

# TÍTULO G

## ESTRUCTURAS DE MADERA Y ESTRUCTURAS DE GUADUA

### CAPÍTULO G.1

#### REQUISITOS GENERALES

##### G.1.1 — ALCANCE

**G.1.1.1** — El Título G de este Reglamento establece los requisitos de diseño estructural para edificaciones de madera. Una edificación de madera diseñada y construida de acuerdo con los requisitos del Título G tendrá un nivel de seguridad comparable a los de edificaciones de otros materiales que cumplan los requerimientos del Reglamento.

**G.1.1.2** — Cuando este Reglamento se refiera a elementos, miembros o edificaciones de madera, se entenderá refiriéndose a una edificación totalmente de madera o a miembros o a elementos que conforman una edificación mixta en la cual la madera se combina con otros materiales, cobijados o no dentro del alcance de este Reglamento.

**G.1.1.3** — Esta norma se puede complementar con la Norma Técnica Colombiana NTC 2500 Uso de la Madera en la Construcción, publicada por el ICONTEC, Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, la cual se ocupa de la madera como material de construcción y de los procesos industriales y tratamientos, así como de los requisitos de fabricación, montaje, transporte y mantenimiento de elementos de madera. Se recomienda el uso simultáneo de ambas normas, pero para todos los aspectos priman las normas del presente Reglamento.

##### G.1.2 — DEFINICIONES Y NOMENCLATURA

**G.1.2.1 — DEFINICIONES** — Los siguientes términos, usados a lo largo de este Título, tienen el significado que se indica a continuación.

**Acabado** — Estado final, natural o artificial, en la superficie de una pieza u objeto de madera para un fin determinado. El acabado natural se obtiene mediante procesos tales como: cepillado, lijado, etc. y el acabado artificial con la aplicación de sustancias tales como: ceras, lacas, tintes, etc.

**Acción conjunta o Acción de Grupo** — Participación de tres o más elementos estructurales con una separación entre ellos no mayor de 600mm, para soportar una carga o un sistema de cargas, y que están unidas por pisos, techos u otros elementos que distribuyan adecuadamente las cargas.

**Albura, madera de** — La proveniente de la parte periférica del árbol constituida por capas de leño en estado de maduración. Por lo general la atacan fácilmente hongos e insectos; se recomienda su preservación cuando se use en la construcción.

**Alfarda** — Par o cuchillo de una armadura de cubierta que se coloca perpendicularmente a la fachada.

**Amarre de continuidad** — En diafragmas de madera es el elemento continuo que se extiende de borde a borde del diafragma, y es el encargado de la transmisión de las fuerzas que actúan perpendicularmente al muro.

**Amarre secundario** — Son los elementos continuos que se extienden de borde a borde del diafragma y que se localizan entre los amarres de continuidad; se encargan de la transmisión de cargas a los amarres de continuidad.

**Anisotropía** — Propiedad de ciertos materiales que, como la madera, presentan características diferentes según la dirección que se considere.

**Arandela** — Pieza metálica en forma de corona para repartir la fuerza en un área mayor.

**Armadura** — Conjunto de elementos de madera que ensamblados en configuraciones triangulares planas o espaciales y adecuadamente diseñadas y detalladas conforman un sistema o un sub-sistema estructural que resiste y

transfiere cargas horizontales, verticales o una combinación de las dos, hacia la cimentación o a los elementos de soporte. Cercha.

**Aserrado** — Proceso mediante el cual se corta longitudinalmente una troza, para obtener piezas de madera de sección transversal cuadrada o rectangular denominadas comúnmente bloque o tablonés. El aserrado se realiza mediante sierras circulares, sierras de cinta u hojas de sierra.

**Cajas** — Corte de forma rectangular que se practica en el canto de un elemento de madera.

**Cambium** — Capa situada debajo de la corteza de los árboles y plantas en donde se producen las células de crecimiento.

**Cantado** — Proceso de labrar el canto de una tabla. Planeado.

**Canto** — Superficies perpendiculares a las caras de una tabla o borde.

**Capacidad de un elemento o componente estructural** — Es la máxima fuerza axial, fuerza cortante y momento flector que es capaz de resistir un elemento o componente estructural.

**Capacidad modificada para diseño** — Es la capacidad de un elemento o componente estructural afectada por los coeficientes de modificación.

**Cara** — Superficies mayores perpendiculares a los cantos de una tabla.

**Carga de servicio** — Carga estipulada en éste Reglamento en el Título B.

**Cargar** — Aplicar fuerzas a una estructura. Apilar madera en una cámara de secado.

**Celosía** — Viga de cordones paralelos con pendolones y diagonales que forman triángulos continuos. Enrejado de piezas de madera.

**Cepillado** — Proceso de alisar la superficie de la madera.

**Cimbra** — Sistema total de soporte para el concreto fresco.

**Cepillo** — Herramienta manual o equipo eléctrico-mecánico para efectuar el cepillado de la madera.

**Cercha** — Elemento estructural triangulado que recibe las cargas de un tejado.

**Clavo** — Elementos metálico largo y delgado con cabeza y punta que se introduce a golpes o a presión para unir maderas.

**Clavo lancero** — Clavo introducido en forma inclinada.

**Coefficientes de modificación** — Son los coeficientes por los cuales se debe afectar a los esfuerzos admisibles y a los módulos admisibles de elasticidad longitudinal para tener en cuenta las condiciones de uso particular de un elemento o componente estructural, y así obtener los valores modificados que pueden ser usados en el diseño estructural.

**Colector** — Los colectores de un diafragma de madera son elementos controlados por fuerza que transmiten las fuerzas inerciales al sistema estructural de resistencia sísmica. Estos elementos junto con el sistema estructural definen un plano de colección de fuerzas que se extiende de borde a borde del diafragma, a través del cual el diafragma transfiere las fuerzas inerciales al sistema estructural de resistencia sísmica.

**Columna** — Pieza cuyo trabajo principal es a compresión.

**Columna armada** — Columna formada por varios elementos o piezas individuales de madera, clavadas, atornilladas, empernadas o pegadas entre sí para funcionar como una unidad.

**Columna espaciada** — Columna formada a partir de dos o más elementos individuales de madera dispuestos paralelamente al eje de la columna, separados en los extremos y en puntos intermedios de su longitud por bloques o

tacos, unidos por adhesivos, tornillos, clavos, conectores, pernos capaces de desarrollar la resistencia a corte requerida.

**Condición de uso** — Se refiere a la condición de exposición al medio ambiente, a la forma de uso y al tipo de cargas que solicitarán al elemento o componente de madera durante su etapa de servicio.

**Conector** — Elementos metálicos que incluyen clavos, tornillos, pernos, multiclavos de dientes integrales, anillos partidos, platinas de corte y cartelas, los cuales se emplean como medio de unión de dos o más maderas o de maderos con otros materiales.

**Contracción** — Reducción de las dimensiones de una pieza de madera causada por la disminución del contenido de humedad por debajo de la zona de saturación de las fibras, que se presenta en los sentidos radial, tangencial y longitudinal.

**Contrachapado** — Tablero formado con chapas pegadas, con las fibras normalmente a 90 grados.

**Contraviento o Riostra** — Elemento que colocado en forma transversal o diagonal a los elementos principales de un sistema estructural, garantiza la estabilidad geométrica y estructural del conjunto.

**Cordones** — Miembro superior o inferior de una armadura, responsable de resistir el momento debido a las cargas que actúan en el plano de la misma.

**Creosota** — Destilado, generalmente de alquitrán de hulla, constituido por una mezcla de hidrocarburos aromáticos, sólidos y líquidos. Se usa en la preservación de la madera y en la fabricación de pinturas.

**Cuchillo** — Alfarda o par de una armadura de cubierta o vertientes.

**Cumbrera** — Parte más alta de un tejado en donde se unen los faldones.

**Chapa** — Lámina de madera con un espesor no mayor de 6 mm, obtenida por corte plano o de bobinado de un bloque o rollizo respectivamente. Cualquier lámina de madera con las mismas características de espesor.

**Descargar** — Remover fuerzas de una estructura. Retirar la madera de una cámara de secado.

**Descimbrar** — Retirar la cimbra de su posición de soportes de cargas.

**Diafragma** — Subsistemas estructurales encargados de la transmisión y resistencia de las fuerzas laterales, principalmente por acción en su plano. Los diafragmas pueden ser tanto horizontales (entrepisos y cubiertas) como verticales (muros de corte).

**Diafragma horizontal** — Subsistema estructural horizontal o relativamente horizontal que transmitir fuerzas laterales a los elementos verticales encargados de la resistencia lateral de una edificación.

**Diagonal** — Armadura o viga de una armadura de cubierta instalada generalmente a 45° con respecto a la fachada. Cualquier elemento cuyo eje longitudinal forma un ángulo diferente de 0° o 90° con el eje longitudinal del elemento o componente estructural al cual se conecta.

**Dimensiones nominales** — Son las existentes en las piezas antes de las operaciones de maquinado.

**Dimensiones reales** — Son aquellas que presentan las piezas después de las operaciones de maquinado.

**Distancia al extremo** — Distancia del centro de un elemento de unión (conector) a la arista extrema de una pieza.

**Distancia al borde** — Distancia del centro de un elemento de unión (conector) a una arista lateral de la pieza.

**Distancia centro a centro** — Distancia del centro de un elemento de unión al centro del elemento adyacente.

**Ductilidad por desplazamiento** — Relación entre el desplazamiento correspondiente al esfuerzo de rotura del material y el desplazamiento correspondiente al esfuerzo de fluencia del material.

**Duramen, madera de** — La proveniente de la zona central del árbol constituida por células maduras. Es por lo general menos susceptible de ser atacada por hongos e insectos. En especies de baja densidad se recomienda usarla preservada.

**Elemento dúctil** — Es un elemento que tiene capacidad de deformación en el rango inelástico.

**Elemento de poca o limitada ductilidad** — Elemento con poca o limitada capacidad de deformación en el rango inelástico.

**Elemento principal** — En el diseño de conexiones sometidas a cortante simple, es el elemento de madera de mayor espesor. En el diseño de conexiones con clavos, tornillos o tirafondos sometidas a cortante doble, es el elemento de madera que recibe la punta del conector.

**Elemento lateral o secundario** — En el diseño de conexiones sometidas a cortante simple o múltiple, son los elementos de madera o platinas de acero no cubiertos por la definición anterior.

**Enlucido** — Pañete de mortero en muros, también llamado frisado

**Entalisar** — Colocar talisas o separadores entre las maderas para el secado.

**Entramado** — Conjunto de elementos estructurales como vigas y viguetas en entrepisos y techos, o como parales en muros, que se encargan de dar soporte al material de revestimiento de entrepisos, techos y muros.

**Escuadría** — Dimensiones transversales de una pieza de madera aserrada a escuadra.

**Esfuerzos admisibles para diseño** — Son los esfuerzos de flexión, tensión, compresión paralela, compresión perpendicular, corte y módulo de elasticidad longitudinal, que resisten los elementos de madera, referenciados.

**Esfuerzos admisibles modificados para diseño** — Es el esfuerzo resultante de multiplicar los esfuerzos de referencia para diseño por los coeficientes de modificación aplicables. Es el esfuerzo que debe ser usado para realizar el diseño estructural y para revisar los criterios de aceptación.

**Esfuerzo calculado** — Es el esfuerzo resultante de las solicitudes de servicio.

**Extracción, Carga de extracción** — Carga de tensión aplicada sobre el eje longitudinal de un conector.

**Faldón** — Vertiente o cada uno de los planos que forman el tejado.

**Fibra** — Célula alargada con extremos puntiagudos y casi siempre con paredes gruesas; típica de las maderas latifoliadas.

**Formaleta** — Estructura provisional que soporta o da forma a elementos de concreto mientras obtienen la resistencia requerida.

**Fresado** — Proceso industrial para labrar la madera por medio de fresas o cuchillas.

**Friso, Remate** — Tabla ubicada de canto, que en una de sus caras rematan vigas o viguetas.

**Grano** — Término que se refiere a la dirección de los elementos celulares axiales con relación al eje del árbol o al canto de una pieza de madera aserrada.

**Grupo** — Clasificación de las maderas de acuerdo a su módulo de elasticidad y a su conjunto de esfuerzos.

**Hinchamiento** — Aumento de las dimensiones de una pieza causada por el incremento de su contenido de humedad.

**Labrado** — Es la operación realizada en la madera para reducirla al estado o forma conveniente para su uso.

**Madera tratada** — Es aquella sometida a un proceso de secado y preservación.

**Maquinado** — Proceso destinado a obtener la escuadría necesaria de un madero por medio de máquinas apropiadas.

**Módulo de elasticidad longitudinal admisible** — Módulo de elasticidad de un elemento de madera medido en la dirección paralela al grano, multiplicado por los coeficientes de modificación que lo afecten.

**Módulo de elasticidad mínimo longitudinal admisible** — Es el anterior módulo, llevado al quinto percentil, a flexión pura y finalmente afectado por un factor de seguridad.

**Montaje** — Acción y efecto de armar o ensamblar los elementos y componentes de una construcción.

**Montante o Pendolón** — Pieza de madera, normalmente en posición vertical en el plano de trabajo, que forma parte de una armadura.

**Mortero** — Mezcla de arena y cemento utilizado para unir ladrillos o pañetar muros o techos.

**Muro cortafuego** — Pared de separación de material resistente al fuego, que divide una construcción a lo ancho y a lo alto para impedir que el fuego se propague de un lado a otro.

**Muro de corte** — Elemento vertical del sistema de resistencia a cargas laterales de la edificación, diseñado para transmitir las cargas gravitacionales y para soportar las cargas laterales provenientes de diafragmas horizontales y de otros elementos del sistema de resistencia lateral de niveles superiores.

**Muro divisorio** — Elemento vertical usado exclusivamente para dividir un espacio interior y que no soporta cargas gravitacionales provenientes de diafragmas horizontales.

**Muro portante** — Elemento vertical diseñado para dar soporte a las cargas gravitacionales de los diafragmas horizontales y para transferir dichas cargas a otros elementos portantes o, a la cimentación.

**Muros** — Elementos verticales que soportan los diafragmas horizontales y transfieren cargas a las fundaciones.

**Panel** — Tablero, de dimensiones y materiales diversos, que puede formar parte de cualquier unidad de la construcción, como muros, pisos, techos, etc.

**Partícula** — En tableros aglomerados o de partículas, es la porción diminuta bien definida de madera u otra materia orgánica producida mecánicamente para constituir la masa con que se fabrica el tablero.

**Pendolón** — Elemento vertical de una cercha o de una armadura de cubierta. Montante.

**Perforación guía o pretaladrado** — Perforación con características de diámetro y profundidad específicas, realizada en el elemento de madera para la posterior instalación de un conector.

**Perno** — Elemento de unión de maderas, provisto de cabeza hexagonal en un extremo y rosca en el otro.

**Peso superficial de un muro** — Se entenderá como el peso por unidad de área de un muro. Se calculará como el peso específico del muro multiplicado por su espesor.

**Pie derecho** — Elemento vertical que trabaja a compresión. Piezas verticales de los entramados o muros de corte.

**Pie de amigo** — Elemento inclinado de soporte que trabaja a compresión.

**Pie tablar** — Unidad de medida representada por el volumen de una tabla de un pie de largo (aproximadamente 0.305 m), un pie de ancho (aproximadamente 0.305 m) y una pulgada de espesor (aproximadamente 0.0254 m). Un metro cúbico tiene 424 pies tablares.

**Pieza** — Unidad de medida equivalente a 30.000 centímetros cúbicos. Un metro cúbico corresponde a 33.33 piezas

**Prearmar** — Poner en su lugar cada uno de los elementos o componentes de una construcción, sin asegurar las uniones de modo definitivo, con el fin de comprobar dimensiones y ajustes.

**Precortado** — Se refiere a la obtención de piezas o elementos de madera con determinadas características, tales como cortes, perforaciones, etc., las que serán luego utilizadas en obra.

**Precortaje** — Corte en fábrica según planos, de los elementos de madera de una construcción.

**Prefabricación** — Producción en fábrica de partes de la construcción como cerchas, paneles, o inclusive habitaciones y casas completas.

**Prefabricado** — Se refiere a la producción en fábrica de elementos y componentes separados, que luego serán montados en el terreno.

**Preservación** — Tratamiento que consiste en aplicar sustancias capaces de prevenir o contrarrestar la acción de alguno o varios tipos de organismos que destruyen o afectan la integridad de la madera. Generalmente estos tratamientos son efectivos por lapsos más o menos largos, dependiendo de su calidad.

**Preservante** — Sustancia que se aplica para prevenir o contrarrestar por un período de tiempo, la acción de alguno o varios de los tipos de organismos capaces de destruir o afectar la madera.

**Puntal** — Columna de madera usada como soporte provisional o definitivo. Tornapunta.

**Puntilla** — Clavo.

**Retiro** — Separación entre dos construcciones o entre la construcción y el límite del lote.

**Revestimiento estructural** — Material que recubre la superficie de un muro de corte o de un diafragma horizontal.

**Revoque** — Enlucido o pañete.

**Rigidizador** — Pieza de madera cuyo objeto es disminuir el pandeo de elementos comprimidos.

**Riostra o Contraviento** — Elemento estructural empleado para estabilizar una cubierta. Pieza que puesta transversal u oblicuamente asegura la invariabilidad de forma de un entramado.

**Secado** — Proceso natural o artificial mediante el cual se reduce el contenido de humedad de la madera.

**Sección** — Perfil o figura que resulta de cortar una pieza o cuerpo cualquiera por un plano.

**Sección longitudinal** — Aquella sección que resulta de cortar una madera en sentido paralelo a las fibras.

**Sección radial** — Corte longitudinal de un tronco en dirección perpendicular a los anillos de crecimiento.

**Sección tangencial** - Corte longitudinal de un tronco tangente a los anillos de crecimiento.

**Sección transversal** — Aquella sección que resulta de cortar una madera en sentido perpendicular a las fibras.

**Separador o espaciador** — Bloque o taco de madera responsable de mantener a una separación constante dos o más elementos de madera de los que se requiere que actúen en conjunto.

