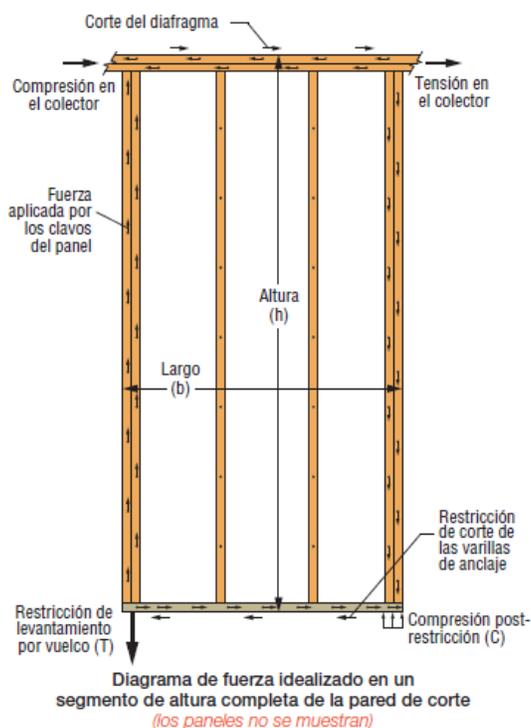


Figura 22. Diagrama de fuerzas de muro sometido a vuelco. (Simpson strong tie, 2019) Ver Nota 1

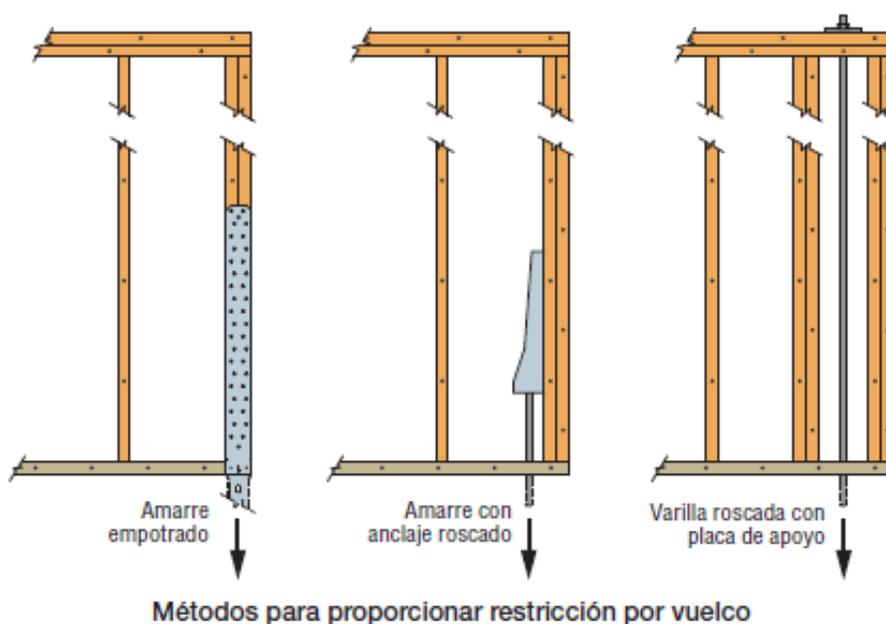


Figura 23. Tipos de anclaje contra vuelco. (Simpson strong tie, 2019) Ver Nota 1

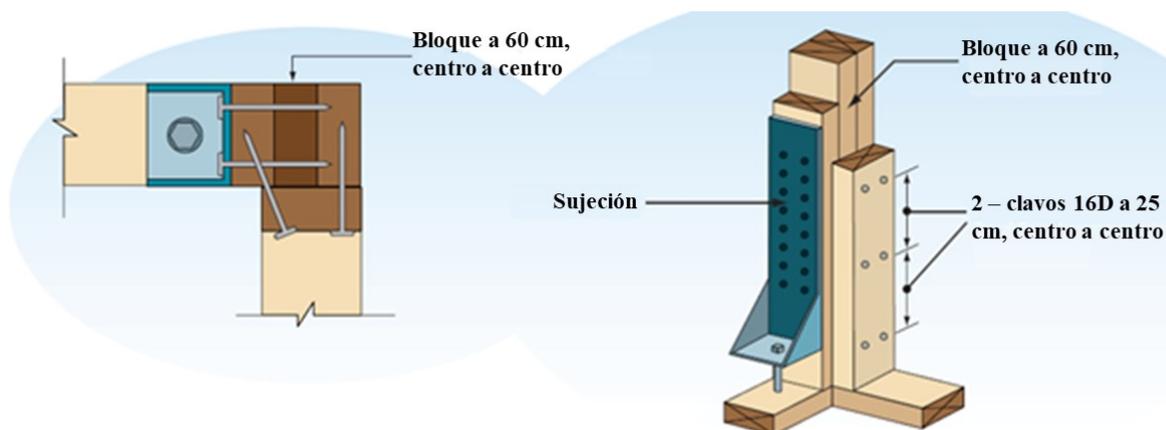


Figura 24. Anclaje antivuelco (American Wood Council, 2015)

Los anclajes antivuelco se deben localizar en las esquinas perimetrales de las viviendas, también se deben poner en el pie derecho inicial y final de un muro estructural.

- Bahareque

En edificaciones de bahareque encementado se usan varillas de refuerzo a manera de dovelas que se incrustan a lo largo de la guadua. Debe garantizarse una longitud de desarrollo mínima de 600 mm dentro del elemento de guadua. Estas dovelas deben

instalarse en todas las esquinas de la vivienda, en las intersecciones entre muros y al principio y final de cada muro estructural. La distancia máxima entre dovelas es de 1.2 m.