**Sistema estructural** — Es el conjunto de elementos o componentes estructurales, o de sub-sistemas estructurales diseñados, detallados y ensamblados para resistir la totalidad o una porción de las cargas (verticales, horizontales o ambas) que actúan en una edificación, y para transferirlas al punto final de aplicación (cimentación) a través de una o más trayectorias continuas de carga.

**Sistema estructural de resistencia a cargas laterales** — Es el sistema estructural concebido principalmente para resistir las fuerzas de sismo o viento que actúan en una edificación (además de las cargas verticales aferentes a él), y para transferirlas al punto final de aplicación (cimentación).

**Sistema estructural de resistencia sísmica** — Es el sistema estructural de resistencia a cargas laterales específicamente diseñado y detallado para resistir fuerzas sísmicas a través de la disipación de energía en el rango inelástico.

**Solera** — Elemento superior o inferior del entramado de paneles.

**Solicitación** — Fuerza interna (fuerza axial, fuerza cortante y momento flector) que actúa en una sección determinada de un elemento o componente estructural. También se entenderá, como los esfuerzos asociados a cada una de las fuerzas internas que actúan en una sección determinada de un elemento o componente estructural, y que se calculan a partir de la teoría de la elasticidad.

**Solicitación admisible** — Fuerza interna calculada con base en los esfuerzos admisibles y las leyes de la mecánica estructural para una sección dada.

**Solicitación controlada por deformación** — Se denominan solicitaciones controladas por deformación a aquellas solicitaciones como momentos, cortantes o fuerzas axiales calculadas a partir del análisis estructural, para las cuales se diseña y detalla específicamente un elemento o un componente que proporciona ductilidad al sistema estructural.

**Solicitación controlada por fuerza** — Se denominan solicitaciones controladas por fuerza a aquellas solicitaciones como momentos, cortantes o fuerzas axiales para las cuales se diseñan los componentes del sistema estructural de los que se espera un comportamiento frágil o de limitada ductilidad.

**Subdiafragma** — La porción de un diafragma mayor que es diseñado para anclar y transferir fuerzas localizadas a los amarres secundarios y al diafragma principal.

**Subsistema estructural** — La porción de un sistema estructural que cumple una función específica en la resistencia de cargas y en la transmisión de las mismas a otro elemento, componente, sub-sistema estructural, o a la cimentación.

**Tabique** — Pared delgada que separa espacios de una edificación. Panel.

**Tabla** — Pieza de madera plana de poco espesor.

**Tablero** — Conjunto de tablas unidas por el canto que se clava a un armazón.

**Tablero aglomerado o de partículas** — Lámina formada por partículas de madera prensadas y encoladas que se usa como revestimiento de muros o cielo-rasos.

**Tablero estructural de Madera** — El término se refiere a un tablero a base de madera unido con adhesivos impermeables.

**Tableros de madera contrachapada (Plywood)** — Tablero estructural de madera compuesto de láminas o chapas de madera dispuestas en capas con el grano orientado perpendicularmente entre chapas adyacentes. Las chapas son unidas con un adhesivo que se cura mediante la aplicación de calor y presión.

**Tableros aglomerados de fibras orientadas (OSB — Oriented Strand Board)** — Panel estructural de madera formado por una matriz de piezas delgadas de madera de forma rectangular dispuestas en la dirección larga del panel y unidas entre ellas con un adhesivo impermeable.

**Tableros Formaleta** — Tablero estructural de partículas de madera, unidas con resina melamínica o especial, que lo hace altamente resistente a la humedad y le brinda óptimo acabado a sus caras.

**Talisa** — Separador de piezas de madera para el secado artificial o natural.

**Taquetear** — Instalar taquetes en pisos y entramados.

**Taquete** — Elemento de madera que se instala perpendicularmente a la cara de vigas, viguetas y parales para darle estabilidad lateral a los mismos.

**Tenacidad** — Cualidad que le permite a la madera experimentar considerables cambios de forma antes de romperse, con fractura generalmente astillada.

**Tímpano** — Superficie o muro triangular.

**Tirante** — Elemento inferior de un sistema estructural que para cargas gravitacionales trabaja a tensión.

**Tornapunta** — Puntal, pendolón.

**Tornillo tirafondo** — Elemento de unión de maderas, provisto de cabeza y rosca helicoidal incorporada.

**Tuerca** — Complemento metálico, generalmente hexagonal, provisto de rosca interior para acoplarse a los pernos y asegurarlos en su posición.

**Viga** — Elemento principal, cuyo trabajo es principalmente a flexión.

**Vigueta** — Elemento secundario que trabaja principalmente a flexión.

**G.1.2.2 — NOMENCLATURA** — La simbología utilizada en este Título se relaciona a continuación.

<b>A</b>	=	área bruta de la sección transversal en mm <sup>2</sup> , constante en esfuerzo radial
<b>A<sub>n</sub></b>	=	área neta de la sección transversal de un elemento en mm <sup>2</sup>
<b>A<sub>ne</sub></b>	=	área neta en el extremo del poste, en mm <sup>2</sup>
<b>A<sub>CRIT</sub></b>	=	área en la sección transversal crítica, en mm <sup>2</sup>
<b>B</b>	=	constante en esfuerzo radial
<b>C</b>	=	constante en esfuerzo radial
<b>C<sub>b</sub></b>	=	Coefficiente de modificación por longitud de soporte
<b>C<sub>c</sub></b>	=	coeficiente de cortante, para afectación del módulo de elasticidad
<b>C<sub>cl</sub></b>	=	coeficiente por carga y longitud en vigas laminadas
<b>C<sub>ct</sub></b>	=	coeficiente por concentración de tensiones
<b>C<sub>cl</sub></b>	=	coeficiente de curvatura en vigas de madera laminada
<b>C<sub>D</sub></b>	=	coeficiente de modificación por duración de la carga
<b>C<sub>d</sub></b>	=	coeficiente de modificación por altura
<b>C<sub>DG</sub></b>	=	coeficiente por desviación al grano
<b>C<sub>F</sub></b>	=	coeficiente de modificación por forma
<b>C<sub>f</sub></b>	=	coeficiente de flexibilidad en columnas espaciadas
<b>C<sub>fu</sub></b>	=	coeficiente de modificación por uso en cara ancha
<b>C<sub>g</sub></b>	=	coeficiente por grupo en uniones empernadas
<b>C<sub>kd</sub></b>	=	coeficiente de modificación por desbastamiento o alisadura
<b>C<sub>tq</sub></b>	=	coeficiente de modificación por tratamiento químico
<b>C<sub>in</sub></b>	=	coeficiente de modificación por incisión
<b>C<sub>L</sub></b>	=	coeficiente de estabilidad lateral en vigas
<b>C<sub>l</sub></b>	=	coeficiente de modificación por longitud
<b>C<sub>lc</sub></b>	=	coeficiente de modificación por longitud para compresión paralela
<b>C<sub>lt</sub></b>	=	coeficiente de modificación por longitud para tensión paralela
<b>C<sub>n</sub></b>	=	coeficiente por número de piezas en columnas armadas
<b>C<sub>m</sub></b>	=	coeficiente de modificación por contenido de humedad
<b>C<sub>p</sub></b>	=	coeficiente de estabilidad en columnas
<b>C<sub>p1</sub></b>	=	coeficiente por penetración en uniones clavadas
<b>C<sub>pL</sub></b>	=	coeficiente por uso de platinas en uniones empernadas
<b>C<sub>pv</sub></b>	=	coeficiente de preservación
<b>C<sub>r</sub></b>	=	coeficiente de modificación por acción conjunta
<b>C<sub>T</sub></b>	=	coeficiente de modificación por rigidez al pandeo
<b>C<sub>t</sub></b>	=	coeficiente de modificación por temperatura
<b>C<sub>v</sub></b>	=	coeficiente de modificación por volumen
<b>CH(%)</b>	=	contenido de humedad en porcentaje (%)



<b>CHS(%)</b>	=	contenido de humedad de madera seca (12%)
<b>COV<sub>i</sub></b>	=	coeficiente de variación para esfuerzos
<b>COV<sub>E</sub></b>	=	coeficiente de variación para modulo de elasticidad
<b>D</b>	=	diámetro de la sección transversal circular, en mm, grupo de madera, carga permanente
<b>D<sub>n</sub></b>	=	diámetro neto de la sección transversal circular en mm
<b>DB</b>	=	densidad básica.
<b>ES</b>	=	grupo de madera
<b>E1</b>	=	grupo de madera
<b>E2</b>	=	grupo de madera
<b>E3</b>	=	grupo de madera
<b>E4</b>	=	grupo de madera
<b>E5</b>	=	grupo de madera
<b>E<sub>0.5</sub></b>	=	módulo de elasticidad promedio longitudinal en MPa
<b>E'<sub>0.5</sub></b>	=	modulo de elasticidad promedio longitudinal modificado en MPa
<b>E<sub>0.05</sub></b>	=	módulo de elasticidad al 5° percentil, en MPa
<b>E'<sub>0.05</sub></b>	=	módulo de elasticidad modificada al 5° percentil, en MPa
<b>E<sub>min</sub></b>	=	módulo de elasticidad mínimo, longitudinal en MPa
<b>E'<sub>min</sub></b>	=	módulo de elasticidad mínimo longitudinal modificado en MPa
<b>E<sub>ymin</sub></b>	=	modulo de elasticidad mínimo, con respecto al eje “y” en maderas laminadas en MPa
<b>E'<sub>ymin</sub></b>	=	modulo de elasticidad mínimo modificado, con respecto al eje “y” en maderas laminadas en MPa
<b>E<sub>p</sub></b>	=	modulo de elasticidad perpendicular al grano en MPa
<b>E'<sub>p</sub></b>	=	modulo de elasticidad perpendicular al grano modificado en MPa
<b>ELP</b>	=	esfuerzo en el límite de proporcionalidad, en MPa
<b>ER</b>	=	esfuerzo de rotura, en MPa
<b>F</b>	=	grupo de madera.
<b>F<sub>b</sub></b>	=	esfuerzo admisible a flexión, en MPa
<b>F'<sub>b</sub></b>	=	esfuerzo admisible modificado a flexión, en MPa
<b>F<sub>bE</sub></b>	=	esfuerzo crítico de pandeo, en vigas a flexión, en MPa
<b>F<sub>b</sub><sup>*</sup></b>	=	esfuerzo admisible de flexión. Multiplicado por todos los factores de modificación excepto <b>C<sub>L</sub></b> en MPa
<b>F<sub>b</sub><sup>**</sup></b>	=	esfuerzo admisible de flexión ( <b>F<sub>b</sub></b> ) multiplicado por todos los valores de ajuste excepto <b>C<sub>V</sub></b> que es un factor de ajuste para madera laminada, en MPa
<b>F<sub>b</sub><sup>**</sup></b>	=	<b>F'<sub>b</sub></b> para madera aserrada seleccionada visualmente en MPa
<b>F<sub>b1</sub><sup>**</sup></b>	=	esfuerzo admisible de flexión ( <b>F<sub>b1</sub><sup>**</sup></b> ), con respecto al eje 1, multiplicado por todos los factores de ajuste, excepto <b>C<sub>V</sub></b> que es un factor de ajuste para madera laminada en MPa
<b>F<sub>b1</sub><sup>**</sup></b>	=	<b>F'<sub>b1</sub></b> , para madera aserrada seleccionada visualmente en MPa
<b>F<sub>b1</sub><sup>*</sup></b>	=	esfuerzo admisible de flexión ( <b>F<sub>b1</sub></b> ) con respecto al eje 1, multiplicado por todos los factores de modificación excepto <b>C<sub>L</sub></b> en MPa
<b>F<sub>b2</sub><sup>**</sup></b>	=	esfuerzo admisible de flexión ( <b>F<sub>b2</sub></b> ), con respecto al eje 2, multiplicado por todos los factores de ajuste, excepto <b>C<sub>V</sub></b> que es un factor de ajuste para madera laminada en MPa
<b>F<sub>b2</sub><sup>**</sup></b>	=	<b>F'<sub>b2</sub></b> , para madera aserrada seleccionada visualmente en MPa
<b>F<sub>b2</sub><sup>*</sup></b>	=	esfuerzo admisible de flexión ( <b>F<sub>b2</sub></b> ) con respecto al eje 2, multiplicado por todos los factores de modificación excepto <b>C<sub>L</sub></b> en MPa
<b>FC</b>	=	factor de calidad para reducción de esfuerzos básicos.
<b>F<sub>c</sub></b>	=	esfuerzo admisible a compresión paralela en MPa
<b>F'<sub>c</sub></b>	=	esfuerzo admisible a compresión paralela, modificado, en MPa

$F_c^*$	=	esfuerzo de compresión admisible paralelo al grano ( $F_c$ ) multiplicado por todos los factores de modificación excepto $C_{fu}$ , $C_p$ , $C_v$
$F_{CE}$	=	esfuerzo crítico de pandeo para miembros de compresión
$F_{CE1}$	=	esfuerzo de compresión crítico, con respecto al eje 1
$F_{CE2}$	=	esfuerzo crítico de pandeo para miembros a compresión, con respecto al eje 2
$F_i$	=	esfuerzo admisible para la sollicitación $i$
$F'_i$	=	esfuerzo admisible modificado para la sollicitación $i$
$FDC$	=	factor de duración de la carga, para reducción de esfuerzos básicos
$F_d$	=	factor de altura, para reducción de esfuerzos básicos
$F_{0.5}$	=	esfuerzo promedio
$F'_{0.5}$	=	esfuerzo básico promedio
$F_p$	=	esfuerzo admisible a compresión perpendicular a la fibra, en MPa
$F_{Ri}$	=	factor de reducción de esfuerzos
$F'_p$	=	esfuerzo admisible a compresión perpendicular, modificado, en MPa
$F_S$	=	factor de seguridad, para reducción de esfuerzos básicos.
$F_s$	=	factor de seguridad, para obtención del módulo de elasticidad mínimo.
$F_{rt}$	=	esfuerzo de tensión radial en madera laminada, en MPa
$F_t$	=	esfuerzo admisible a tensión paralela a la fibra, en MPa
$F'_t$	=	esfuerzo admisible a tensión paralela, modificado, en MPa
$F_v$	=	esfuerzo admisible a cortante paralelo a la fibra, en MPa
$F_{vef}$	=	flujo de cortante efectivo en N
$F'_v$	=	esfuerzo admisible a cortante paralelo a la fibra, modificado, en MPa
$F_{i0.05}$	=	esfuerzos básicos en el 5° percentil
$G$	=	módulo de rigidez de corte
$HRA$	=	humedad relativa del aire en porcentaje (%)
$I$	=	momento de inercia, en mm <sup>4</sup>
$K_M$	=	coeficiente de humedad para paneles, en, coeficiente de rigidez al pandeo
$K_r$	=	factor de esfuerzo radial
$K_T$	=	coeficiente de reducción al quinto percentil, en rigidez al pandeo.
$K$	=	coeficiente de afectación en calculo de deflexiones, para diferentes tipos y posición de cargas.
$K^*$	=	coeficiente de limitación para deflexiones admisibles
$L$	=	carga viva
$M$	=	momento admisible de flexión en N-mm
$M_a$	=	momento actuante de flexión en N-mm
$MOR$	=	módulo de rotura
$P$	=	carga concentrada, o fuerza axial de compresión paralela a la fibra en N
$N$	=	fuerza admisible a un ángulo de desviación de la fibra, en N, kN
$P_a$	=	fuerza axial de compresión paralela a la fibra admisible en N
$Q$	=	momento estático de inercia de una sección respecto al eje neutro, o fuerza perpendicular a la fibra.
$N$	=	fuerza de compresión perpendicular actuante, en N
$R$	=	radio de la sección transversal circular en mm, radio de curvatura en el eje del elemento
$R_B$	=	parámetro de esbeltez de vigas
$S$	=	módulo elástico de la sección, en mm <sup>3</sup>
$T$	=	fuerza axial de tensión paralela a la fibra actuante, en N, kN
$T_a$	=	fuerza axial de tensión paralela a la fibra admisible en N, kN
$V$	=	fuerza cortante, en N
$V_r$	=	fuerza cortante ajustada
$VR$	=	valor de referencia
$V_d$	=	fuerza cortante en N
$K$	=	coeficiente de deflexión por tipo y ubicación de carga

$K^*$	=	coeficiente de limitación de deflexiones admisibles
$K_e$	=	coeficiente de longitud efectiva
$K_f$	=	coeficiente de material para columnas armadas
$K_s$	=	coeficiente para anillos partidos o platinas de cortante en columnas espaciadas
$K_x$	=	coeficiente para columnas espaciadas
$a$	=	coeficiente de modificación en columnas rebajadas
$b$	=	ancho de la sección rectangular, en mm coeficiente exponencial de función de la deflexión a tiempo “ t ”
$c$	=	distancia del eje neutro a la fibra extrema, en mm ó variable de coeficientes de estabilidad.
$d$	=	altura de la sección rectangular, en mm
$d_1, d_2$	=	dimensiones de la sección transversal rectangular en columnas, en mm
$d_c$	=	altura específica en uso de anillos partidos, platinas, altura de la sección en la cumbrera en vigas.
$d_e$	=	altura específica en uso de anillos partidos, platinas de cortante y pasadores, en mm
$d_n$	=	altura neta, diámetro neto, en mm
$d_{max}$	=	máxima dimensión para la cara considerada en columnas rebajadas, en mm
$d_{min}$	=	mínima dimensión para la cara considerada en columnas rebajadas, en mm
$d_T$	=	diferencia de altura en vigas curvas sección variable, en mm
$e$	=	excentricidad, en mm
$e'$	=	distancia que se extiende desde el borde de la caja, hasta el filo interior del soporte, en mm
$f$	=	coeficiente de flexibilidad del material en columnas armadas
$f_b$	=	esfuerzo calculado a flexión, en MPa
$f_c$	=	esfuerzo calculado a compresión paralela a la fibra, en MPa
$f_r$	=	esfuerzo radial en vigas laminadas, en MPa
$f_p$	=	esfuerzo calculado a compresión perpendicular a la fibra en MPa
$f_t$	=	esfuerzo calculado a tensión paralela a la fibra, en MPa
$f_v$	=	esfuerzo calculado a cortante paralelo a la fibra, en MP
$f_x$	=	esfuerzo de flexión en vigas rebajadas, en MPa
$f_{xy}$	=	esfuerzo cortante horizontal en vigas rebajadas, en MPa
$f_y$	=	esfuerzo cortante vertical en vigas rebajadas, en MPa, esfuerzo de fluencia del acero
$f_{b1}$	=	esfuerzo de flexión actuante con respecto al eje 1, en MPa
$f_{b2}$	=	esfuerzo de flexión actuante con respecto al eje 2, en MPa
$i$	=	subíndice que depende de la sollicitación ( $i$ es $b$ para flexión, $t$ para tensión paralela, $c$ para compresión, “ $p$ ” para aplastamiento, $v$ para cortante)
$k_c$	=	factor de esfuerzo radial en vigas laminadas
$\ell$	=	longitud de un elemento, en mm
$\ell_e$	=	longitud efectiva de la viga o longitud efectiva, de una columna, en mm
$\ell_{ex}$	=	longitud efectiva de pandeo de la sección total, alrededor del eje x-x, en mm
$\ell_u$	=	longitud no soportada lateralmente de una viga, columna o pie de amigo, en mm
$m$	=	número de planos de corte de un clavo
$n$	=	número de piezas que constituye la columna compuesta, valor exponencial
$p$	=	profundidad del clavo en la madera que recibe la punta
$r$	=	radio de giro, en mm.
$t$	=	espesor, en bloques en columnas espaciadas en mm, variable de tiempo, en deflexiones diferidas
$w$	=	carga uniforme por unidad de longitud, en N/mm
$W\Delta_i$	=	carga para cálculo de la deflexión inmediata.
$\Delta_i$	=	deflexión inmediata en mm
$\Delta_f$	=	deflexión diferida en mm
$W\Delta_f$	=	cargas para cálculo de deflexiones diferidas 30 años.
$\Delta_d$	=	deformación en dirección perpendicular a la fibra, en mm
$\Delta_C$	=	acortamiento en dirección paralela a la fibra, en mm

- $\lambda$  = parámetro de esbeltez de columnas  
 $\theta$  = ángulo entre dos direcciones en grados

### G.1.3 — MATERIALES

**G.1.3.1 — REQUISITOS GENERALES DE CALIDAD** — Toda la madera aserrada utilizada en la conformación de elementos estructurales deberá cumplir los requisitos de calidad para madera estructural establecidos en G.1.3.2, y ajustarse rigurosamente a la clasificación visual por defectos según la tabla G.1.3.3 y ceñirse a la clasificación mecánica indicada en G.1.3.5.

**G.1.3.2 — REQUISITOS DE CALIDAD PARA MADERA ESTRUCTURAL** — Estas maderas tendrán un uso básicamente resistente ya que constituyen el armazón estructural de las construcciones. Es decir, forman la parte resistente de muros, columnas, diafragmas, entrepisos y cubiertas. Las condiciones de calidad que debe cumplir este material son las siguientes:

- (a) Debe ser madera proveniente de especies forestales consideradas como adecuadas para construir, es decir, que maderas aún no agrupadas estructuralmente deberán estudiarse de acuerdo con la metodología utilizada en el Apéndice G-A, de la presente norma.
- (b) Deben ser, en lo posible, piezas de madera dimensionadas de acuerdo con las escuadrías o secciones preferenciales indicadas en el Apéndice G-F en donde se indican las secciones nominales y reales, el área, el módulo de la sección, el momento de inercia y el nombre comercial.
- (c) La madera empleada en estructuras debe cumplir con los requisitos de calidad para madera de uso estructural, Capítulo 3.19 de la Norma NTC 2500. (RG.6)
- (d) El contenido de humedad de la madera, debe corresponder a la humedad de equilibrio del lugar, según Apéndice G-D. Cuando las maderas de los grupos ES1, ES2, ES3, ES4, ES5, ES6 definidos en G.1.3.4, y G.2.2.1, G.2.2.2, ofrezcan dificultades al clavado se debe efectuar un pretaladrado, y cuando sean construidas en estado verde, según G.2.2.4. y G.2.2.5, se deberán adoptar precauciones para garantizar que las piezas al secarse tengan el dimensionamiento previsto en el diseño, utilizando los parámetros del apéndice G.C., contracciones.
- (e) La madera de uso estructural deberá tener buena durabilidad natural o estar adecuadamente preservada. Además se deben aplicar todos los recursos para protegerla mediante el diseño constructivo del ataque de hongos, insectos y focos de humedad.

**G.1.3.2.1** – En el apéndice G-F, se incluye una tabla de secciones preferenciales nominales y reales con los datos de área, Módulos de la sección, Momento de inercia y nombres comerciales.

**G.1.3.2.2** - En el apéndice G-B. se presenta una lista de especies maderables colombianas clasificadas en los grupos estructurales establecidos en la tabla G.2.2.1 y G.2.2.2.

**G.1.3.3 — CALIDAD DE LA MADERA ESTRUCTURAL** — Se establecen dos categorías de madera aserrada de uso estructural.

Estructural Selecta (E.S.), empleada en elementos portantes principales, como columnas, vigas maestras, vigas de amarre, cerchas, arcos, pórticos, viguetas de piso, dinteles, pies derechos de paneles portantes, voladizos, escaleras, cimbras y formaletas.

Estructural Normal (E.N.), empleada únicamente y como segunda alternativa, en elementos portantes secundarios, como correas, cuchillos, contravientos, riostras, separadores, remates, pie-de-amigos, tacos, puntales y elementos temporales y con la reducción señalada en la tabla G.1.3.1.

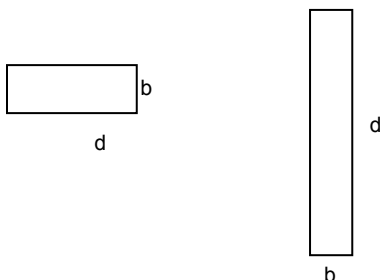
**G.1.3.4** — En la tabla G.1.3-1, se determinan las desviaciones admisibles de la madera aserrada estructural, teniendo en cuenta los defectos indicados en la Norma de Clasificación Visual. Una pieza es aceptable si la magnitud de sus defectos no excede las tolerancias establecidas en dicha tabla. Esta tabla se aplica a los elementos de madera de una estructura que ha sido instalada y corregida para dar servicio, pues se entiende que durante los procesos de

fabricación y montaje, algunos de los defectos anotados son susceptibles de corrección mediante medios mecánicos, resanes y pulimiento de las superficies, siempre que no afecten la estabilidad de la estructura.

**Tabla G.1.3-1**  
**Tolerancia de la madera aserrada de uso estructural**

	Defecto	Estructural Selecta (E.S)	Estructural Normal (E.N) <sup>(2)</sup>	Observaciones
<b>1</b>	Dimensión real - En sección transversal  - Longitud	- 2 mm, L < 150 + 4 mm, L > 150  -5 mm +5 mm	- 5 mm +5 mm  - 8 mm +8 mm	
<b>2</b>	Alabeos - Abarquillado - Arqueadura - Encorvadura - Torcedura	< 0.01d < 0.003L < 0.003L < 0.003L	0.015d 0.005L 0.005L 0.005L	Torcedura en una sola arista.
<b>3</b>	Arista faltante (una sola cara)	Máx. 0.25d Máx. 0.25L	Máx. 0.30d Máx. 0.30L	En una sola arista, con reducción de esfuerzos.
<b>4</b>	Duramen quebradizo	No	No	
<b>5</b>	Escamaduras (una sola cara)	< 0.1b < 0.25b	< 0.1b < 0.25b	No se permite en las aristas
<b>6</b>	Falla de compresión	No	No	
<b>7</b>	Grano inclinado	Máx. 1:8	Máx. 1:8	Con reducción de resistencia según (G2.2.3.7)
<b>8</b>	Grieta superficial	Suma < 0,25 b	Suma < 0,30 b	
<b>9</b>	Medula	No	No	
<b>10</b>	Nudos (1 m entre nudos) Nudo sano Nudo hueco Nudos arracimados	Máx. 0,25 b/m, < 4mm Máx. 0,12 b/m, < 4mm No	Máx. 0,25 b/m, < 4mm Máx. 0,12 b/m, < 4mm No	Distancia entre nudos mayor a 1 m, no se permite en tercio central, ni en zona de tracción. Nudos huecos deben ser sellados con igual material y adhesivos
<b>11</b>	Perforaciones selladas (no alineadas ni pasantes) Pequeñas Grandes	Máx. 6 perf/100 cm <sup>2</sup> 3 perf/m	Máx. 10 perf/100 cm <sup>2</sup> 6 perf/m	Deberán ser sellados con igual material y adhesivos. D ≤ 3mm D ≥ 3mm
<b>12</b>	Pudrición	No	No	
<b>13</b>	Rajaduras	Long. Máx. = b	Long. Máx. = 1.5b	Solo en un extremo
<b>14</b>	Manchas	No	Mancha azul	

**NOTA 1:**



**b** = ancho de la pieza, la de menor dimensión  
**d** = espesor de la pieza, la de mayor dimensión  
**L** = longitud de la pieza

**NOTA 2:**

Los elementos de la clase Estructural Normal, se diseñarán con un coeficiente de reducción de esfuerzos  $C_R = 0.75$ , para todos los esfuerzos, excepto el módulo de elasticidad. En las memorias de cálculo se debe indicar el sistema empleado para el diseño de los elementos secundarios.

**G.1.3.5 — GRUPOS ESTRUCTURALES** — De acuerdo con los módulos de elasticidad y su capacidad de resistencia medida en sus esfuerzos admisible, de flexión, compresión paralela, compresión perpendicular, cortante y tensión, se han clasificado en maderas tipo ES1, ES2, ES3, ES4, ES5, ES6, de acuerdo con las tablas G.2.2-1 y G.2.2-2 y su obtención es ampliamente explicada en el Apéndice G-A. Las maderas seleccionadas en cada grupo se encuentran en el Apéndice G.B.

**G.1.3.5.1** — En el presente título se hace referencia también a la densidad básica de las maderas. La densidad básica (DB) se define como el cociente entre la masa en estado anhidro (madera seca al horno) y el volumen de la madera en estado verde (VV). Por ser la masa numéricamente igual al peso, con fines prácticos se puede utilizar el peso específico aparente básico (peb), definido como el cociente entre el peso anhidro (pa) y el volumen verde (VV), en lugar de la densidad básica. La determinación del peso específico aparente se hará según la norma NTC 290.

**G.1.3.6 — OBTENCION Y COMERCIALIZACION** — La obtención y comercialización de la madera estructural debe cumplir con la Ley Forestal así como de las disposiciones emanadas del Ministerio del Medio Ambiente y de la Corporación correspondiente al lugar de aprovechamiento de la madera.

**G.1.3.7 — MATERIALES COMPLEMENTARIOS** — El diseño de estructuras de madera tendrá en cuenta las características de los materiales complementarios tales como clavos, pernos, conectores, adhesivos, soportes y tableros, según las especificaciones suministradas por el fabricante. Estos elementos deberán ser zincados, galvanizados en caliente, o protegidos con esmaltes anticorrosivos.

## **G.1.4 — NORMAS COMPLEMENTARIAS DEL TITULO G DEL REGLAMENTO**

El instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC mantiene comités de estudio, con participación de profesionales y empresarios para actualización, ratificación y publicación de las Normas Técnicas Colombianas NTC. En el Apéndice G-E se incluye una lista de las normas de madera, estudiadas y publicadas por ese instituto. Para efectos de diseño estructural, prima la presente norma.

## **G.1.5 — REFERENCIAS AL TITULO G**

- RG.1** PADT-REFORT, (1984), Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino, 3ª Edición, Proyectos Andinos de Desarrollo Tecnológico en el Área de Recursos Forestales Tropicales, Junta del Acuerdo de Cartagena, Pacto Andino, Lima, Perú, 597 p.
- RG.2** Manual de Clasificación Visual para Madera Estructural. Junta del Acuerdo de Cartagena. JUNAC, 1984.
- RG.3** Manual del Grupo Andino para la Preservación de Maderas Junta del Acuerdo de Cartagena, 1988.
- RG.4** Manual del Grupo Andino para el Secado de Maderas Junta del Acuerdo de Cartagena, 1989.
- RG.5** Manual del Grupo Andino para Aserrió y Afilado de Cintas y Sierras Circulares, Junta del Acuerdo de Cartagena, 1989.
- RG.6** Uso de la Madera en la Construcción, Icontec, Norma Técnica Colombiana NTC 2500, Primera actualización, 1997.
- RG.7** Las maderas en Colombia, Centro Colombo-Canadiense de la Madera, Sena Regional Antioquia Chocó, Universidad Nacional de Colombia seccional Medellín 1993.
- RG.8** National Design Specifications for Wood Construction (NDS) American Forest and Paper Association Inc, American Wood Council, 2005 Edition, Washington D.C.
- RG.9** Timber Construction Manual, Fifth Edition, American Institute of Timber Construction, John Wiley and Sons INC, Hoboken , New Jersey, 2004.

- RG.10** The Encyclopedia of Wood, US Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory; Madison, Wisconsin, Forest Products Laboratory, New York, 2007.
- RG.11** Wood Handbook – Wood as an Engineering material Forest Products Laboratory, Forest Service, USD Department of Agriculture, Agriculture Handbook N° 72, Revised August 1974, Washington D.C.
- RG.12** National Design Standard for Metal Plate Connected Wood Trusses Constructor Truss Plate Institute, Alexandria VA, 2007.
- RG.13** Introduction to Wood Design. Canadian Wood Council, Ottawa, Ontario, 1995.
- RG.14** Wood Design Manual Second Edition, Canadian Wood Council Ottawa, Ontario, 1995.
- RG.15** Wood Reference Handbook Second Edition, Canadian Wood Council, Ottawa, Ontario, October 1995.
- RG.16** Design of Wood Structures, Third Edition, Donald E. Breyer, Mc Graw Hill, Inc, New York, 1993.
- RG.17** Structural Design in Wood. Judith J. Stalnaker, Ernest Harros. Van Nostrand Reinhold, New York, 1989.
- RG.18** Diseño Simplificado de Estructuras de Madera. Harry Parker Ed. Limusa Wiley, México, 2004.
- RG.19** Diseño Simplificado de Armaduras de Techos para Arquitectos y Constructores. Harry Parker, Ed. Limusa Wiley.
- RG.20** Combustibilidad de la Madera. La Experiencia con Maderas Colombianas. William Klinger Braham. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2002.
- RG.21** "Recommended Practice for Protection of Structural Glued Laminated Timber During Transit, Storage and Erection" AITC 111-05, American Institute of Timber Construction, Englewood, CO, USA, 2005
- RG.22** "Standard Specifications for Structural Glue Laminated Timber of Softwood Species" AITC 117-04, American Institute of Timber Construction, Englewood, CO, USA, 2004.
- RG.23** "Standard Specifications for Structural Glued Laminated Timber of Hardwood Species" AITC 119-96, American Institute of Timber Construction, Englewood, CO, USA, 1996.
- RG.24** "Structural Glued Laminated Timber" ANSI/AITC 190.1-2007, American Institute of Timber Construction, Englewood, CO, USA, 2007.
- RG.25** "Standard Practice for Establishing Allowable Properties for Structural Glued Laminated Timber (Glulam)" ASTM D3737 – 08, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2008, DOI: 10.1520/D3737-08, [www.astm.org](http://www.astm.org).
- RG.26** "Structural Behaviour of Timber". Borg Madsen. Timber engineering LTDA 1992
- RG.27** "Formwork for Concrete". M. K. Hurd, preparado bajo la dirección del ACI Committee 347 Formwork for Concrete. 2004.
- RG.28** Guía para el Diseño Construcción y Materiales de Cimbras para Concreto, comité ACI-347-04 IMCYC. Instituto Mexicano del Cemento y del concreto. México, 2004.
- RG.29** Conferencias curso "Formaletas y Comportamiento Estructural". Ricardo Andrés Sánchez B. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito 2009
- RG.30** Norma Chilena Oficial NCH 1198 of 2006 para maderas. Instituto Nacional de Normalización. INN Chile 2007
- RG.31** Wood Engineering German Gurfinkel. Kendall/Hunt. Publishing Company 1982
- RG.32** Compilación de la Propiedades físicas – mecánicas y usos posibles de 178 Maderas de Colombia. Libro Técnico ACIF; No. 1. Bogotá, Colombia 74 p. José Anatolio Lastra Rivera.1987

- RG-33** Normas NTC-301 anexo B, 206-2, 1011, 785, 1557, 944, 918, 784, 775, 663 de Icontec 2009.
- RG-34** Proyecto PADT – REFORT. Subproyecto “Ensayo de Vigas a Escala Natural — Influencia de Defectos en Vigas y Pies Derechos a Escala Natural” Ignacio López G. Agronomía, seccional Medellín, Universidad Nacional de Colombia - 1984
- RG-35** Proyecto Selección de Maderas Colombianas, según Módulo de Elasticidad y Esfuerzos Admisibles. Ricardo Andrés Sánchez B. 2009
- RG-36** Diseño de Estructuras en Madera Laminada. Conferencia Sociedad Antioqueña de Ingenieros y Arquitectos SAI. 1998.
- RG-37** NOTIGUTEMBERTO. Fábrica de tornillos, pernos y tuercas GUTEMBERTO. Boletín No. 12 de 2005, Boletín Boletín No. 07 de 2001, No. 04 de 2000





## CAPÍTULO G.2

### BASES PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL

#### G.2.1 — REQUISITOS DE DISEÑO

**G.2.1.1** — Todos los elementos de una estructura deberán ser diseñados, contruidos y empalmados para resistir los esfuerzos producidos por las combinaciones de cargas de servicio consignadas en B.2.3.1 del presente Reglamento, dentro de las limitaciones de deflexión estipuladas en G.3.2.1.