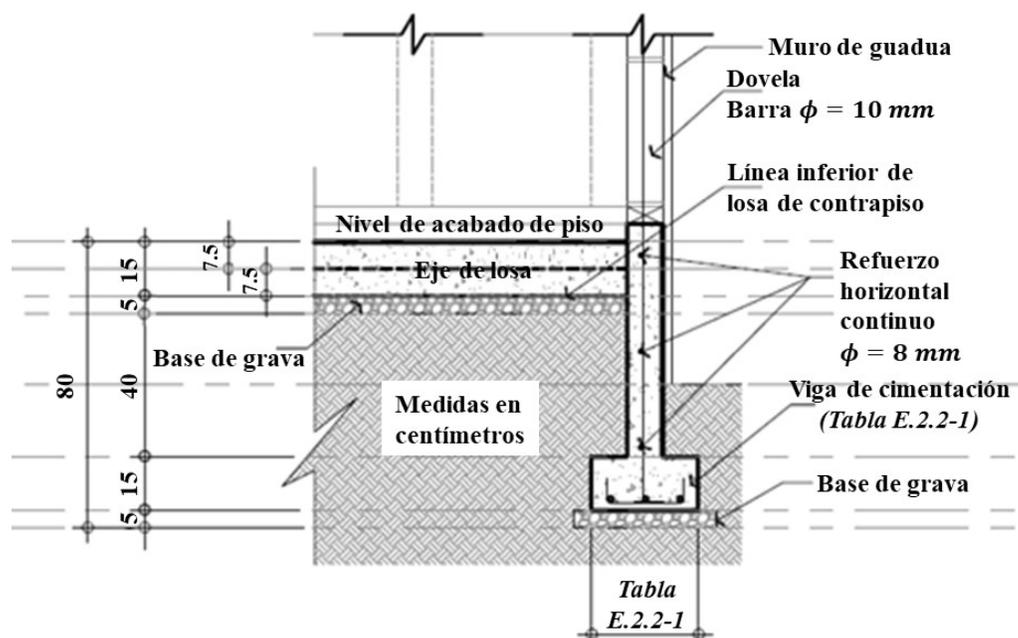


Figura 25. Detalle de dovela de anclaje para muro de bahareque, (www.basebuilds.com)

3.3.3 – Conexiones contra huracanes

- Conexión entre Piedrecho y solera superior

Esta conexión es muy importante para garantizar que la cubierta de la casa no se levante debido a cargas de succión. Debe instalarse en todas las esquinas de la vivienda, así como en los pies derechos al final de cada muro estructural.

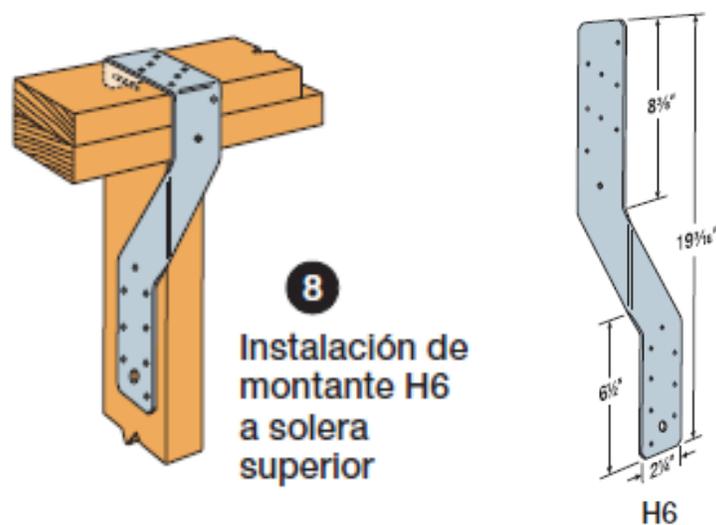


Figura 26. Refuerzo de conexión entre el Piederecho y la solera superior. (Simpson strong tie, 2019) Ver Nota 1

- Conexión tipo flejes de unión

Este elemento en forma de pletina alargada conecta los piederechos de los muros del primer piso con los piederechos de los muros del segundo piso, garantizando una transmisión eficiente de las cargas de tracción de un nivel al otro. Debe instalarse en las esquinas de la edificación, así como en los piederechos extremos de cada muro estructural; no obstante, se deben verificar las cargas de diseño que aparecen en la guía del fabricante.

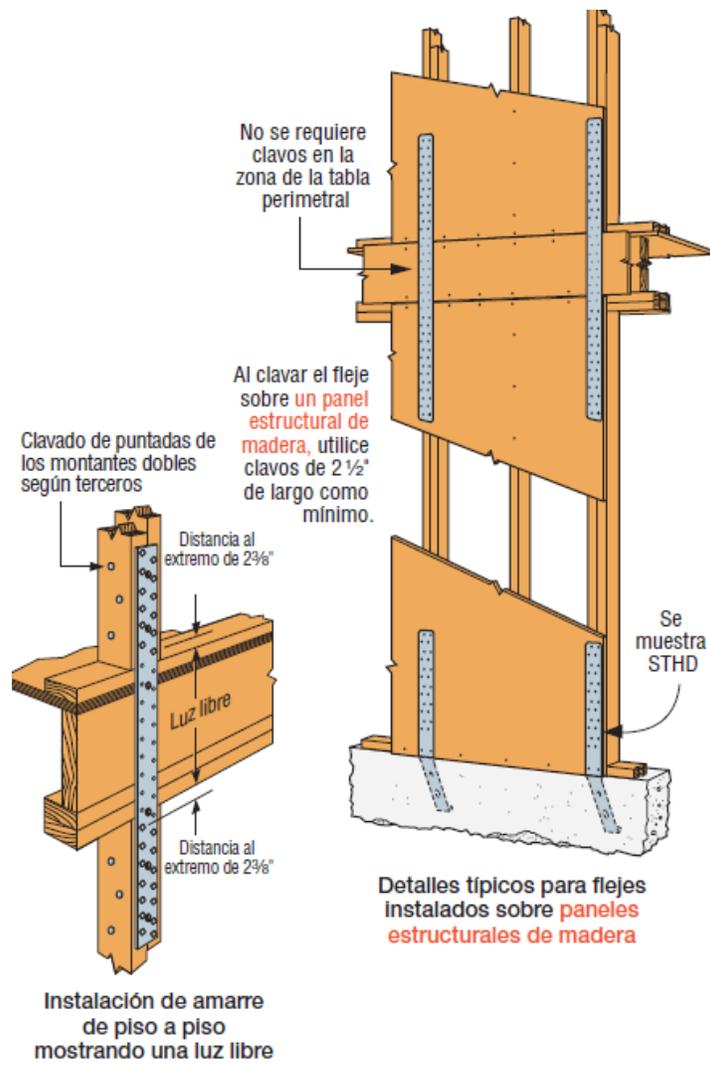


Figura 27. Flejes de unión resistentes a tracción, (Simpson strong tie, 2019) Ver Nota 1

- Conexión de alfardas a soleras

Las alfardas o viguetas inclinadas son los elementos principales de la cubierta. Deben clavarse a las soleras superiores de los muros usando conectores de lámina delgada que garanticen una adecuada transmisión de las fuerzas horizontales debidas a los empujes laterales. También existen conexiones que refuerzan la resistencia a cargas de succión.

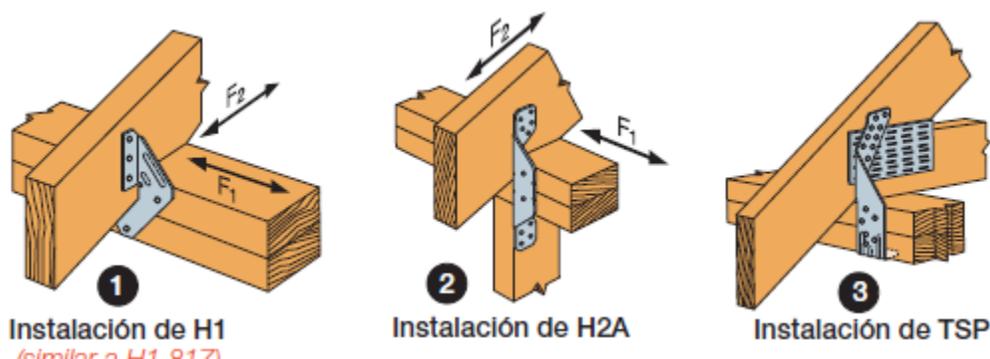


Figura 28. Conexión solera – alfarda, (Simpson strong tie, 2019) Ver Nota 1

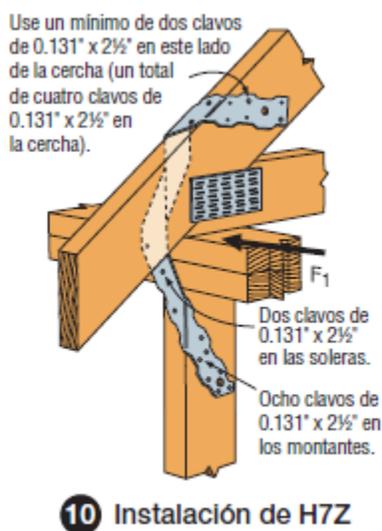


Figura 29. Conexión solera- cercha resistente a succión. (Simpson strong tie, 2019) Ver Nota 1

CAPÍTULO 4 – NORMAS Y GUÍAS DE DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS DE MADERA DE UNO Y DOS PISOS

4.1 – Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente

El Reglamento Colombiano de Construcción Sismorresistente, NSR-10 (Asociación colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010), Decreto 926 de 2010 y demás decretos reglamentarios vigentes de la Ley 400 de 1997, contiene dos apartes con los cuales se pueden construir edificaciones de madera resistentes a cargas de viento y de sismo.

Si se desarrolla un diseño estructural completo, puede utilizarse el Título G del NSR-10 complementado con las recomendaciones del documento: AWC Special Design Provisions for Wind and Seismic (SDPWS) 2015 edition.

El Título E, titulado Casas de Uno y Dos Pisos, contiene un procedimiento prescriptivo para construir casas de uno y dos pisos con mampostería confinada o con bahareque encementado.

El bahareque es un sistema constructivo vernáculo que ha sido utilizado por pueblos indígenas de América, desde la antigüedad, para la construcción de viviendas y que también se utilizó ampliamente en todo el territorio colombiano durante la época colonial y después de establecida la república. En particular, los colonizadores del territorio que hoy se conoce como el Eje Cafetero, utilizaron este sistema constructivo que aún perdura en la actualidad. A raíz de la demanda de vivienda nueva creada por el fuerte evento sísmico que afectó esta región el 25 de enero de 1999, se desarrolló una investigación acerca de la capacidad sismorresistente de la construcción con bahareque que culminó con la promulgación del Decreto 52 de 2002 que introdujo el Bahareque Encementado en la normativa de diseño y construcción sismorresistente colombiana.

El bahareque es una denominación genérica para construcción basada en muros compuestos por un entramado de madera, de madera y guadua o de guadua.

La fundación Base Bahay de Filipinas ha construido más de 1 000 viviendas de uno y dos pisos con este sistema; varios de estos proyectos han sido impactados por tifones de categoría 4 y 5, sin que hasta la fecha haya algún daño que reportar.

<https://www.youtube.com/watch?v=kdNUaehVGzA&feature=youtu.be>

El bahareque encementado puede ser una alternativa sostenible y adecuada para la reconstrucción de las islas del Caribe colombiano utilizando madera y guadua; además, se podría fomentar el cultivo de guadua en el archipiélago, lo que garantizaría el acceso a un material barato y resistente que se puede producir localmente.

En el Capítulo E.2 se presentan prescripciones detalladas para la construcción adecuada de las cimentaciones para casas de uno y dos pisos. El Manual de Construcción Sismo Resistente de Viviendas de Bahareque Encementado, desarrollado por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica en el año 2000, presentan de manera gráfica los detalles para esta tipología constructiva.

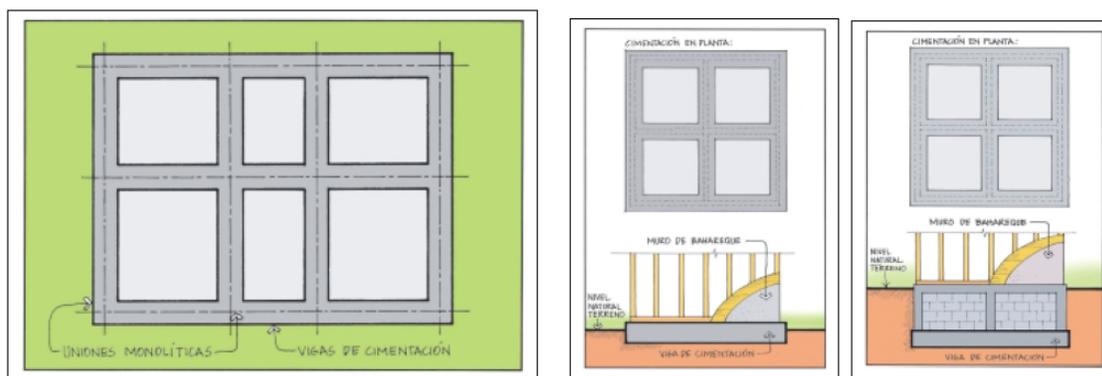


Figura 30. Regularidad en altura (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2000)

En el Capítulo E.7 se presentan prescripciones detalladas para los aspectos generales de materiales y composición de muros y diafragmas, así como la longitud mínima de muros en cada dirección en planta y la distribución adecuada de los muros en planta. Sin embargo, en este capítulo no se incluyen previsiones para carga de viento. En el Capítulo 5 de este documento se presenta un complemento que debe utilizarse para determinar la longitud mínima de muros de bahareque para casas de uno y dos pisos resistentes a vientos huracanados.