**G.2.1.2** — Toda construcción de madera deberá poseer un sistema estructural que se ajuste a uno de los cuatro tipos definidos en A.3.2 del presente Reglamento.

**G.2.1.2.1** — El diseño estructural deberá reflejar todas las posibles cargas actuantes sobre la estructura durante las etapas de construcción y servicio; además de las condiciones ambientales como humedad o temperatura que puedan generar cambios en las suposiciones de diseño, o que puedan afectar la integridad de otros componentes estructurales.

**G.2.1.3** — En el análisis y diseño de las estructuras de madera deberán respetarse los principios básicos de la mecánica estructural, los requisitos básicos de diseño consignados en A.3.1 de este Reglamento y los requisitos particulares que se encuentran relacionados en el presente Título G.

**G.2.1.4** — Los esfuerzos producidos por las cargas aplicadas serán calculados considerando los elementos como homogéneos y de comportamiento lineal.

**G.2.1.5** — En el diseño de estructuras de madera todos los cálculos se harán con base en las dimensiones reales de los elementos utilizados, teniendo en cuenta las reducciones por secado y procesamiento de la madera. Las dimensiones indicadas en la tabla G.1.3-1 ya incluyen tales reducciones.

**G.2.1.5.1** — Las provisiones de diseño estructural dadas en este Título, se basan en que los materiales de construcción empleados, cumplen con los estándares de durabilidad, tratamientos, fabricación, procesamiento, instalación, control de calidad y adecuado uso y mantenimiento, mencionados en el Capítulo G.11, en el Apéndice G-B y en los capítulos específicos donde se haga referencia a ellos, pero será responsabilidad final del diseñador los planteamientos de diseño utilizados para los elementos de madera y de sus conexiones en usos particulares.

**G.2.1.6** — En ningún caso se deben utilizar estructuras de madera cuando la temperatura a la cual van a estar sometidas excede 65°C.

#### G.2.2 — METODO DE DISEÑO ESTRUCTURAL

**G.2.2.1** — El diseño de estructuras de madera se hará por el método de los esfuerzos admisibles y el presente Título G contiene provisiones para su utilización.

**G.2.2.2 — ESFUERZOS ADMISIBLES Y MODULOS DE ELASTICIDAD** — Los grupos de madera estructural que cumplan las normas de clasificación visual para madera aserrada dentro de los parámetros de Estructural Selecta (E.S.), utilizarán, para efectos de cálculo, los esfuerzos admisibles y los módulos de elasticidad de las tablas G.2.2-1 y G.2.2-2 respectivamente que corresponden a las tablas del Apéndice G.B y que fueron obtenidos de acuerdo con el Apéndice G.A.

**Tabla G.2.2-1**  
**Esfuerzos Admisibles,  $F_i$ , (MPa) C.H = 12%**

GRUPO	$F_b$ Flexión	$F_t$ Tensión	$F_c$ Compresión	$F_p$ Compresión $\perp$	$F_v$ Cortante
ES1	29.5	21.0	23.0	6.0	2.0
ES2	28.5	20.0	22.0	4.3	2.0
ES3	23.0	17.0	19.0	3.8	1.6
ES4	17.0	12.0	15.0	2.8	1.5
ES5	15.0	11.0	13.0	2.0	1.1
ES6	12.5	9.0	10.0	1.5	1.3

**Tabla G.2.2-2**  
**Módulos de Elasticidad Longitudinal,  $E_i$ , (MPa) CH = 12%**

GRUPO	Módulo Promedio $E_{0.5}$	Módulo 5° Percentil $E_{0.05}$	Módulo Mínimo $E_{min}$
ES1	18 000	13 250	7 130
ES2	18 000	13 250	7 130
ES3	14 000	11 000	5 500
ES4	12 500	10 000	5 000
ES5	11 200	8 250	4 435
ES6	9 000	6 500	3 564

Para el análisis y diseño de elementos estructurales se debe utilizar  $E'_{0.5}$ , como módulo de elasticidad del material. El  $E'_{min}$ , se utilizará para calcular los coeficientes de estabilidad de vigas ( $C_L$ ), y de columnas ( $C_p$ ), y a  $E'_{0.05}$  se podrá utilizar para deflexiones cuando las condiciones de servicio sean de alto riesgo o críticas.

**G.2.2.3 — ESFUERZOS ADMISIBLES Y COEFICIENTES DE MODIFICACION** — Con base en los esfuerzos admisibles, de la tabla G.2.2.1 y los módulos de elasticidad de la tabla G.2.2.2, afectados de los coeficientes de modificación a que haya lugar por razón de duración de la carga, contenido de humedad, temperatura, estabilidad, altura, uso a lo ancho, incisión, acción de conjunto, estabilidad de columnas, rigidez al pandeo, área de soporte y cualquier otra condición modificatoria, se determinarán los esfuerzos admisibles modificados según las prescripciones de los capítulos siguientes y la fórmula general:

$$F'_i = F_i C_D C_m C_t C_L C_F C_{fu} \dots \quad (\text{G.2.2-1})$$

En donde:

- $F_i$  = esfuerzo básico para la sollicitación  $i$
- $C_D$  = coeficiente de modificación por duración de la carga.
- $C_m$  = coeficiente de modificación por contenido de humedad.
- $C_t$  = coeficiente de modificación por temperatura.
- $C_L$  = coeficiente de modificación por estabilidad lateral de vigas.
- $C_F$  = coeficiente de modificación por forma.
- $C_{fu}$  = coeficiente de modificación por uso en cara ancha.
- $C_{in}$  = coeficiente de modificación por incisiones.
- $C_r$  = coeficiente de modificación por acción de conjunto.
- $C_p$  = coeficiente de modificación por estabilidad de columnas.
- $C_T$  = coeficiente de modificación por rigidez al pandeo.
- $C_b$  = coeficiente de modificación por área de soporte.

Los coeficientes de modificación de aplicación general se indican en los numerales siguientes; los que dependen de la clase de sollicitación, se estipulan en los capítulos correspondientes. En la tabla G.2.2-10 se estipulan algunos valores de dichos coeficientes.

**G.2.2.3.1 — Por duración de la carga ( $C_D$ )** — Cuando un elemento esté sometido a cargas de la duración diferentes a la normal, 10 años los valores de la tabla G.2.2-1 deberán multiplicarse por los valores de la tabla G.2.2-3:

**Tabla G 2.2-3**  
**Por duración de la carga ( $C_D$ )**

Duración carga	Flexión $F_b$	Tensión $F_t$	Compresión $\parallel$ $F_c$	Compresión $\perp$ $F_p$	Cortante $F_v$	Típica carga de diseño
Permanente	0.90	0.90	0.90	1.00	0.90	muerta
Diez años	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	viva de ocupación
Dos meses	1.15	1.15	1.15	1.00	1.15	
7 días	1.25	1.25	1.25	1.00	1.25	construcción
Diez minutos	1.60	1.60	1.60	1.00	1.60	viento y terremoto
Impacto	2.00	2.00	2.00	1.00	2.00	Impacto

Los incrementos anteriores no son acumulables. Cuando hay combinación de cargas, el dimensionamiento de los elementos debe hacerse para la condición más desfavorable.

**G.2.2.3.2 — Por contenido de humedad ( $C_m$ )** — La madera pierde resistencia y rigidez, al aumentar su contenido de humedad. Los valores de esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad de las tablas G.2.2-1 y G.2.2-2 corresponden a madera seca CH = 12%. Para la escogencia del tipo de esfuerzos y módulo de elasticidad a utilizar se deberán verificar las condiciones durante la etapa de construcción, y el tiempo de servicio según la tabla G.2.2-4.

**Tabla G 2.2-4**  
**Condiciones a considerar para la escogencia de Módulos de Esfuerzos Admisibles y de Elasticidad**

Durante la construcción	En servicio	Esfuerzos admisibles	Módulos de elasticidad
CH c > 19%	CH s > 19%	CH > 19%	CH > 19%
* CH c > 19%	* CH s ≤ 12%	* CH = 12%	* CH = 12%
CH c ≤ 12%	CH s ≤ 12%	CH = 12%	CH = 12%
CH c ≤ 12%	CH s > 19%	CH > 19%	CH = 12%

\* Solo si:

a) Espesor de la Madera no excede de 50 mm.

b) La carga total de diseño se aplique cuando CH < 12% y las cargas no originen esfuerzos efectivos mayores a los admisibles en condición verde

**G.2.2.3.2.1** — Cuando se deben hacer ajustes por efecto de humedad, se deberá utilizar los valores de la tabla G.2.2-5

**Tabla G.2.2-5**  
**Coeficientes de afectación para esfuerzos  $F_i$  y módulos de elasticidad  $E_i$**

Esfuerzos		CH ≤ 12 %	CH > 19%
Flexión	$F_b$	1.0	0.75
Tensión	$F_t$	1.0	0.75
Compresión Paralela	$F_c$	1.0	0.70
Compresión perpendicular	$F_p$	1.0	0.80
Cortante	$F_v$	1.0	0.80
Módulos de elasticidad	$E_{0.5}$	1.0	0.80
	$E_{0.05}$	1.0	0.80
	$E_{min}$	1.0	0.80

Para valores de CH, entre 12% y 19%, la reducción será proporcional.

**G.2.2.3.3 — Por temperatura ( $C_t$ )** — Los valores de referencia deberán ser modificados por los factores de temperatura indicados en la tabla G.2.2-6, Asimismo se aplicarán factores de modificación cuando los

elementos estructurales estén permanentemente expuestos a elevadas temperaturas, dentro de los rangos indicados en la tabla G.2.2-6.

**Tabla G.2.2-6**  
**Variación de las propiedades mecánicas por temperatura ( $C_t$ )**

Parámetros de diseño	Condiciones de servicio	$^{\circ}C_t$		
		$T \leq 37.8^{\circ}C$	$37.8^{\circ}C < T \leq 51.7^{\circ}C$	$51.7^{\circ}C < T \leq 65^{\circ}C$
$F_t, E_{0.5}, E_{0.05}, E_{min}$	Húmedo o seco	1.0	0.9	0.9
$F_b, F_v, F_c, F_{c\perp}$	Seco	1.0	0.8	0.7
	Húmedo	1.0	0.7	0.5

Los anteriores valores se aplicarán a madera aserrada, y madera laminada.

**G.2.2.3.4 — Por incisión ( $C_{in}$ )** — Los valores de esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad, serán multiplicados por el factor de incisión ( $C_{in}$ ), tabla G.2.3-6, cuando se hagan incisiones en los elementos de madera, en forma paralela al grano, a profundidad máxima de 10 mm y de longitud máxima de (3/8"), 9.5 mm y densidad de incisiones no superior a 1,185/cm<sup>2</sup>. Para incisiones excediendo los límites indicados, el coeficiente ( $C_{in}$ ) se determinará por ensayos, o por cálculo, usando la sección reducida para incisiones. Estos valores se aplicarán para madera aserrada, según la tabla G.2.2-7.

**Tabla G.2.2-7**  
**Variación de las propiedades mecánicas por incisiones ( $C_{in}$ )**

Parámetros de diseño	( $C_{in}$ )
$E_{0.5}, E_{0.05}, E_{min}$	0.95
$F_b, F_t, F_v, F_c$	0.80
$F_p$	1.00

Los anteriores valores se aplican a madera aserrada

**G.2.2.3.5 — Por acción conjunta ( $C_r$ )** — Los esfuerzos admisibles podrán incrementarse en un 15%, cuando exista una acción de conjunto garantizada de tres o más elementos de igual rigidez, para elementos de madera de 50 a 100 milímetros de espesor, que se encuentren en contacto o espaciados no más de 61 centímetros, como en el caso de viguetas, pies derechos de entramados, entablados, cuerdas de cercha, viguetas de techo, siempre que estén unidos por pisos o techos u otros elementos que distribuyan adecuadamente las cargas.

**G.2.2.3.6 — Por rigidez al pandeo ( $C_T$ )** — Para incrementar la rigidez de la cuerda de compresión, relativa a carga axial en elementos de madera de 50 mm (b) x 100 mm(d) o más pequeños, y que estén sujetos a flexión y compresión axial bajo condiciones de servicio seco y además estén conectados por la cara más angosta del elemento a compresión a un tablero estructural de madera de espesor mínimo (3/8"), 9.5 mm, con clavos de espaciamiento y tamaño adecuados, pueden desarrollar mejor rigidez a flexión en el eje fuerte, debido a la acción conjunta del elemento y el tablero. Será permitido entonces incrementar el  $E_{min}$  módulo de elasticidad valor de diseño para estabilidad de vigas y columnas, por el factor  $C_T$ ; en el cálculo de la estabilidad de columnas cuando  $\ell_e < 2440$  mm; cuando  $\ell_e > 2440$  mm, se deben tomar  $\ell_e = 2440$  mm.

$$C_T = 1 + \frac{K_M \ell_e}{K_T E_{0.5}} \quad (G.2.2-1)$$

En donde:

- $C_T$  = coeficiente de rigidez al pandeo
- $K_T$  =  $(1 - 1.645 COV_E) = 0.638$  para madera aserrada
- $K_T$  = 0.82 para madera laminada

- $K_M = 0.634$ , para  $CH \leq 19\%$  al momento de instalación del panel  
 $K_M = 0.331$ , para  $CH > 19\%$  al momento de instalación del panel  
 $COV_E = 0.22$  para madera aserrada, 0.10 para madera estructural laminada encolada de seis o más laminaciones.  
 $\ell_e$  = longitud efectiva en mm, si  $\ell_e > 2440$  mm se deberá usar  $\ell_e = 2440$  mm  
 $E_{0.5}$  = módulo de elasticidad promedio, en MPa

**G.2.2.3.7 — Por desviación al grano** — La desviación del grano expresada en forma de grano espiralado, grano diagonal y grano entrecruzado es muy común en maderas latifoliadas tropicales. Por razones de uso estructural de algunas maderas con grano desviado, se podrá utilizar la fórmula de Hankinson, para determinar la resistencia a una desviación determinada.

$$N = \frac{PQ}{P \sin^n \alpha + Q \cos^n \alpha} \quad (G.2.2-2)$$

- $N$  = fuerza admisible a un ángulo  $\alpha$  de la desviación de las fibras  
 $Q$  = fuerza admisible sentido perpendicular al grano  
 $P$  = fuerza admisible paralela al grano  
 $n$  = constante determinada empíricamente. Véase la tabla G.2.2-8.  
 $\alpha$  = ángulo en grados, entre la dirección de la carga aplicada y la dirección del grano. Se define así:

$$\alpha = \arctan\left(\frac{1}{z}\right) \quad (G.2.2-3)$$

$$\frac{1}{z} = \sqrt{\left(\frac{1}{x}\right)^2 + \left(\frac{1}{y}\right)^2} \quad (G.2.2-4)$$

- $\frac{1}{x}$  = tangente del ángulo que forma la dirección de las fibras con el eje longitudinal de una cara de la pieza de madera.  
 $\frac{1}{y}$  = tangente del ángulo que forma la dirección de las fibras con el eje longitudinal de la cara adyacente a la utilizada para determinar  $\frac{1}{x}$

**Tabla G.2.2-8**  
**Valores de  $n$  y  $Q/P$  encontrados experimentalmente**

Propiedades	$n$	$Q/P$
Tensión	1.5 - 2.0	0.04 - 0.07
Compresión	2.0 - 2.5	0.03 - 0.40
Flexión	1.5 - 2.0	0.04 - 0.10
Módulo de elasticidad	2	0.04 - 0.12

**Tabla G.2.2-9**  
**Reducción de resistencia por desviación al grano  $C_{DG}$**   
**Coefficiente de reducción por desviación al grano en flexión, tensión y compresión paralela**

Pendiente al grano	Flexión ( $F_b$ ) o tensión ( $F_t$ ) paralela al grano	Compresión ( $F_c$ ) paralela al grano
1/8	0.53	0.66
1/10	0.61	0.74
1/12	0.69	0.82
1/14	0.74	0.87
1/15	0.76	1.00
1/16	0.80	
1/18	0.85	
1/20	1.00	

El diseñador, constructor e interventor deberán tener cuidado en razón a que el diseño es elaborado previo a la construcción y en ese momento no se conocen las desviaciones del grano, pero durante el proceso de construcción, si se conocen tales desviaciones del grano, por lo que se hace necesaria la interrelación del diseñador con la obra durante la construcción, para efectuar los ajustes necesarios, si es que estos se requieren.