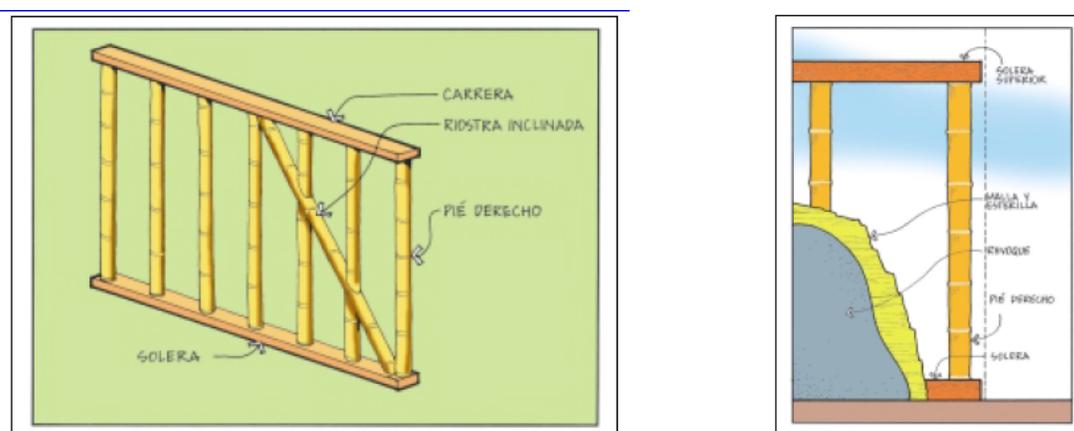


Figura 31. Detalles de muros de bahareque encementado (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2000)

En el Capítulo E.8 se presentan prescripciones detalladas para la construcción de entresijos de bahareque encementado y de las uniones.

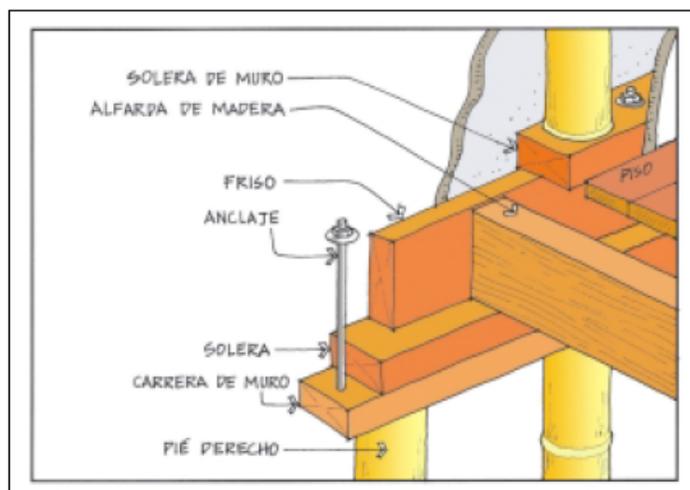


Figura 32. Detalles de entrepiso (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica , 2000)

En el Capítulo E.9 se presentan prescripciones detalladas para la construcción de cubiertas en bahareque encementado.

4.2 – Normas, guías y manuales de literatura internacional

Existen varios manuales, cartillas y normas de construcción con madera disponibles en la literatura internacional. En este documento se presenta una recopilación de los documentos que reflejan la mejor práctica de la construcción con madera. Sin duda alguna, los códigos estadounidenses son los más recomendados para el diseño de viviendas de madera resistente a vientos fuertes; sin embargo, existen otros documentos, algunos de ellos en español, que también presentan buenos detalles constructivos y recomendaciones básicas de construcción en zonas de riesgo de huracanes.

La Tabla 2 incluye la lista de los documentos que, a criterio del grupo que elaboró este reporte, son los más recomendados para la construcción de viviendas de madera resistentes a huracanes.

En la Tabla 3 se encuentran otros documentos técnicos que contienen información de detalles constructivos, tablas de diseño estructural, especificaciones técnicas, etc.

Tabla 2. Normas, guías y manuales de construcción con madera recomendados

Documento	Tipo	Idioma	Descripción
WFCM 2018, Wood Frame Construction Manual, for one and two family dwellings	Norma de diseño Prescriptiva	Inglés	Documento muy completo para diseño de viviendas de uno y dos pisos de madera. Este manual presenta un compendio de tablas

Documento	Tipo	Idioma	Descripción
(American Wood Council, 2018)			para el diseño de los diferentes componentes, también tiene muchos detalles de construcción, este documento está basado totalmente en la NDS (Norma de diseño con madera de los Estados Unidos).
WFCM 2018, Workbook, Design of wood frame buildings for high winds, and seismic loads, (American Wood council, 2018)	Manual con ejemplos de diseño y lista de chequeo	Inglés	Este Manual contiene ejemplos de diseño de casas de uno y dos pisos ante fuerzas de viento y sismo. Todos los diseños se basan en el WFCM 2018, Wood Frame Construction Manual, Es un documento muy útil para ingenieros o arquitectos que quieran diseñar edificaciones de madera
160 MPH Exposure B and C, WFCM guide to wood frame construction in High Wind Areas for one and two family dwellings (American Wood Council, 2015)	Manual prescriptivo simplificado, específico para viento	Inglés	Este manual simplificado está enfocado en el diseño de viviendas de uno y dos pisos en zonas con vientos hasta de 160 mph (257 km/h). Son dos manuales uno para exposición B y otro para exposición C, debe utilizarse siguiendo los parámetros establecidos en el WFCM Manual.
2015 Special Design Provisions for Wind and Seismic (SDPWS)	Provisiones diseño contra sismo y viento	Inglés	Este Manual es complementario a los otros documentos de esta tabla. Incluye todas las provisiones que se deben tener en cuenta para diseños resistentes a sismos y vientos fuertes.

Tabla 3. Otros documentos de construcción con madera

Documento	Tipo	Idioma	Descripción
Viviendas de madera resistentes a huracanes, guía sobre construcción y reparaciones seguras (Habitat para la Humanidad, 2017)	Manual prescriptivo	Español	Este manual es una guía sencilla de entender, dirigida a la comunidad y los profesionales de la construcción. Contiene recomendaciones mínimas y conceptos de diseño, pero no

Documento	Tipo	Idioma	Descripción
			permite el diseño de elementos estructurales ni contiene tablas de diseño ni resistencia de conexiones.
Manual de Diseño, Construcción, Montaje y Aplicación de envolventes para la vivienda de madera, (Fritz & Ubilla , 2011)	Manual de construcción	Español	Este manual contiene muchos detalles constructivos a todo color, fáciles de entender.
2015/2018 Structural design examples, (American wood Council, 2019)	Ejemplos analíticos de diseño	Inglés	Este manual contiene ejemplos detallados de análisis, para el diseño de elementos estructurales de madera, tales como vigas, columnas, conexiones y muros de corte
Manual para preparar las viviendas para enfrentar los desastres naturales costeros en Texas, (Texas Genaral Land Office, 2013)	Manual de recomendaciones	Español	Esta guía en español presenta un conjunto de recomendaciones para prevenir el colapso de edificaciones existentes durante desastres naturales costeros, tales como huracanes o marejadas ciclónicas.
Introduction to Lateral Design (APA- The Egeineered Wood Asociation, 2003)	Manual prescriptivo de diseño a fuerzas laterales	Inglés	Esta guía para ingenieros estructurales, lleva al lector a entender los principios básicos del diseño de muros estructurales en entramados ligeros de madera.
Building for high wind resistance in light-frame wood construction, (APA, The Engineered Wood Asociation, 2018)	Guía de diseño con detalles	Inglés	Esta guía de diseño contiene los detalles más importantes para tener en cuenta cuando se diseñan construcciones para resistir vientos fuertes. No contiene procedimientos de diseño.
Resilient Design guide, High Wind Wood Frame Construction Edition, (FLASH, Federal Alliance for Safe homes, 2015)	Guía de recomendaciones	Inglés	Este manual contiene algunos detalles muy bien explicados de conexiones y detalles de cimentación
Conectores para la construcción con madera Simpson Strong Tie	Catálogo de conectores	Español e Inglés	Este catálogo comercial de la empresa Simpson Strong Tie, presenta un gran número de posibilidades de conectores de

Documento	Tipo	Idioma	Descripción
			lámina delgada, así como de tornillos autoperforantes, incluye tablas de diseño con resistencias y detalles constructivos en 3D. Documento altamente recomendado para la construcción con madera. Ver Nota 1
Timber Frame, Soluciones para proyectar y construir con entramado ligero, Rothoblaas	Catálogo de conectores y productos	Español	Este catálogo contiene diversos conectores para estructuras de madera, principalmente tornillos autoperforantes, también tiene otros productos tales como barreras de protección contra humedad en muros de madera. La empresa Rothoblaas tiene representación en Colombia. Ver Nota 1

CAPÍTULO 5 - COMPLEMENTO DE CARGAS DE VIENTO PARA EL TÍTULO E, VIVIENDAS DE MADERA, GUADUA Y BAHAREQUE ENCEMENTADO

5.1 – Longitud mínima requerida de muros en cada dirección

La edificación debe tener una configuración que garantice una longitud mínima de muros estructurales, en cada dirección principal en planta, para resistir las fuerzas de viento aplicadas sobre la estructura.

La longitud mínima requerida de muros, en cada dirección principal en planta, debe ser igual o mayor que la longitud calculada con la Ecuación 5-1:

$$L_T = \frac{1.2 \times p_s \frac{kN}{m^2} \times A_{ve} m^2}{R \frac{kN}{m}} \quad (\text{Ecuación 5 - 1})$$

donde:

L_T : Longitud total de muros en cada dirección principal de análisis, m

p_s : Presión del viento, kN/m² (Tabla 5-1)

A_{ve} : Área vertical expuesta, m²

R : Resistencia unitaria admisible de los muros, kN/m (Tabla 5-2)

Tabla 5-1. Presión de viento, p_s ($\frac{kN}{m^2}$), para usar con la Ecuación 5-1

Región (Figura NSR-10-B.6.4.1)	Número de pisos	
	1	2
1	0.20	0.23
2	0.36	0.40
3	0.56	0.63
4	0.81	0.90
5	3.50	3.91

Tabla 5-2. Resistencia admisible, $R \left(\frac{kN}{m} \right)$, para usar con la Ecuación 5-1

Composición del muro	Cortante admisible, $V \frac{kN}{m}$	Tensión admisible a compresión, F_c		Carga vertical máxima permisible $\frac{kN}{m}$	Fuerza admisible a tracción, T kN
		MPa			
Entramado de guadua y madera con dos diagonales, una en cada extremo del muro, inclinadas en direcciones opuestas. Mínimo 40% de parales en madera aserrada. Parales extremos en madera aserrada. Solera y carrera en madera aserrada. Recubrimiento con esterilla, malla y pañete por ambas caras.	15	Grupos ES1 y ES2	15.0	39	15
		Grupo ES3	13.0	37	
	12	Grupo ES4	10.0	35	
	10	Grupo ES5	8.0	33	
	8	Grupo ES6	5.0	31	
Entramado de guadua con dos diagonales, una en cada extremo del muro, inclinadas en direcciones opuestas. Solera y carrera en guadua. Recubrimiento con esterilla, malla y pañete por ambas caras	8	8		41	10

Tabla 5-3. Capacidad nominal a cortante unitario, espesor del tablero, tamaño y penetración de los conectores en bordes de entramados y en tableros en diafragmas bloqueados. Véase las notas 1,2,3,4,5. Véase figura 33 para los casos de posición del tablero

Tabla A-3 Capacidad nominal a cortante unitario, espesor del tablero, tamaño y penetración de los conectores en bordes de entramados y en tableros en diafragmas bloqueados. Véase 1,2,3,4,5. Véase figura para los casos de posición del tablero																								
Tipo de revestimiento	Tipo del clavo común	Penetración del clavo en el miembro de bloqueo o de entramado mm	Espesor mínimo del tablero, mm	Ancho mínimo de la cara del miembro de entramado, mm	Columna A, sismo												Viento B							
					Espaciamiento de los clavos en mm en los bordes del diafragma, en los bordes de los tableros continuos paralelos a la carga (casos 3 y 4) y en todos los bordes de los tableros (casos 5 y 6)																			
					150				100				64				50				150	100	64	50
					Espaciamiento de clavos en los otros bordes de los tableros, mm, casos 1 a 4																Espaciamiento de clavos en los otros bordes del			
					150				100				100				75				150	150	100	75
Vs	Ga			Vs	Ga			Vs	Ga			Vs	Ga			Vw	Vw	Vw	Vw					
	GPa / m				GPa / m				GPa / m				GPa / m											
	N/m	OSB	PLY o Glam		N/m	OSB	PLY o Glam		N/m	OSB	PLY o Glam		N/m	OSB	PLY o Glam					N/m	N/m	N/m	N/m	N/m
Tablero estructural de madera tipo Structural I según designación de la	6d	31,8	7,9	51	5397	4,1	3,3	7294	2,3	2,0	10941	3,3	2,7	12254	5,4	4,1	7586	10211	15317	17140				
				76	6127	3,3	2,6	8169	1,9	1,6	12254	2,6	2,3	13858	4,6	3,5	8607	11451	17140	19401				
	8d	34,9	9,5	51	7877	3,8	3,0	10503	2,4	2,0	15463	3,5	2,7	17505	5,7	4,1	11014	14733	21662	24507				
				76	8753	3,3	2,7	11670	2,0	1,8	17505	2,7	2,4	19693	4,9	3,5	12254	16338	24507	27570				
	10d	38,1	11,9	51	9336	6,5	4,6	12399	4,1	3,3	18672	5,4	4,1	21298	8,4	5,7	13056	17359	26112	29832				
				76	10503	5,4	4,1	14004	3,3	2,6	21006	4,3	3,5	23924	7,1	4,9	14733	19620	29394	33478				
Tablero estructural de madera tipo Sheathing y Single Floor según designación de la referencia (APA-The Engineered Wood Association, 2007)	6d	31,8	7,9	51	4960	4,1	2,7	6564	2,4	1,9	9774	3,5	2,6	11087	5,7	3,5	6929	9190	13712	15536				
				76	5543	3,3	2,4	7294	1,9	1,6	11087	2,7	2,2	12545	4,6	3,3	7731	10211	15536	17578				
		9,5	51	5397	3,5	2,6	7294	1,9	1,6	10941	2,7	2,2	12254	4,9	3,3	7586	10211	15317	17140					
			76	6127	2,7	2,2	8169	1,5	1,4	12254	2,3	1,9	13858	3,8	2,7	8607	11451	17140	19401					
	8d	34,9	9,5	51	7002	4,1	3,0	9336	2,6	2,0	14004	3,5	2,6	15900	5,7	3,5	9774	13056	19620	22246				
				76	7877	3,3	2,6	10503	2,0	1,6	15755	3,0	2,3	17797	4,9	3,3	11014	14733	22027	24945				
		11,1	51	7440	3,8	2,7	9920	2,3	1,9	14733	3,3	2,6	16776	5,4	3,5	10430	13858	20641	23486					
			76	8315	3,0	2,4	11087	1,9	1,6	16630	2,7	2,2	18818	4,6	3,3	11670	15536	23267	26331					
	11,9	51	7877	3,5	2,6	10503	2,0	1,8	15463	3,0	2,3	17505	5,2	3,5	11014	14733	21662	24507						
		76	8753	2,7	2,3	11670	1,6	1,5	17505	2,4	2,0	19693	4,1	3,0	12254	16338	24507	27570						
	10d	38,1	11,9	51	8461	6,8	4,1	11232	4,1	3,0	16776	5,7	3,8	19110	9,0	4,9	11816	15755	23486	26768				
				76	9482	5,7	3,8	12545	3,3	2,6	18964	4,6	3,3	21444	7,6	4,3	13275	17578	26549	30050				
		15,1	51	9336	5,7	3,8	12399	3,5	2,6	18672	4,9	3,3	21298	7,6	4,6	13056	17359	26112	29832					
			76	10503	4,6	3,3	14004	2,7	2,2	21006	3,8	3,0	23924	6,5	4,1	14733	19620	29394	33478					