Tabla G.2.2-10

Coeficientes de modificación para madera aserrada seleccionada visualmente

<div>Coeficientes</div>	<div>C<sub>D</sub></div> <div>Duración carga</div>					<div>C<sub>m</sub></div> <div>Humedad CH%</div>		<div>C<sub>t</sub></div> <div>Temperatura °C</div>					<div>C<sub>L</sub></div> <div>Estabilidad vigas</div>		<div>C<sub>F</sub></div> <div>Forma</div>	<div>C<sub>fu</sub></div> <div>Colocación cara ancha</div>	<div>C<sub>in</sub></div> <div>Incisión</div>	<div>C<sub>r</sub></div> <div>Acción conjunta</div>		<div>C<sub>p</sub></div> <div>Estabilidad columnas</div>	<div>C<sub>T</sub></div> <div>Rigidez pandeo</div>	<div>C<sub>b</sub></div> <div>Soporte</div>	<div>C<sub>c</sub></div> <div>Corte</div>	
	Permanente	2 meses	7 días	Viento y sismo	Impacto	CH ≤ 12% Seca	CH > 19% Húmeda	t ≤ 37.8	37.8 < t < 51.7		51.7 ≤ t < 65		Cumpliendo con G.3.3.4.2	No cumpliendo con G.3.3.4.2			Max d = 1 cm max l = 0.95 cm	Conjunta G.2.2.3.5	Individual					
<div>Esfuerzos admisibles</div>									CH <sup>^</sup> <sub>19</sub>	CH <sup>v</sup> <sub>19</sub>	CH <sup>^</sup> <sub>19</sub>	CH <sup>v</sup> <sub>19</sub>			Tablas G.3.3-1 G.3.3-2									
<div>F'<sub>b</sub> = F<sub>b</sub> x</div>	0.90	1.15	1.25	1.6	2.0	1	0.75	1	0.7	0.8	0.5	0.7	1.0	G.3.3.4.4	G.3.3.2.1	Tabla G.3.3-3	0.80	1.15	1	-	-	-	-	
<div>F'<sub>t</sub> = F<sub>t</sub> x</div>	0.90	1.15	1.25	1.6	2.0	1	0.75	1	0.9	0.9	0.9	0.9	-	-	G.3.3.2.1	-	0.80	1	1	-	-	-	-	
<div>F'<sub>v</sub> = F<sub>v</sub> x</div>	0.90	1.15	1.25	1.6	2.0	1	0.80	1	0.7	0.8	0.5	0.7	-	-	-	-	0.80	1	1	-	-	-	-	
<div>F'<sub>c</sub> = F<sub>c</sub> x</div>	0.90	1.15	1.25	1.6	2.0	1	0.70	1	0.7	0.8	0.5	0.7	-	-	G.3.3.2.1	-	0.80	1.15	1	G.4.3.5	-	-	-	
<div>F'<sub>p</sub> = F<sub>p</sub> x</div>	-	-	-	-	-	1	0.80	1	0.7	0.8	0.5	0.7	-	-	-	-	1	1	1	-	-	Tabla G.3.5.1	-	
<div>E'<sub>0.5</sub> = E<sub>0.5</sub> x</div>	-	-	-	-	-	1	0.80	1	0.9	0.9	0.9	0.9	-	-	-	-	0.95	-	-	-	-	-	Tabla G.3.2-2	
<div>E'<sub>0.05</sub> = E<sub>0.05</sub> x</div>	-	-	-	-	-	1	0.80	1	0.9	0.9	0.9	0.9	-	-	-	-	0.95	-	-	-	-	-	-	
<div>E'<sub>min</sub> = E<sub>min</sub> x</div>	-	-	-	-	-	1	0.80	1	0.9	0.9	0.9	0.9	-	-	-	-	0.95	-	-	-	G.2.2.3.6	-	-	

## **Notas**



## CAPÍTULO G.3

### DISEÑO DE ELEMENTOS SOLICITADOS POR FLEXIÓN

#### G.3.1 — REQUISITOS GENERALES

**G.3.1.1** — El diseño de elementos o miembros a flexión contiene los mismos parámetros básicos usados en el diseño de vigas de otros materiales estructurales, pero su orden es diferente para el caso nuestro, ya que nuestras maderas “latifoliadas”, presentan una relación **MOR/MOE**, superior a la de las maderas del norte E.E.U.U y Europa, “coníferas”. Es decir, nuestras maderas son más flexibles y por lo tanto se deflectan más, aparte de que los límites de deflexión son más rigurosos. Por las razones anteriores el diseño de elementos a flexión estará regido, salvo excepciones, por las deflexiones admisibles, y el chequeo se efectuará por flexión, cortante y aplastamiento.

**G.3.1.2** — En el diseño de elementos o miembros a flexión se tendrán en cuenta los siguientes parámetros:

(a) Deflexión	(G.3.2)
(b) Flexión, incluyendo estabilidad lateral	(G.3.3)
(c) Cortante	(G.3.4)
(d) Aplastamiento	(G.3.5)

**G.3.1.3 — AREA NETA** — El área neta se obtiene al deducir del área bruta de la sección la proyección del área de todo el material removido por perforaciones, ranuras, entalladuras, cortes o por otros medios.

**G.3.1.4 — CONEXIONES** — Los elementos estructurales y los conectores deben ser dispuestos simétricamente en las conexiones, a menos que los momentos de flexión inducidos por una localización asimétrica sean tenidos en cuenta en el diseño. Las conexiones deberán tener la capacidad y rigidez necesaria para transferir la carga máxima de los elementos de poca o muy limitada ductilidad y para tolerar el sobre-esfuerzo (sobre-resistencia) y la capacidad máxima creíble de elementos dúctiles.

**G.3.1.5 — LUZ DE DISEÑO** — Para elementos sometidos a flexión que estén simplemente apoyados, o en voladizo, la luz de diseño será considerada como la luz libre entre caras de soportes más la mitad de la longitud de apoyo requerida en cada extremo. Para el caso de vigas continuas, la luz de diseño será la distancia centro a centro de apoyos.

#### G.3.2 — DEFLEXIONES

**G.3.2.1** — Siendo las deflexiones admisibles el parámetro principal en el establecimiento de las secciones requeridas para maderas “latifoliadas”, se establecerán requisitos de limitación de deflexiones admisibles, obtención de la sección requerida y cálculo de deflexiones inmediatas y diferidas. Las deflexiones en vigas se deberán calcular con las fórmulas corrientes de la teoría elástica, considerando la deflexión por flexión y si es el caso, con el módulo de elasticidad **E<sub>0.5</sub>**, corregido por cortante. Para el caso de vigas de una luz simplemente apoyadas y con carga uniforme, la fórmula es:

$$\Delta = \frac{5}{384} \frac{\omega \ell^4}{EI} \quad (G.3.2-1)$$

**G.3.2.2** — Las deflexiones máximas admisibles de las vigas de madera, se limitarán a los valores de la tabla G.3.2-1.

**Tabla G.3.2-1**  
**Deflexiones admisibles en vigas con  $\Delta$  (mm)**

Tipo de Construcción	Cargas Vivas $\ell/k^*$	Viento o Granizo $\ell/k^*$	Cargas Totales $\ell/k^*$
Elementos de techo/Cubierta			
Cubiertas inclinadas	Nota 1	Nota 1	Nota 1
Cielorascos de pañete o yeso	$\ell/360$	$\ell/360$	$\ell/300$
Otros cielos rasos	$\ell/300$	$\ell/240$	$\ell/240$
Sin cielo raso	$\ell/300$	$\ell/240$	$\ell/240$
Techos planos	Nota 1	Nota 1	$\ell/300$
Elementos de entrepiso	$\ell/360$	—	$\ell/300$
Pisos rigidizados			$\ell/360$
Muros exteriores y particiones interiores			
Con acabados frágiles	—	$\ell/240$	—
Con acabados flexibles	—	$\ell/240$	—
Edificaciones industriales	—		$\ell/200$
Edificaciones provisionales			(3) $\ell/160$
Formaletas para concreto			(3) $\ell/360$ ó 3 mm
Forros para columnas - vigas			(3) $\ell/360$ ó 1.6 mm

Notas:

- En función del tipo de cielo raso
- Mediante evaluación de deformaciones totales, a largo plazo éstas no deberán invertir pendientes de drenaje en techos, ni en áreas expuestas a lluvia o granizo
- Considerando únicamente la deflexión inicial  $\Delta_i$ , con  $W = D + L$ , con carga viva de construcción ( $L$ ) = (240 kg/m<sup>2</sup>), si ésta interviene

Donde:

$\ell$  = luz del elemento a flexión como se define en G.3.1.5.

$k^*$  = Coeficiente de limitación de deflexiones.

**G.3.2.3** — Las deflexiones de las vigas, viguetas, entablados, se calcularán con el módulo de elasticidad  $E'_{0.5}$ , para todos los casos. Para el caso de severas condiciones de servicio ó riesgo muy alto, el uso de  $E'_{0.05}$ , estará a juicio del diseñador.

**G.3.2.4 — EFECTO DEL CORTANTE** — Para los elementos con relaciones  $\ell/d < 20$ , si se requiere, se debe hacer la corrección por cortante  $C_c$ , indicada en la tabla G.3.2-2 para el módulo de elasticidad  $E_{0.5}$ .

**Tabla G.3.2-2**  
**Coeficientes de corrección  $C_c$  de  $E_{0.5}$**

**Para incluir deformaciones de corte en vigas simplemente apoyadas con carga uniforme. Ref (R G -1)**

$\ell/d$	$E/G = 15$	$E/G = 16^*$	$E/G = 20$	$E/G = 25$
7		0.760		
10	0.8741		0.8389	0.8065
12	0.9091	0.900	0.8824	0.8571
14	0.9316		0.9108	0.8909
16	0.9467		0.9302	0.9143
18	0.9547	0.950	0.9441	0.9310
20	0.9653	0.956	0.9542	0.9434

$E/G$  = Relación entre el modulo de elasticidad  $E_{0.5}$  y el módulo de rigidez del cortante  $G$ .

\* Tomado de la referencia R.G. 26

**G.3.2.5 — CÁLCULO DE LA SECCIÓN POR DEFLEXIÓN** — Para calcular la sección requerida y únicamente para este caso, se deberá igualar la deflexión, calculada con cargas  $W'$ , estipuladas en la tabla G.3.2-3, con la deflexión permitida,  $L/K^*$ , de la tabla G.3.2-1, para así obtener el momento de inercia ( $I$ ), del cual se deducen las dimensiones de la sección.

**Tabla G.3.2-3**  
**Cargas  $W'$  para cálculo de la sección por deflexiones**

Condición de construcción	CH < 19% Seca	CH > 19% Húmeda
Condición de servicio	CH < 19%	CH > 19% , CH < 19%
Madera aserrada	1.5D + L	1.8D + L
Madera laminada	1.5D + L	1.8D + L

**G.3.2.6 — DEFLEXIONES INMEDIATAS** — Las deflexiones inmediatas deberán ser calculadas con las cargas  $W\Delta_i$ , de la tabla G.3.2-4 y con la formulación corriente de la teoría elástica.

**Tabla G.3.2-4**  
**Cargas  $W\Delta_i$  para cálculo de la deflexión inmediata**

Condición de construcción	CH < 19% Seca	CH > 19% Húmeda
Condición de servicio	CH < 19%	CH > 19% , CH < 19%
Madera aserrada	D + L	D + L
Madera laminada	D + L	D + L

**G.3.2.7 — DEFLEXIONES DIFERIDAS** — Si se desea conocer las deflexiones diferidas a un largo término deberán ser calculadas con las cargas  $W\Delta_f$  de la tabla G.3.2-5.

**Tabla G.3.2-5**  
**Cargas  $W\Delta_f$ , para cálculo de deflexiones diferidas**

Condición de construcción	CH < 19% Seca	CH > 19% Húmeda
Condición de servicio	CH < 19%	CH > 19% , CH < 19%
Madera aserrada	1.5D + L	1.8D + L
Madera laminada	1.5D + L	1.8D + L

Nota: Para todos los casos se debe considerar en madera laminada CH < 16% como seca y CH > 16% como húmeda.

## G.3.3 — FLEXIÓN

**G.3.3.1** — Los esfuerzos máximos de tensión y de compresión producidos por flexión ( $f_b$ ), serán determinados para la sección de máximo momento. Estos no deberán exceder al máximo esfuerzo admisible en flexión,  $F_b$ , definido en la tabla G.2.2-1 para el grupo de madera estructural especificado, modificado por los coeficientes establecidos en la tabla G.2.2-10.

**G.3.3.2** — Los coeficientes de modificación de los esfuerzos admisibles, particulares para flexión, son los indicados a continuación.

**G.3.3.2.1 — Coeficiente de forma –  $C_F$**  — Este coeficiente se refiere a consideraciones de la forma del elemento, tanto de ancho ( $b$ ), como de alto ( $d$ ), como de largo ( $\ell$ ), de los elementos rectangulares sometidos a flexión, tensión o compresión paralela. Los valores de  $F_b$ ,  $F_t$ ,  $F_c$ , se multiplicarán por los valores de las tablas G.3.3-1 y G.3.3-2, tal como se indica a continuación:

**Tabla G 3.3-1**  
**Factor de ajuste  $C_d$ , por medidas  $d$  y  $b$ , para  $F_b$ ,  $F_t$ ,  $F_c$**

	(d) mm	$F_b$		$F_t$
		(b) mm	(b) mm	
		50 -75	100	
<b>Madera aserrada visualmente seleccionada como E.S.</b>	50 a 100	1.15	1.15	1.15
	127	1.10	1.10	1.10
	150	1.10	1.10	1.10
	203	1.10	1.10	1.10
	254	1.00	1.00	1.00
	300	1.00	1.00	1.00
<b>Construcción normal E.N.</b>	50 a 100	1.00	1.00	1.00

**Tabla G 3.3-2**  
**Factor de ajuste por longitud,  $C_\ell$ , para  $F_t$ ,  $F_c$**

$\ell$ (m), longitud	3	4	5	6	7	8	9	10
$C_{\ell t}$ tensión, flexión	1.00	0.94	0.90	0.87	0.84	0.82	0.80	0.78
$C_{\ell c}$ compresión	1.00	0.97	0.95	0.93	0.92	0.91	0.90	0.89

**G.3.3.2.2** — Para cualquier otro valor de  $\ell > 10.000$  mm, se utilizará la siguiente fórmula:

$$C_\ell = \left( \frac{3.000}{\ell} \right)^b \quad (\text{G.3.3-1})$$

En donde:

$\ell$  = longitud en mm

$b$  = 0.2 para tensión y flexión y, 0.10 para compresión.

**G.3.3.2.3** — Cuando la altura de un elemento rectangular sometido a flexión exceda 300 mm y tenga un espesor superior a 127 mm, el valor de diseño para flexión,  $F_b$ , será multiplicado por el resultado de la siguiente fórmula:

$$C_d = \left( \frac{300}{d} \right)^{0.11} \quad (\text{G.3.3-2})$$

En donde:

$d$  = altura del elemento en mm

Para vigas con sección circular de diámetro mayor de 350 mm o sección cuadrada, cargada en el plano de la diagonal, el coeficiente,  $C_d$ , se determinará con base en una sección cuadrada equivalente convencional.

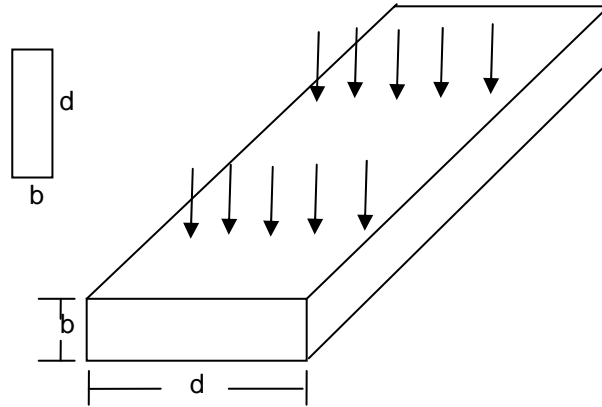
Estos dos factores conforman el factor ( $C_F$ ) así:

$$C_F = C_d C_\ell \quad (\text{G.3.3-3})$$

**G.3.3.2.4** — *Para uso en cara ancha (d), factor  $C_{fu}$*  — Cuando un elemento de madera aserrada clasificada visualmente y con espesor entre 50 mm y 100 mm, es cargada en la cara ancha, como se muestra en la gráfica G.3.3-1 el esfuerzo admisible a flexión  $F$  deberá ser multiplicado por los valores del coeficiente  $C_{fu}$ , indicados en la tabla G.3.3-3

**Tabla G.3.3-3**  
**Coefficiente de modificación por flexión en el eje débil  $C_{fu}$**

Lado ancho d mm	Espesor de la pieza b	
	50 – 75 mm	100 mm
50-75	1.00	-
100	1.00	1.00
127	1.05	1.05
152	1.05	1.05
200	1.05	1.05
254	1.10	1.05



**Figura G.3.3.1 — Colocación de la carga en cara ancha**

**G.3.3.3 — ESTABILIDAD LATERAL Y COEFICIENTE DE MODIFICACION  $C_L$**  — En vigas cuya altura sea mayor que su ancho  $d/b > 1$ , deberá investigarse la necesidad de proveer soporte lateral a la zona comprimida del elemento. El coeficiente de estabilidad lateral,  $C_L$ , tiene en cuenta la reducción en la capacidad de carga de un elemento sometido a flexión, por efecto de la inestabilidad lateral, o pandeo lateral, que ocurre cuando la zona a compresión del elemento a flexión se comporta como una columna.

**G.3.3.3.1** — Cuando el borde de compresión de un elemento de madera a flexión, es soportada en toda su longitud para prevenir desplazamiento lateral y en sus apoyos y puntos de cargas de aplastamiento tiene soporte lateral para prevenir rotación,  $C_L = 1.0$ .

**G.3.3.3.2** — Cuando la altura ( $d$ ) de un elemento a flexión excede su ancho ( $b$ ),  $d/b > 1$ , deben incluirse soportes laterales en sus puntos de apoyo, para prevenir rotación y/o desplazamiento lateral de estos puntos, pero si no existen soportes a lo largo de la longitud del miembro a flexión, la longitud no soportada  $\ell_u$ , es la distancia entre tales puntos y el terminal del apoyo, o la longitud del cantiliver. Cuando un elemento a flexión está provisto con soporte lateral para prevenir rotación y/o desplazamiento lateral en puntos intermedios, como también en los extremos de la viga, la longitud no soportada,  $\ell_u$ , es la distancia entre tales puntos de soporte lateral intermedio y el eje del apoyo terminal.

**G.3.3.3.3** — La longitud efectiva de la luz,  $\ell_e$ , para luces simples o cantiliver de elementos a flexión serán determinados de acuerdo a la figura G.3.3-2 y la tabla G.3.3-4

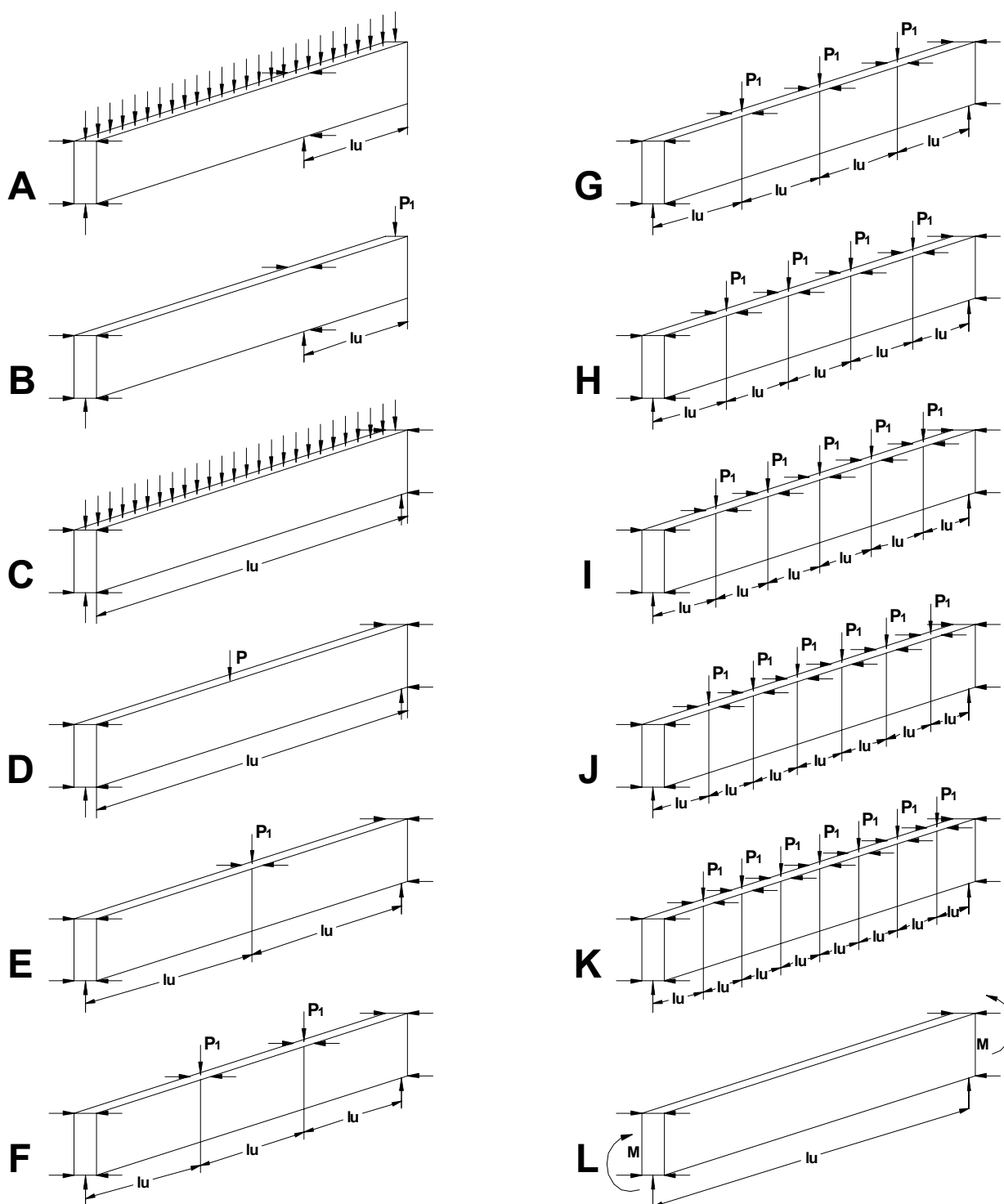


Figura G.3.3.2 — Casos escogidos de cargas y soportes laterales. Véase tabla G.3.3-4 (Referencia RG.9)

**Tabla G.3.3-4**  
**Longitud efectiva de vigas  $\ell_e$  (mm)**

	<b>Cantilíver (1)</b>	<b>Cuando <math>\ell_u/d &lt; 7</math></b>		<b>Cuando <math>\ell_u/d &gt; 7</math></b>
<b>A</b>	Carga uniforme repartida	$\ell_e = 1.33\ell_u$		$\ell_e = 0.90\ell_u + 3d$
<b>B</b>	Carga concentrada en extremo libre	$\ell_e = 1.87\ell_u$		$\ell_e = 1.44\ell_u + 3d$
	<b>Viga de una sola luz (1,2)</b>	Cuando $\ell_u/d < 7$		Cuando $\ell_u/d > 7$
<b>C</b>	Carga uniformemente repartida	$\ell_e = 2.06\ell_u$		$\ell_e = 1.63\ell_u + 3d$
<b>D</b>	Carga concentrada en el Centro sin soportes intermedio	$\ell_e = 1.80\ell_u$		$\ell_e = 1.3\ell_u + 3d$
<b>E</b>	Carga concentrado en el centro con soportes laterales intermedios		$\ell_e = 1.11\ell_u$	
<b>F</b>	Dos carga concentrada en los tercios con soporte lateral a los tercios		$\ell_e = 1.68\ell_u$	
<b>G</b>	Tres cargas concentradas iguales y soportes laterales en $\ell/4$		$\ell_e = 1.54\ell_u$	
<b>H</b>	Cuatro cargas concentradas y soportes laterales en $\ell/5$		$\ell_e = 1.68\ell_u$	
<b>I</b>	Cinco cargas concentradas iguales y soportes laterales en $\ell/6$		$\ell_e = 1.73\ell_u$	
<b>J</b>	Seis cargas concentradas iguales y soportes laterales en $\ell/7$		$\ell_e = 1.78\ell_u$	
<b>K</b>	Siete o más cargas concentradas, regularmente distribuidas con soportes laterales en los puntos de aplicación.		$\ell_e = 1.84\ell_u$	
<b>L</b>	Momentos iguales en los extremos con soportes laterales extremos.		$\ell_e = 1.84\ell_u$	

Notas:

- Para una sola luz o miembros en cantilíver con condiciones de carga no especificadas en esta tabla  
 $\ell_e = 2.06\ell_u$  Cuando  $\ell_u/d < 7$   
 $\ell_e = 1.63\ell_u + 3d$  Cuando  $7 < \ell_u/d < 14.3$   
 $\ell_e = 1.84\ell_u$  Cuando  $\ell_e/d > 14.3$
- En aplicaciones de múltiples luces, se deben usar valores tabulados o realizar un análisis de ingeniería

#### **G.3.3.4 — CONDICIONES DE RESTRICCIÓN LATERAL PARA LAS CUALES EL COEFICIENTE DE ESTABILIDAD DE VIGAS $C_L = 1$ .**

- Si  $d/b \leq 2$ ; no se requerirá soporte lateral.
- Si  $2 < d/b \leq 4$ ; se debe restringir el giro y el desplazamiento lateral en los apoyos. Para esto se acepta el uso de bloques de la misma altura del elemento, arriostramientos en "x", por fijación a otros elementos estructurales por medio de clavos o pernos, o por otros medios aceptables.
- Si  $4 < d/b \leq 5$ ; el borde a compresión del elemento debe ser soportado lateralmente en toda su longitud para prevenir desplazamiento. Para esto se acepta el uso del revestimiento estructural del piso o techo; además, se debe restringir el giro y el desplazamiento lateral en los apoyos.
- Si  $5 < d/b \leq 6$ ; se deben instalar arriostramientos en "x" o bloques de la misma altura del elemento a intervalos que no excedan 2.40 m. El borde a compresión del elemento debe ser soportado lateralmente en toda su longitud con el uso del revestimiento estructural del piso o techo y se debe restringir el giro y el desplazamiento lateral en los apoyos.
- Si  $6 < d/b \leq 7$ ; los bordes superior e inferior del elemento deben contar con un soporte lateral continuo en toda su longitud y se debe restringir el giro y el desplazamiento lateral en los apoyos.

**G.3.3.4.1** — Si un miembro a flexión está sujeto a flexión y compresión axial, el radio  $d/b$  no será mayor que 5, si un borde es firmemente soportado en toda su longitud y si bajo todas las combinaciones de carga, el borde no sostenido del miembro está en tensión, la relación  $d/b$  no será  $> 6$

**G.3.3.4.2** — Cuando algunos postes o columnas reposen sobre vigas, se deberá proveer arriostramiento lateral para la viga en el sitio donde ello ocurra.

**G.3.3.4.3 — Relación de esbeltez** — El parámetro que mide la esbeltez de una viga rectangular, se calcula según la fórmula siguiente:

$$R_B = \sqrt{\frac{\ell_e d}{b^2}} \quad (\text{G.3.3-4})$$

En donde:

- $R_B$  = parámetro que mide la esbeltez de una viga y deberá ser menor a 50
- $b$  = ancho de la viga en mm
- $d$  = altura de la viga en mm
- $\ell_e$  = longitud efectiva de la viga en mm

El cálculo de  $\ell_e$  se efectúa según la tabla G.3.3-4, en donde  $\ell_u$  es la longitud entre soportes laterales de la viga.

**G 3.3.4.4 — Coeficiente de estabilidad lateral  $C_L$**  — El coeficiente de estabilidad para vigas será calculado con la siguiente fórmula:

$$C_L = \left( \frac{1 + F_{bE}/F_b^*}{1.9} \right) - \sqrt{\left( \frac{1 + F_{bE}/F_b^*}{1.9} \right)^2 - \left( \frac{F_{bE}/F_b^*}{0.95} \right)} \quad (\text{G.3.3-5})$$

En donde:

- $C_L$  = coeficiente de estabilidad lateral, para vigas rectangulares. En vigas de sección circular  $C_L = 1$
- $F_b^*$  = esfuerzo admisible de flexión, multiplicado por todos los factores de modificación, excepto  $C_{fu}$ ,  $C_L$ ,  $C_v$  en MPa.  $F_b^* = F_b C_d C_m C_t C_F C_i C_r$

$$F_{bE} = \frac{1.20E'_{\min}}{R_B^2} \quad (\text{G.3.3-6})$$

Donde:

- $F_{bE}$  = esfuerzo de flexión crítico, en MPa
- $E'_{\min}$  = módulo de elasticidad mínimo modificado, en MPa
- $R_B$  = relación de esbeltez de la viga

**G.3.3.5 — MOMENTO RESISTENTE EN SECCION RECTANGULAR** — El momento actuante sobre vigas rectangulares, no debe exceder el valor del momento resistente dado por la fórmula.

$$M \leq F'_b \frac{bd^2}{6} = F'_b S \quad (\text{G.3.3-7})$$



En donde:

$M$  = momento actuante en N-mm  
 $F'_b$  = esfuerzo admisible modificado a flexión en MPa  
 $b, d$  = medidas de la sección rectangular mm  
 $S$  = módulo de la sección en mm<sup>3</sup>

**G.3.3.5.1 — Momento resistente sección circular** — El momento actuante sobre secciones circulares, no debe exceder el valor del momento resistente dado por la fórmula:

$$M \leq F'_b (0.7854R^3) \quad (\text{G.3.3-8})$$

$R$  = radio medido en la sección de momento máximo, en mm.

### G.3.4 — CORTANTE

**G.3.4.1** — Los esfuerzos máximos de corte paralelo a las fibras serán calculados en secciones a una distancia del apoyo igual a la altura ( $d$ ), de la viga, excepto en voladizos para los que los esfuerzos máximos serán evaluados en la cara del apoyo. El máximo esfuerzo cortante paralelo a las fibras ( $f_v$ ) se determinará teniendo en cuenta la distribución no uniforme de estos esfuerzos en la sección, no debiendo ser mayor que el esfuerzo admisible para corte paralelo a las fibras,  $F'_v$ , definido en la tabla G.2.2-1 para el grupo de madera estructural especificado, modificado por los factores establecidos en la tabla G.2.2-10. El esfuerzo al corte en la dirección perpendicular a las fibras es mucho mayor, y por lo tanto no requiere de verificación.

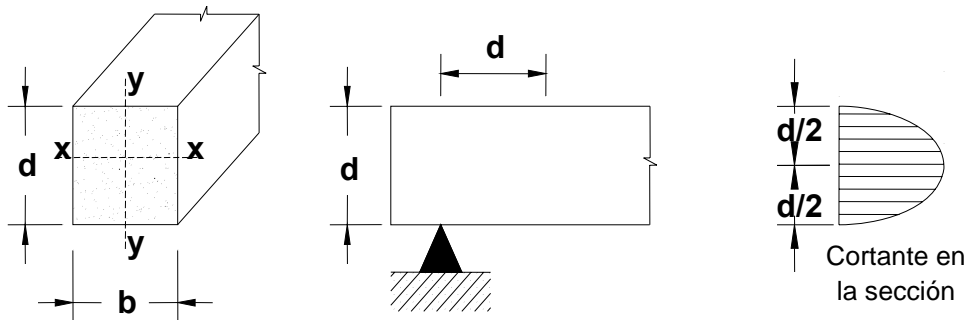


Figura G.3.4-1 — Esfuerzo Cortante en vigas.

**G.3.4-2 — ESFUERZO CORTANTE PARALELO A LAS FIBRAS ( $f_v$ )** — En cualquier sección transversal del miembro a flexión, no excederá el valor del esfuerzo admisible modificado paralelo a las fibras para cortante ( $F'_v$ ) y en vigas de sección rectangular y circular, se calculará por las fórmulas:

Sección Rectangular

$$f_v = \frac{3v}{2bd} \leq F'_v \quad (\text{G.3.4-1})$$

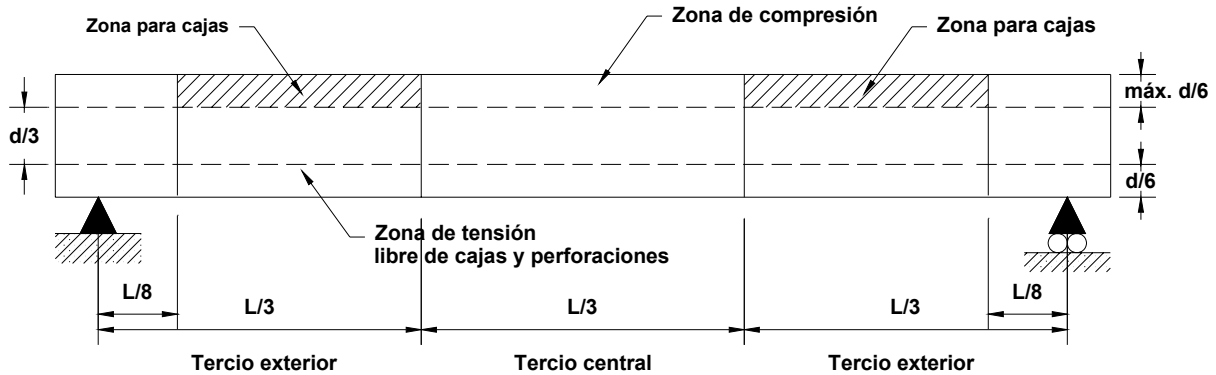
Sección Circular

$$f_v = \frac{4v}{3\pi R^2} \leq F'_v \quad (\text{G.3.4-2})$$

En donde

- $f_v$  = esfuerzo cortante actuante, en MPa  
 $F'_v$  = esfuerzo cortante admisible modificado en MPa  
 $V$  = fuerza cortante vertical en la sección considerada, en N  
 $b, d$  = dimensiones de la sección rectangular en mm.  
 $R$  = radio de la sección circular en mm

**G.3.4.3 — ESPECIFICACIONES DE CAJAS** — El efecto de las cajas en la capacidad a corte del elemento deberá estudiarse bajo las provisiones de G.3.4.3 y G.3.4.4



**Figura G.3.4-2 — Indicaciones para cajas**

**G.3.4.3.1 — Especificaciones de cajas en elementos a flexión madera aserrada** — Debe evitarse en lo posible practicar cajas en las vigas; de requerirse, deberán detallarse en los planos y cumplir con las limitaciones dadas a continuación.

- No será permitido practicar cajas en la zona de tensión de elementos, cuyo ancho neto sea igual o mayor a 90mm (100mm nominal). La localización de las cajas deberá ser la indicada en la figura G.3.4-2.
- Se permitirán cajas localizadas en el extremo del elemento en su canto inferior, cuando estas se usen para alojar un soporte. La altura de estas cajas no deberá exceder 1/4 de la altura de la viga.
- En vigas de una luz, las cajas en el borde de compresión, deberán colocarse dentro de los tercios exteriores.
- En vigas continuas, la caja en el canto superior deberá localizarse a la mayor distancia definida entre:
  - las abscisas que corresponden a 1/8 y 1/4 de la luz, o
  - a una distancia igual a,  $2d$ , del punto de inflexión de momento hacia el centro de la viga; donde,  $d$ , es la altura del elemento.
- La máxima dimensión horizontal de una caja en un miembro a flexión, deberá ser la menor entre 200mm o  $d/3$ , donde,  $d$ , es la altura del elemento.
- La máxima profundidad de una caja en un miembro a flexión, debe ser  $(d/6)$ , donde  $(d)$  es la altura del elemento
- La distancia entre los bordes de perforaciones deberá ser la mayor de las distancias definidas por:
  - la altura del elemento,
  - 3 diámetros de la perforación, o
  - 150mm. La distancia entre el borde de una perforación y el borde del elemento no será menor que  $d/6$ .

- (h) Cajas en madera estructural laminada. – En la zona de tensión, de miembros a flexión únicamente se permitirán cajas en el terminal del miembro, para apoyo sobre un soporte y la profundidad de la caja será la menor entre 3" y  $d/10$ , donde ( $d$ ), es la altura del elemento.
- (i) En la zona de compresión no se permitirán cajas, con excepción de los terminales del miembro, dentro del tercio exterior de la luz y la altura de la caja será inferior a 0.4 d, en donde ( $d$ ), es la altura del miembro, con la excepción de un corte rebajado que no excederá 0.66d y tendrá una longitud máxima de  $3d$ . Para vigas rebajadas, donde la rebaja se extiende dentro del tercio medio de la luz, especiales consideraciones de diseño serán requeridas.