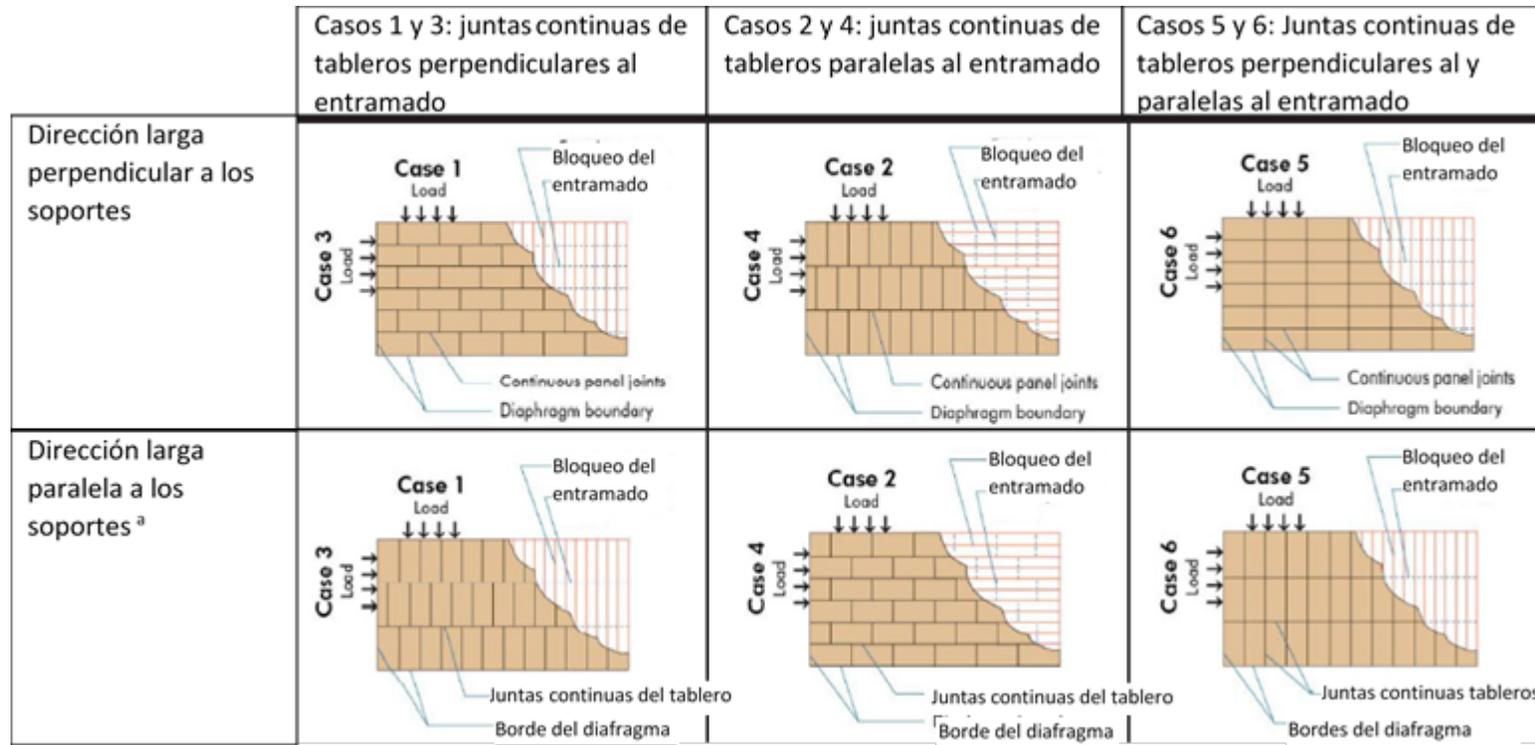
Tabla 5-4. Capacidad nominal a cortante unitario, espesor del tablero, tamaño y penetración de los conectores en bordes de entramados y en tableros en diafragmas bloqueados que utilizan múltiples filas de conectores. DIAFRAGMA CON ALTA CAPACIDAD DE RESISTENCIA.