**G.3.4.3.2** — Un acartelamiento gradual de la profundidad de una caja en vez de un corte rectangular reduce la tendencia a la concentración de esfuerzos.

**G.3.4.3.3** — Cuando se presentan grietas o acebolladuras aceptables en la sección de diseño, según lo establecido en la tabla G.1.3-1, para efectos de cálculo el ancho del elemento deberá reducirse en una longitud igual a la proyección de la grieta o acebolladura. El efecto de las cajas en la capacidad a corte del elemento deberá estudiarse bajo las provisiones de G.3.4.4.

**G.3.4.4 — VIGAS CAJEADAS O ADELGAZADAS** — En general deberá evitarse practicar cajas, o adelgazamiento en la cara de tensión de las vigas. De ser necesario hacer cajas en el apoyo, su profundidad no será mayor a la cuarta parte de la altura de la viga, según lo establecido, en G.3.4.3.1.

**G.3.4.4.1 — Cajas en vigas a flexión de sección rectangular** — En vigas a flexión de sección rectangular, que presenten cajas en la cara de tensión. La fuerza cortante ajustada para diseño  $V'_R$ , se calculará con la siguiente fórmula:

$$V'_R = \left[ \frac{2}{3} F'_V b d_n \right] \left[ \frac{d_n}{d} \right]^2 \quad (\text{G.3.4-3})$$

En donde:

- $V'_R$  = fuerza cortante ajustada para diseño, en N
- $F'_V$  = esfuerzo admisible modificado en corte paralelo a la fibra, en MPa
- $b$  = ancho de la viga en mm
- $d_n$  = altura de la viga en la zona cajeadada en mm
- $d$  = altura total de la viga en mm

**G.3.4.4.2 — Cajas en vigas a flexión sección circular** — En vigas a flexión de sección circular que presenten cajas en la cara de tensión, la fuerza cortante ajustada, para diseño  $V'_R$  debe ser calculada con siguiente fórmula:

$$V'_R = \left[ \frac{2}{3} F'_V A_n \right] \left[ \frac{D_n}{D} \right]^2 \quad (\text{G.3.4-4})$$

Donde:

- $V'_R$  = fuerza cortante ajustada para diseño en N
- $F'_V$  = esfuerzo admisible modificado para diseño a cortante, en MPa
- $A_n$  = área neta de la sección transversal del elemento donde ocurre la caja, en  $\text{mm}^2$
- $D_n$  = diámetro de la sección circular menos la altura de la caja o de la incisión, en mm
- $D$  = diámetro de la sección circular sin tener en cuenta la caja, en mm

**G.3.4.4.3 — Otras secciones** — Para miembros a flexión de sección diferente a circular o rectangular con cajas o incisiones en la cara de tensión, la capacidad modificada para diseño a cortante,  $V'_R$ , se debe basar en análisis convencionales de ingeniería que tengan en cuenta las concentraciones de esfuerzos en cajas, reducciones o adelgazamientos.

**G.3.4.4.4 — Cajas o rebajes en el apoyo** — En elementos a flexión de sección rectangular que tengan cajas o rebajamientos en el apoyo, en la cara de compresión, tal como en la figura G.3.4-3, la fuerza cortante ajustada ( $V'_r$ ) debe ser calculada con la siguiente fórmula:

$$V'_r = \frac{2}{3} F'_v b \left[ d - \left( \frac{d - d_n}{d_n} \right) e' \right] \quad (\text{G.3.4-5})$$

Donde:

$V'_r$  = fuerza cortante ajustada para diseño en N

$F'_v$  = esfuerzo admisible modificado para diseño a cortante, en MPa

$b$  = ancho neto de la sección rectangular, en mm

$d$  = altura neta de la sección rectangular, en mm

$d_n$  = altura neta de la sección rectangular, menos la altura de la caja, en mm

$e'$  = distancia en mm, que se extiende la caja, hasta el borde interno del soporte y debe ser menor o igual a  $d_n$ . Si,  $e' > d_n$ , se deberá utilizar  $d_n$ , para calcular ( $f_v$ ), usando la fórmula G.3.4-1

Si el terminal de la viga es rebajado como ac, en la figura G.3.4-3,  $d_n$ , será medido desde el borde interno del soporte y será igual a la distancia d-f

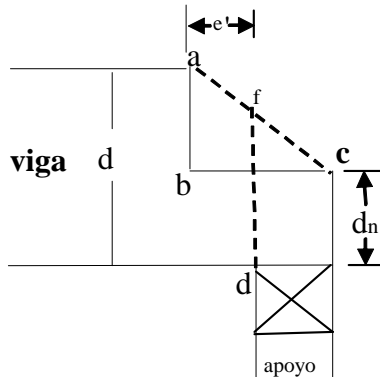


Figura G.3.4-3 — Cajas en el apoyo

**G.3.4.4.5 — Altura efectiva de miembros de conexiones** — Cuando las conexiones en miembros a flexión están sujetadas con anillos partidos, conectores de placa para cortante, tornillos, pasadores con tuerca, como se muestra en la figura G.3.4-4. La fuerza cortante se determina por principios de ingeniería mecánica.

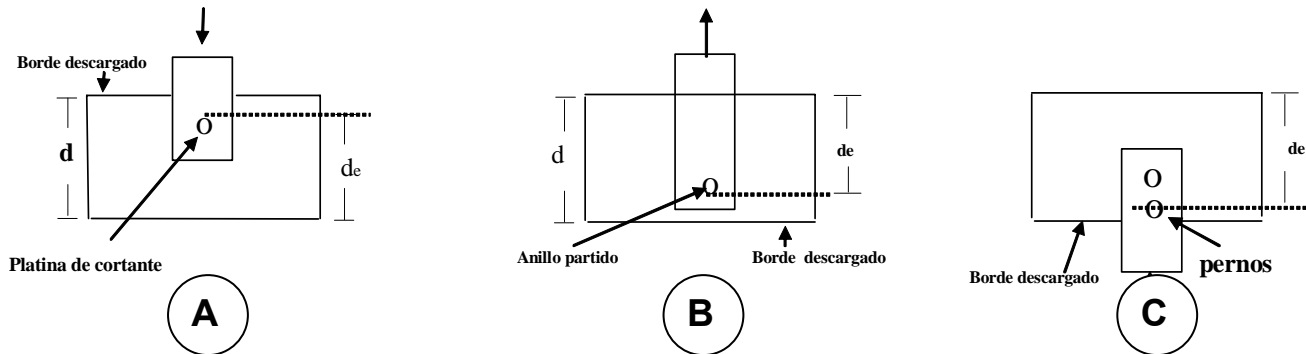


Figura G 3.4-4 — Altura efectiva de miembros de conexiones

**G.3.4.4.6** — Cuando la conexión está a menos de cinco veces la altura,  $5d$ , del miembro desde su extremo, el cortante de diseño ajustado,  $V'_r$ , será calculado de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$V'_r = \left( \frac{2}{3} F'_v b d_e \right) \left( \frac{d_e}{d} \right)^2 \quad (\text{G.3.4-6})$$

Donde:

Para anillos partidos o conectores de placa para cortante,  $(d_e)$ , será la altura del elemento, menos la distancia del borde descargado del elemento, hasta el borde más cercano, del más cercano anillo partido ó conector de placa para cortante, figuras A y B de G 3.4-4. Donde la conexión sea atornillada o empernada, la distancia  $(d_e)$ , será tomada donde el centro del pasador o tornillo como en la figura C. de G.3.4-4.

**G.3.4.4.7** — Cuando la conexión está a más de cinco veces la altura,  $5d$ , del elemento, medida desde el extremo del mismo, la fuerza cortante ajustada,  $V'_r$ , será calculado con la siguiente fórmula:

$$V'_r = \frac{2}{3} F'_v b d_e \quad (\text{G.3.4-7})$$

**G.3.4.4.8** — Deben recibir especial atención en su diseño a cortante las vigas de luz corta fuertemente cargadas, donde los esfuerzos cortantes son especialmente críticos.

## G.3.5 — APLASTAMIENTO

**G.3.5.1** — Los esfuerzos de compresión  $(f_p)$  en la dirección perpendicular a las fibras deberán verificarse en los apoyos y otros puntos donde se tengan cargas concentradas en áreas pequeñas. Tales esfuerzos no deberán exceder el esfuerzo admisible de compresión modificado,  $(F'_p)$ , para el grupo de madera estructural especificado. El esfuerzo perpendicular al grano,  $f_p$ , en los apoyos o sitios de carga, se calculará con la fórmula:

$$f_p = \frac{N}{A_n} \leq F'_p \quad (\text{G.3.5-1})$$

En donde:

- $f_p$  = esfuerzo de aplastamiento actuante en MPa
- $F'_p$  = esfuerzo admisible modificado a compresión perpendicular a la fibra, en MPa.
- $N$  = fuerza axial actuante perpendicular a la fibra en N
- $A_n$  = área neta de aplastamiento en  $\text{mm}^2$

**G.3.5.1.1** — **Coficiente por área de apoyo  $C_b$**  — Para apoyos menores de 150 mm en longitud, que se encuentren a más de 75 mm del extremo del elemento, el esfuerzo admisible  $(F_p)$ , puede incrementarse multiplicándolo por el factor:

$$C_b = \frac{\ell_b + 9.53}{\ell_b} \quad (\text{G.3.5-2})$$

en donde  $\ell_b$  es la longitud del apoyo en mm, medida a lo largo de la fibra de la madera.

**G.3.5.1.2** — El factor de multiplicación para apoyos de longitudes correspondientes a áreas pequeñas como platinas y arandelas, puede obtenerse como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla G.3.5-1

Factor de incremento para apoyos de longitudes pequeñas, como cargas sobre platinas o arandelas

Longitud del apoyo, en mm $\ell_b$	12.5	25	38	50	75	100	$\geq 150$
Factor $C_b$	1.75	1.38	1.25	1.19	1.13	1.10	1.00

**G.3.5.1.3** — Para arandelas circulares la longitud de apoyo es igual al diámetro. Para viguetas soportadas por otras viguetas y clavadas a ellas, el esfuerzo admisible en compresión perpendicular a la fibra puede incrementarse en un 50%. Cuando se presenten disminuciones en el ancho efectivo del área de soporte de un elemento (por ejemplo arista faltante), el esfuerzo de compresión perpendicular a las fibras se calculará teniendo en cuenta estas disminuciones.

**G.3.5.2 — CARGAS INCLINADAS** — Cuando la dirección de la fuerza sea inclinada, respecto a la dirección de la fibra de la madera, (ángulo diferente a 0 ó 90 grados), el esfuerzo admisible de diseño será calculado con la siguiente fórmula de Hankinson:

$$F'_\theta = \frac{F_c^* F'_p}{F_c \sin^2 \theta + F'_p \cos^2 \theta} \quad (\text{G.3.5-3})$$

En donde:

- $F'_\theta$  = esfuerzo admisible modificado de compresión para un ángulo  $\theta$ , en MPa  
 $F_c^*$  = esfuerzo básico de compresión paralelo al grano  $F_c$ , multiplicado por todos los coeficientes de modificación, excepto el coeficiente de estabilidad de columnas  $C_p$   
 $F'_p$  = esfuerzo admisible modificado perpendicular al grano en MPa  
 $\theta$  = ángulo entre la dirección de la fuerza y la dirección de la fibra en grados.

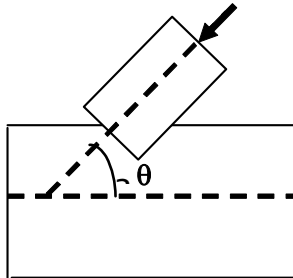


Figura G.3.5-1 — Cargas inclinadas

**G.3.5.3 — DEFORMABILIDAD POR APLASTAMIENTO** — La deformabilidad perpendicular al grano, de un elemento sometido a carga uniforme, perpendicular a la fibra, y que se encuentre cargado y soportado en toda su área, debe ser calculada con la siguiente fórmula:

$$\Delta_d = \frac{f_p d}{E'_{p0.5}} \quad (\text{G.3.5-4})$$

En donde:

- $\Delta_d$  = deformabilidad perpendicular al grano, en mm  
 $f_p$  = esfuerzo de cálculo a compresión perpendicular a la fibra en MPa  
 $d$  = altura del elemento en mm  
 $E'_{p0.5}$  = módulo de elasticidad promedio modificado para carga perpendicular al grano en MPa.

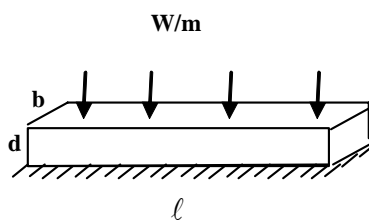


Figura G.3.5-2 — Deformabilidad por aplastamiento



**Notas:**



## CAPÍTULO G.4

### DISEÑO DE ELEMENTOS SOLICITADOS POR FUERZA AXIAL

#### G.4.1 — GENERAL

**G.4.1.1** — Serán diseñados a fuerza axial aquellos elementos solicitados en dirección coincidente con el eje longitudinal que pasa por el centroide de su sección transversal.

**G.4.1.2** — Los esfuerzos actuantes,  $(f_t)$  y  $(f_c)$ , generados por fuerzas axiales no deberán exceder los esfuerzos admisibles, de tensión paralela al grano,  $(F_t)$ , y compresión paralela al grano,  $(F_c)$ , definidos en la tabla G.2.2-1, para el grupo de madera especificado, afectado por los correspondientes coeficientes de modificación de la tabla G.2.2-10.

#### G.4.2 — ELEMENTOS SOMETIDOS A TENSION AXIAL

**G.4.2.1** — El esfuerzo  $(f_t)$  a carga axial de tensión  $(T)$ , no sobrepasará al esfuerzo admisible modificado a tensión paralela a la fibra  $(F'_t)$ , según la siguiente fórmula:

$$f_t = \frac{T}{A_n} \leq F'_t \quad (\text{G.4.2-1})$$

en donde:

- $f_t$  = esfuerzo actuante a tensión paralela al grano, en MPa.
- $T$  = fuerza axial de tensión actuante en N.
- $A_n$  = área neta de la sección en  $\text{mm}^2$ .
- $F'_t$  = esfuerzo admisible modificado de tensión paralela al grano en MPa.

**G.4.2.2** — Aquellos elementos que, además de sollicitación axial de tensión, estén sometidos a momento flector axial o biaxial, deberán ser diseñados de acuerdo con G.5.1.

**G.4.2.3 — TENSIÓN PERPENDICULAR AL GRANO** — Los diseños que inducen esfuerzos de tensión perpendicular al grano deben ser evitados. En caso contrario se deberá considerar el uso de refuerzo mecánico capaz de resistir tales esfuerzos.

#### G.4.3 — ELEMENTOS SOMETIDOS A COMPRESION AXIAL

**G.4.3.1 — TERMINOLOGIA** — El término COLUMNA, se refiere a los elementos sometidos a cargas de compresión paralela a la fibra, cualquiera que sea su localización estructural.

**G.4.3.1.1 — Clasificación de columnas** — Para efectos de la presente norma, se clasificarán de acuerdo con su forma constructiva:

- (a) **Columnas simples sólidas** — Conformadas por piezas únicas de madera o piezas de madera estructural laminada encolada.
- (b) **Columnas espaciadas** — Conformadas a partir de dos o más piezas individuales separadas entre sí pero ensambladas, en los extremos y en puntos intermedios, por bloques o tapas unidas por adhesivos, conectores de anillo partido, pasadores, pernos, grapas, tornillos tirafondos, o clavos.
- (c) **Columnas armadas** — Son las conformadas por varias piezas individuales macizas de madera, de similares características, unidas entre sí, por, pernos, tornillos, adhesivos o clavos.

**G.4.3.2 — LONGITUD EFECTIVA** — La longitud efectiva de una columna puede calcularse con la fórmula:

$$\ell_e = k_e \ell_u \quad (\text{G.4.3-1})$$

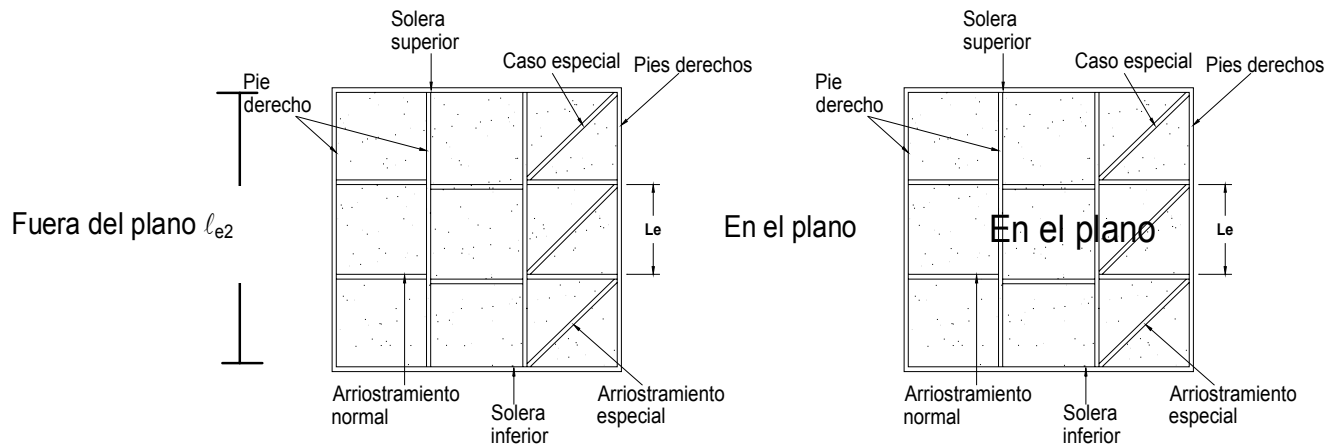
En donde:

$\ell_e$  = longitud efectiva en mm.

$k_e$  = coeficiente de longitud efectiva, según lo determinado en la tabla G.4.3-1.

$\ell_u$  = longitud no soportada lateralmente de la columna en la dirección considerada en mm.