Véase notas de pie 1,2,3,4,5. Véase figura 33 para los casos de posición del tablero.

tipo de revestimiento	Tipo del clavo común	Tabla A-4 D42:D59	Espesor mínimo del tablero mm	Ancho mínimo de la cara del miembro de entramado mm	Número de líneas de conectores	Columna A, sismo												Viento B			
						Espaciamiento de los clavos en mm en los bordes del diafragma, en los bordes de los tableros continuos paralelos a la carga (casos 3 y 4) y en todos los												Espaciamento de los clavos en los bordes del			
						150			100			60			50			150	150	100	75
						Espaciamiento de los clavos en los otros bordes de los tableros mm, casos 1 a 4												Espaciamento de clavos en mm en los otros			
						150			150			100			75,0			150	150	100	75
Vs	Ga			Vs	Ga			Vs	Ga			Vs	Ga			Vw	Vw	Vw	Vw		
	GPa / m				GPa / m				GPa / m				GPa / m								
	N/m	OSB	PLY o Glam		N/m	OSB	PLY o Glam		N/m	OSB	PLY		N/m	OSB	PLY o Glam					N/m	N/m
Tablero estructural de madera tipo Structural I según designación de la referencia (APA-The Engineered Tablero)	10d	38,1	11,91	76,2	2	17651	10,9	6,5	23778	14,4	7,6	25528	13,6	7,3	33551	15,2	7,9	24726	33260	35739	46972
				101,6	2	20423	9,0	5,7	26695	13,0	7,3	29321	11,9	6,8	37636	13,8	7,6	28592	37344	41064	52661
				101,6	3	25528	13,6	7,3	35594	16,6	8,1	37490	16,0	8,1	40699	19,0	8,7	35739	49816	52515	56964
				76,2	2	19547	9,8	6,2	25674	14,1	7,9	28154	12,8	7,3	36615	14,7	7,9	27352	35958	39386	51275
				101,6	2	22757	7,9	5,4	28883	12,5	7,3	32384	10,9	6,8	42012	13,0	7,3	31874	40407	45367	58788
				101,6	3	28154	12,8	7,3	38511	16,3	8,4	40991	15,5	8,1	52223	17,4	8,7	39386	53901	57402	73084
			15	76,2	2	21298	9,0	6,0	27862	13,6	7,9	30634	12,2	7,3	39824	14,4	8,1	29832	39022	42887	55724
				101,6	2	24945	7,1	5,2	31217	11,7	7,3	35302	10,0	6,5	45659	12,2	7,3	34937	43690	49452	63893
				101,6	3	30634	12,2	7,3	41720	16,0	8,7	44492	15,2	8,4	52515	18,5	9,2	42887	58423	62289	73521
				50,8	2	15317	11,7	5,7	21152	14,9	6,2	22319	14,4	6,2	29467	15,7	6,5	21444	29613	31217	41283
				76,2	2	17651	9,8	5,2	23778	13,6	6,0	25528	12,5	5,7	32238	14,9	6,2	24726	33260	35739	45148
				50,8	3	22319	14,4	6,2	31655	16,8	6,5	32968	16,6	6,5	34864	19,5	7,1	31217	44346	46170	48795
Tablero estructural de madera tipo Sheathing y Single Floor según designación de la referencia (APA-The Engineered Tablero)	10d	38,1	12	76,2	2	18964	9,2	5,2	25091	13,3	6,2	27279	12,2	6,0	35739	14,1	6,2	26549	35156	38219	50035
				50,8	2	22027	7,3	4,3	28154	11,7	5,7	31509	10,0	5,4	39970	12,5	6,0	30853	39386	44127	55943
				76,2	3	27279	12,2	6,0	37636	15,5	6,5	39824	14,9	6,5	43325	18,5	7,1	38219	52661	55724	60684
				50,8	2	20714	8,1	4,9	27279	12,5	6,2	29759	11,4	6,0	38949	13,6	6,5	29029	38219	41647	54557
				76,2	2	24069	6,5	4,3	30634	10,9	5,7	34281	9,2	5,4	42158	12,2	6,2	33697	42887	47993	59007
				50,8	3	29759	11,4	6,0	40845	15,2	6,8	43179	14,4	6,8	45659	19,3	7,6	41647	57183	60465	63893
			15	76,2	2	17651	9,8	5,2	23778	13,6	6,0	25528	12,5	5,7	32238	14,9	6,2	24726	33260	35739	45148
				50,8	3	22319	14,4	6,2	31655	16,8	6,5	32968	16,6	6,5	34864	19,5	7,1	31217	44346	46170	48795
				76,2	2	18964	9,2	5,2	25091	13,3	6,2	27279	12,2	6,0	35739	14,1	6,2	26549	35156	38219	50035
				50,8	2	22027	7,3	4,3	28154	11,7	5,7	31509	10,0	5,4	39970	12,5	6,0	30853	39386	44127	55943
				76,2	3	27279	12,2	6,0	37636	15,5	6,5	39824	14,9	6,5	43325	18,5	7,1	38219	52661	55724	60684
				50,8	2	20714	8,1	4,9	27279	12,5	6,2	29759	11,4	6,0	38949	13,6	6,5	29029	38219	41647	54557

NOTAS:

- Los valores nominales de las tablas 5-3 y 5-4 se deben convertir a valores admisibles dividiendo por un coeficiente de reducción de 2,0. Los miembros periféricos de los diafragmas de entramados deben diseñarse para transferir las fuerzas de cortante, tracción y compresión correspondientes. El revestimiento de un diafragma y de los muros de corte no se puede considerar como parte de los miembros periféricos (soleras, cordones y colectores); como tampoco como elemento que ayude en los puntos de empalme de estos. Los cordones y colectores del diafragma deben localizarse en el mismo plano o en contacto con los elementos del entramado, a menos que pueda ser demostrado que los momentos, cortantes y deflexiones considerando las excentricidades que resultan de otras configuraciones, puedan ser resistidas sin exceder la capacidad del entramado y sus límites de deflexiones. Para requisitos específicos véase G.7.3.7.2.8.1 para entramados de madera.
- Para especies que no tengan una gravedad específica $G=0,50$, la capacidad a cortante reducida debe determinarse multiplicando la capacidad tabulada por el coeficiente de ajuste por gravedad específica $= (1 - (0,5 - G))$, donde G : gravedad específica anhidra del grupo estructural según Título G. El coeficiente aplicado nunca puede ser mayor de 1.
- Valores aparentes de rigidez a cortante, G_a , se basan en el deslizamiento de los clavos en el entramado con contenido de humedad mejor o igual a 19% en el momento de la fabricación y el valor de rigidez para diafragmas contruidos con tableros OSB, *plywood* o *guadua laminada* de 3 lamelas. Cuando se usan tableros estructurales de madera (*plywood*) de 4 o 5 lamelas o tableros de madera compuesta, los valores de G_a se permiten multiplicar por 1,2.
- Cuando el contenido de humedad del entramado en el momento de fabricación es mayor de 19%, los valores de G_a se deben multiplicar por 0,5.
- La resistencia del diafragma depende de la dirección de las juntas continuas de los tableros con respecto a la dirección de la carga y la dirección de los miembros del entramado y es independiente de la orientación del tablero.

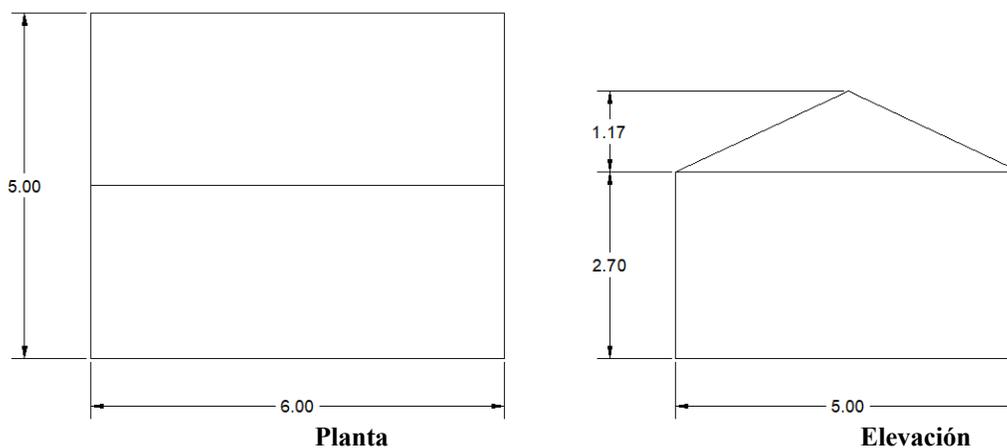


- a. Relación de luces del tablero para cargas fuera del plano deben ser menores que la relación de luces con la longitud larga del panel en la dirección perpendicular a los soportes

Figura 33. Posición de los tableros estructurales con respecto al entramado de madera

5.2 – Ejemplo de aplicación

Con base en estos datos, se puede calcular la longitud mínima de muros, requerida para cada caso. Por ejemplo, considérese una edificación de un piso, con la configuración que se muestra en la siguiente figura.



Para una velocidad de viento de 250 km/h, región 5 Tabla A-1, se obtiene p_s .

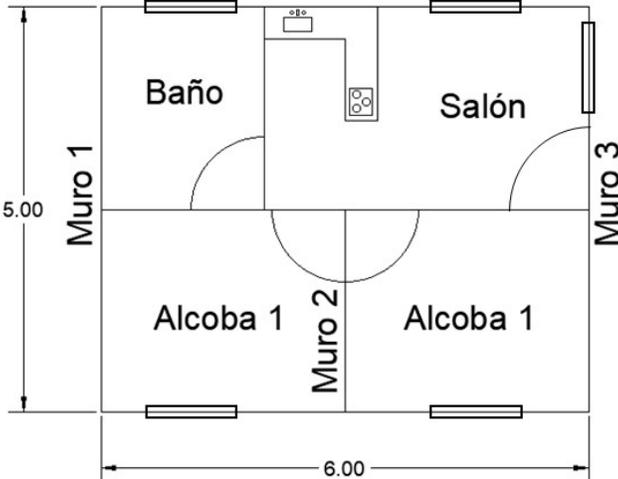
$$p_s = 3.50 \text{ kPa}$$

Así, la longitud mínima de muros es de:

$$L_T = \frac{1.2 \times p_s \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times A_{ve} \text{ m}^2}{R \frac{\text{kN}}{\text{m}}} = \frac{1.2 \times 3.50 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times [(2.7 \times 5) + (1.17 \times 2.5)] \text{ m}^2}{8 \frac{\text{kN}}{\text{m}}} = 8.7 \text{ m}$$

En la siguiente figura se muestra la distribución interna de la edificación del ejemplo, donde se ve que la longitud total de muros, en la dirección paralela a la dimensión de 5 m, es igual a la suma de los segmentos sólidos sin contar puertas ni ventanas de los muros 1, 2, 3 y el muro del baño, en total la longitud de muros en la dirección Y es 11.0 m la cual es mayor que los 8.7 m de muro requeridos, es decir, que la configuración mostrada tiene, teóricamente, capacidad de resistir vientos de hasta 250 km/h.

Igualmente se realiza el chequeo para la dirección paralela a la dimensión de 6 m, en donde la casa tiene un total de 12 m de muros sólidos, mayor que los 8.7 m requeridos, es decir que la casa cumple en ambos sentidos.



CAPÍTULO 6 – BIBLIOGRAFÍA

- American Wood Council. (2015). *160 MPH Exposure B and C, WFCM Guide to wood frame construction in High Wind Areas for One and two familidwellings*. Leesburg, Virginia, USA: American Wood Council.
- American Wood council. (2018). *WFCM 2018, Workbook, Design of wood frame buildings for high winds, snow, and seismic loads*. Leesburg, Virginia, USA: American Wood Council.
- American Wood Council. (2018). *WFCM, Wood Frame Construction Manual, for one and two family dwellings*. Leesburg, Virginia, USA: American Wood Council.
- American wood Council. (2019). *2015/2018 Structural design examples*. Leesburg, Virginia, USA: American Wood Council.
- APA- The Egeineered Wood Asociation. (2003). *Introduction to Lateral design*. Tacoma, Washington, USA: APA' The Engineered Wood Asociation.
- APA, The Engineered Wood Asociation. (2018). *Building for High Wind Resistance in Light-Frame Wood Construction*. Tacoma, Washington: APA, The Engineered Wood Asociation.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica . (2000). *Manual de construccion sismo resistente de viviendas de bahareque encementado*. Bogota, Colombia : Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica . (2000). *Manual de construcción, evaluación y rehabilitación sismo-resistente de viviendas de mamposteria*. Bogota, Colombia: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica .
- Asociación colombiana de Ingeniería Sísmica . (2010). *Reglamento colombiano de construcción sismo resistente* . Bogotá, colombia: Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica.
- FLASH, Federal Alliance for Safe homes. (2015). *Resilient Design Guide, High Wind Wood Frame Construction Edition*. Tallahassee, Florida: FLASH, Federal Alliance for Safe homes.
- Fritz , A., & Ubilla , M. (2011). *Manual de diseño, construcción, montaje y aplicacion de envoltentes para viviendas de madera*. Santiago de Chile: CORMA.
- Habitat para la Humanidad. (2017). *Viviendas de madera resistentes a huracanes* . San Jose, Costa Rica: Habitat para la Humanida, oficina para America Latina y el Caribe.

- International Network for Bamboo and Ratan INBAR. (2014). *Norma Andina para diseño de casas de uno y dos pisos en bahareque encementado*. Quito, Ecuador: International Network for Bamboo and Ratan INBAR.
- Resio, D. T., & Westerink, J. J. (2008). Modeling the Physics of storm surge. *Physics today*, 33-38.
- Rothoblaas. (2020). *Timber Frame, soluciones para proyectar y construir con entramado ligero*. Cortaccia, Italia: Rothoblaas SRL.
- Simpson strong tie. (27 de diciembre de 2019). *Conectores para la construccion con madera Simpson strong Tie*. Pleasanton California: Simpson strong tie. Obtenido de Simpson strong tie web site: <https://www.strongtie.com/>
- Texas General Land Office. (2013). *Manual para preparar las viviendas para enfrenar los desastres naturales costeros en Texas*. Dallas , Texas, USA: Texas General Land Office and Texas Sea Grant College Program.