**G.4.3.3 — ENTRAMADOS DE PIES DERECHOS** — Deben estar arriostrados adecuadamente en el plano del mismo. Los entramados deberán contener por lo menos un travesaño horizontal intermedio o garantizar el arriostramiento por medio del revestimiento, (entablado o tablero, por ejemplo), adecuadamente conectado a los pies derechos.



**Figura G.4.3-1 — Arriostramiento de entramados**

Para entramados cuyos pies derechos están arriostrados lateralmente por elementos intermedios, se deberá considerar como longitud efectiva en el plano del mismo, a la longitud entre arriostramientos intermedios. ( $\ell_e$ ). La longitud efectiva fuera del plano del entramado no será menor que la altura del mismo  $\ell_{e2}$ .

**Tabla G.4.3-1**  
**Coeficientes de longitud efectiva de columna  $k_e$**

Condición de los apoyos	Gráficos	$k_{e1}$	$k_{e2}$
Empotrados en ambos extremos  ①		0.50	0.65
Impedido de desplazarse en ambos extremos y uno de ellos impedido de rotar  ②		0.70	0.85
Articulado en ambos extremos  ③		1.00	1.00
Empotrado en un extremo y el otro impedido de rotar pero libre de desplazamiento  ④		1.00	1.20
Empotrado en un extremo y el otro parcialmente libre de rotar y libre de desplazamiento  ⑤		1.50	1.50
Articulado en un extremo y el otro impedido de rotar pero libre de desplazamiento  ⑥		2.00	2.40
Empotrado en un extremo y el otro libre de rotar y libre de desplazamiento  ⑦		2.00	2.10

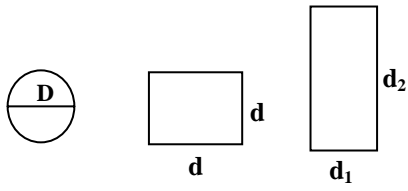
 $k_{e1}$  teórico

 $k_{e2}$  recomendado cuando las condiciones ideales son aproximadas

**G.4.3.4 — RELACION DE ESBELTEZ ( $\lambda$ )** — En el diseño de columnas de madera, se considera como medida de esbeltez la definida por la fórmula:

$$\lambda = \frac{\ell_e}{r\sqrt{12}} \quad (\text{G.4.3-2})$$

**Tabla G.4.3-2**  
**Relación de esbeltez  $\lambda$**

Sección transversal				Cualquier sección
$\lambda$	$\frac{\ell_e}{0.866D}$	$\frac{\ell_{e1,2}}{d}$	$\frac{\ell_{e1}}{d_1} \quad \frac{\ell_{e2}}{d_2}$	$\frac{\ell_e}{r\sqrt{12}}$

En donde:

- $\lambda$  = medida de esbeltez. Debe ser  $\lambda \leq 50$ , excepto durante la construcción que podrá ser  $\lambda \leq 75$
- $\ell_{e1,2}$  = longitud efectiva de la columna en la dirección considerada, en mm.
- $r$  = radio de giro de la sección, en mm
- $d_1, d_2$  = dimensiones de la sección transversal en la dirección considerada, en mm.
- $D$  = diámetro de la sección circular, en mm

El cálculo se hará para las dos direcciones principales y se utilizará el  $\lambda$  mayor.

**G.4.3.5 — COEFICIENTE DE ESTABILIDAD DE COLUMNAS  $C_p$**  — El coeficiente de estabilidad para columnas,  $C_p$ , debe ser calculado según la fórmula :

$$C_p = \frac{1 + (F_{CE}/F_c^*)}{2C} - \sqrt{\left( \frac{1 + (F_{CE}/F_c^*)}{2C} \right)^2 - \frac{F_{CE}/F_c^*}{C}} \quad (\text{G.4.3-3})$$

- $F_c^*$  = Esfuerzo admisible de compresión paralelo al grano, multiplicado por todos los factores de modificación, excepto ( $C_p$ )

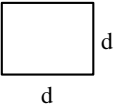
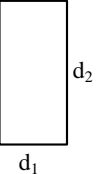

$$F_{CE} = \text{Esfuerzo crítico. Véase tabla G.4.3-3.} \quad (\text{G.4.3-4})$$

En donde:

- $\ell_e$  = longitud efectiva en mm.
- $r$  = radio de giro de la sección en mm.
- $E'_{\min}$  = módulo de elasticidad mínimo modificado, en MPa
- $C$  = coeficiente valorizado en tabla G. 4.3-3

Cuando un miembro a compresión es soportado en toda su longitud y en las dos direcciones principales, para prevenir desplazamientos laterales en cualquier dirección  $C_p = 1.0$

Tabla G.4.3-3  
Valores de C y de  $F_{CE}$  Esfuerzo crítico

	Madera aserrada			Madera rolliza	Madera laminada
Sección			Cualquier sección		Laminada
C	0.80	0.80	0.80	0.85	0.90
$F_{CE}$	$\frac{0.822E'_{\min}}{\lambda^2}$	$\frac{0.822E'_{\min}}{\lambda_{1.2}^2}$	$\frac{\pi^2 E'_{\min}}{(\ell_e/r)^2}$	$\frac{0.822E'_{\min}}{\lambda^2}$	$\frac{0.822E'_{y\min}}{\lambda^2}$

En donde:

$E'_{y\min}$  = módulo de elasticidad mínimo modificado para madera laminada, en MPa

**G.4.3.6 — CARGAS ADMISIBLES** — La carga admisible de una columna, con carga axial centrada, será calculada con la siguiente fórmula:

$$P_a = F'_c A_n \quad (\text{G.4.3-5})$$

En donde:

$P_a$  = fuerza o carga admisible de la columna en N.

$F'_c$  = esfuerzo admisible modificado a compresión paralela al grano en MPa,  $F'_c = C_p F_c^*$

$A_n$  = área neta de la columna en  $\text{mm}^2$

Si la columna no tiene perforaciones, el área neta de la columna es el área bruta de la misma. Si la columna tiene alguna perforación, el área usada en el cálculo de  $P_a$ , dependerá de la localización de las perforaciones y de la posibilidad de que la columna pueda pandearse en ese sitio, según las siguientes consideraciones:

- (a) Si la perforación se encuentra ubicada en un punto debidamente arriostrado contra desplazamiento lateral, el área bruta podrá ser utilizada en la comprobación de la columna, con reducción por esbeltez entre puntos de arriostramiento.
- (b) Si la perforación se encuentra localizada en la zona no arriostrada de la columna, el área neta deberá ser usada al comprobar la estabilidad de la columna y la carga admisible.

**G.4.3.7 — COLUMNAS ADELGAZADAS** — Para el diseño de una columna de sección rectangular adelgazada en uno o ambos extremos, la representativa dimensión (d), para cada cara de columna se calcula con la siguiente fórmula:

$$d = d_{\min} + (d_{\max} - d_{\min}) \left( a - 0.15 \left( 1 - \frac{d_{\min}}{d_{\max}} \right) \right) \quad (\text{G.4.3-6})$$

En donde:

d = altura de la sección rectangular, en mm

$d_{\min}$  = La mínima dimensión para la cara de columna considerada en mm

$d_{\max}$  = La máxima dimensión para la cara de la columna considerada en mm.

$a$  = Condición de soporte, es aplicable cuando  $d_{\min}/d_{\max} \geq 1/3$

Para el caso de columnas de sección redonda, se asume como los diámetros  $D$ ,  $D_{\min}$  y  $D_{\max}$

Condiciones de soporte	
Extremo largo empotrado, extremo pequeño no soportado. Caso 7 Tabla G.4.3-1	$a = 0.70$
Extremo pequeño fijo, extremo largo no soportado o simplemente soportado. Casa 6, Tabla G.4.3-1	$a = 0.30$
Ambos extremos simplemente soportados. Caso 3 Tabla G.4.3-1	
Adelgazamiento hacia un extremo	$a = 0.50$
Adelgazamiento hacia ambos extremos	$a = 0.70$

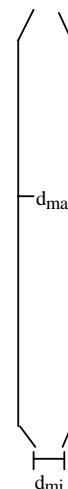


Figura G.4.3-2 — Columnas adelgazadas

Para todas las otras condiciones

$$d = d_{\min} + \frac{(d_{\max} - d_{\min})}{3} \quad (\text{G.4.3-7})$$

El cálculo de  $C_p$ , estará basado en la representativa dimensión ( $d$ ). Además, ( $f_c$ ) en cualquier sección transversal de la columna rebajada, tomando la mínima dimensión de la columna, no excederá, el esfuerzo admisible modificado para compresión axial paralela a la fibra ( $F'_c$ ), multiplicado por todos los factores de modificación excepto el factor de estabilidad de columnas ( $C_p$ ).

**G.4.3.8 — COLUMNAS ESPACIADAS** — Las especificaciones de esta norma son aplicables a columnas conformadas por piezas separadas por bloques con espaciamiento  $a/t \leq 3$ , Figura G.4.3-3 A, B, C, o con tapas de unión, Figura G.4.3-3, D, E, con espaciamiento  $3 < a/t \leq 6$ .

Especificaciones de construcción:

- Todas las piezas deberán tener la misma sección transversal y propiedades mecánicas, sin juntas, uniones o traslapes y la longitud de cada pieza será la longitud total de la columna.
- Los tacos separadores, tapas de unión y sus conectores se deberán diseñar considerando el esfuerzo de corte  $V_d$ , según la fórmula G.4.3.10.
- El número de tramos debe ser  $\geq 3$ , o sea que existirán mínimo cuatro bloques separadores ó cuatro tapas, y con uniones transversales al menos en los puntos tercios de la longitud de columna.
- La unión transversal de cada bloque o tapa con las piezas dispondrá de al menos dos conectores, dos pernos o cuatro clavos.
- Si se utilizan tacos encolados la longitud de estos será al menos dos veces la distancia libre entre piezas individuales.
- Cuando  $a/t \leq 2$  se prescindirá del cálculo de momento flector que la fuerza de cortante,  $F_{\text{vef}}$ , induce sobre los tacos separadores.

**G.4.3.8.1 — Requisitos de diseño** — Las columnas espaciadas con bloques separadores o tapas de unión se calcularán de acuerdo con G.4.3.3, pero en los elementos A, B, C, D, E de la figura G.4.3-3, el pandeo con respecto al eje principal, x - x, se verificará de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$F_{CE} = \frac{0.822E'_{\min}}{\left(\frac{\lambda_{\text{efx}}}{\sqrt{12}}\right)^2} \quad (\text{G.4.3-8})$$

y

$$\lambda_{\text{efx}} = \sqrt{\left(\frac{\ell_{\text{ex}}}{r_x}\right)^2 + 6nC_f \frac{\ell_{p1}^2}{t^2}} \quad (\text{G.4.3-9})$$

En donde:

- $\lambda_{\text{efx}}$  = esbeltez eficaz de la sección transversal, respecto a x - x
- $\ell_{\text{ex}}$  = longitud efectiva de la sección total respecto a x - x, en mm
- $r_x$  = radio de giro calculado, considerando el momento de inercia total de la pieza referido al eje x - x, en mm
- $n$  = número de piezas individuales que conforman la sección transversal del elemento compuesto.
- $C_f$  = coeficiente de flexibilidad, de acuerdo a los materiales usados según tabla (G.4.3.4).
- $\ell_{p1}$  = longitud de pandeo de la pieza individual, definida como la distancia entre centros de uniones transversales, figura G.4.3-3.
- $t$  = espesor de las piezas individuales, en mm
- $E'_{\min}$  = módulo de elasticidad mínimo longitudinal modificado en MPa

En el cálculo anterior se debe cumplir

- (a)  $\ell_{p1} \leq \frac{60t}{\sqrt{12}}$
- (b)  $\ell_{p1} \leq \ell_{\text{ex}}/3$
- (c) Si  $\ell_{p1} \leq \frac{30t}{\sqrt{12}}$ , se debe considerar  $\ell_{p1} = \frac{30t}{\sqrt{12}}$

**Tabla G 4.3-4**  
**Coeficiente de flexibilidad de uniones  $C_f$**

Tipo de unión transversal	Medio de unión	Coeficiente de flexibilidad $C_f$
Bloques separadores	Adhesivos	1.0
	Conectores anillo partido	2.5
	Clavos, tornillos tirafondos	3.0
	Pernos, con reapriete	3.0
Tapas de unión	Adhesivos	3.0
	Clavos	4.5

**G.4.3.8.2** — En la verificación del pandeo con respecto al eje y-y, ver figura G.4.3-3, la sección trasversal compuesta se debe considerar como una pieza simple, con momento de inercia igual a la suma de los momentos de inercia de las piezas individuales.

**G.4.3.8.3 — Capacidad cortante de conectores** — Sobre los medios de unión transversal de estos elementos y conectores, clavos, tornillos, tirafondos, pernos, actúa una fuerza cortante,  $V_d$ , que se debe calcular con la fórmula G.4.3-10 y que actúa de acuerdo con la figura G.4.3-4.

$$V_d = \frac{P}{60C_p} \quad (\text{G.4.3-10})$$

Y sobre la correspondiente unión transversal de estos elementos, bloques, separadores o tapas de unión, actúa un flujo de corte  $F_{\text{vef}}$  que se calcula con la fórmula G.4.3-11 y que actúa de acuerdo con la figura G.4.3-4.

$$F_{\text{vef}} = \frac{C_n V_d \ell_{p1}}{a_1} \quad (\text{G.4.3-11})$$

Tabla G.4.3.5  
Coeficientes  $C_n$  para cálculo de  $F_{\text{vef}}$

n	2	3	4	4
$C_n$	0,5	0.25	0.20	0.15
Calculo	$F_{\text{vef}}$	$F_{\text{vef}}$	$F_{\text{vef}}$	$F_{\text{vef}}$

En donde:

- P** = carga axial de diseño de la columna, en N  
 **$V_d$**  = fuerza cortante en N  
 **$C_n$**  = coeficiente por cantidad de piezas para cálculo de  $F_{\text{vef}}$   
 **$\ell_{p1}$**  = distancia entre ejes de bloques espaciados o tapas de unión, en mm.  
 **$C_p$**  = coeficiente de estabilidad lateral de la columna  
 **$a_1$**  = la mitad de la distancia entre ejes de piezas individuales, en mm  
 **$F_{\text{vef}}$**  = flujo de cortante efectivo en bloques espaciadores o tapas de unión, en N.

#### G.4.3.8 — COLUMNAS ESPACIADAS

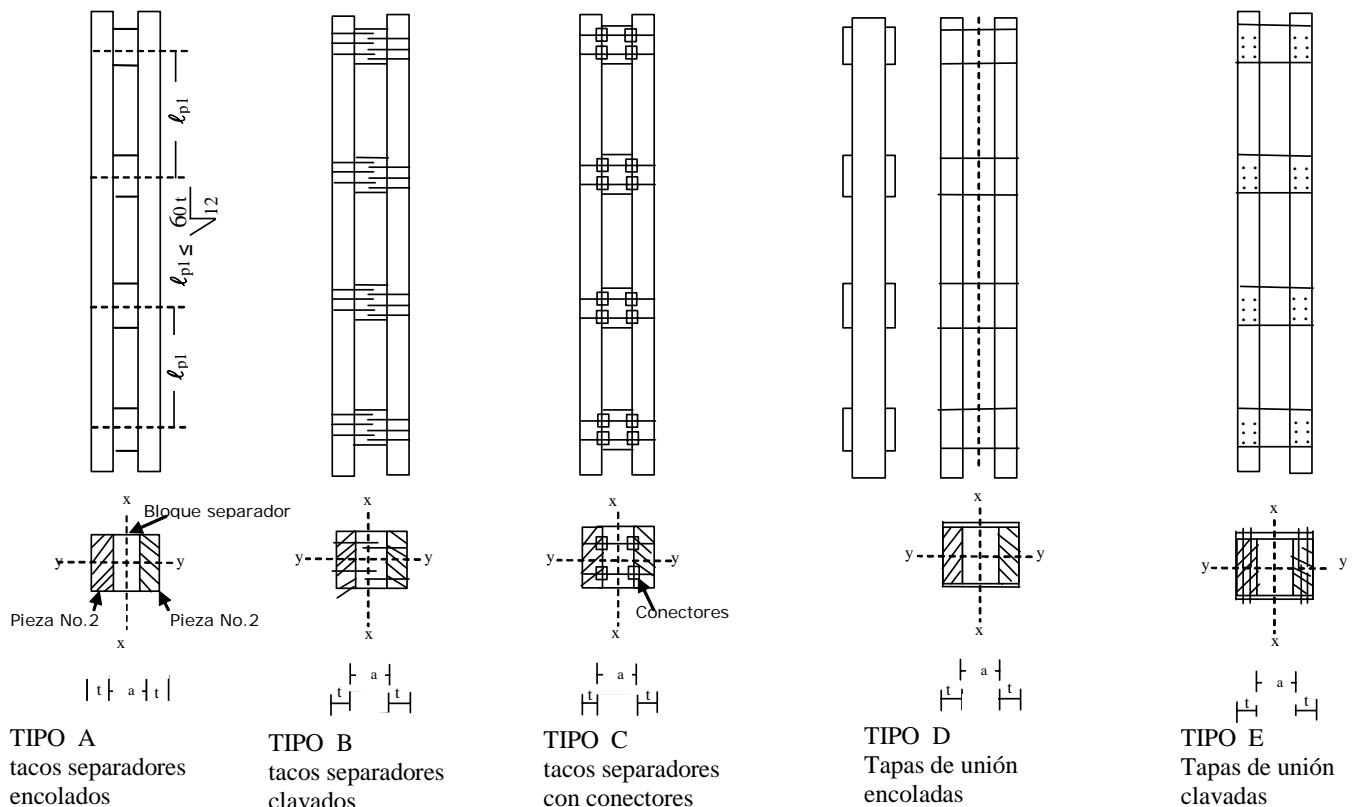


Figura G 4.3-3 — Columnas compuestas espaciadas



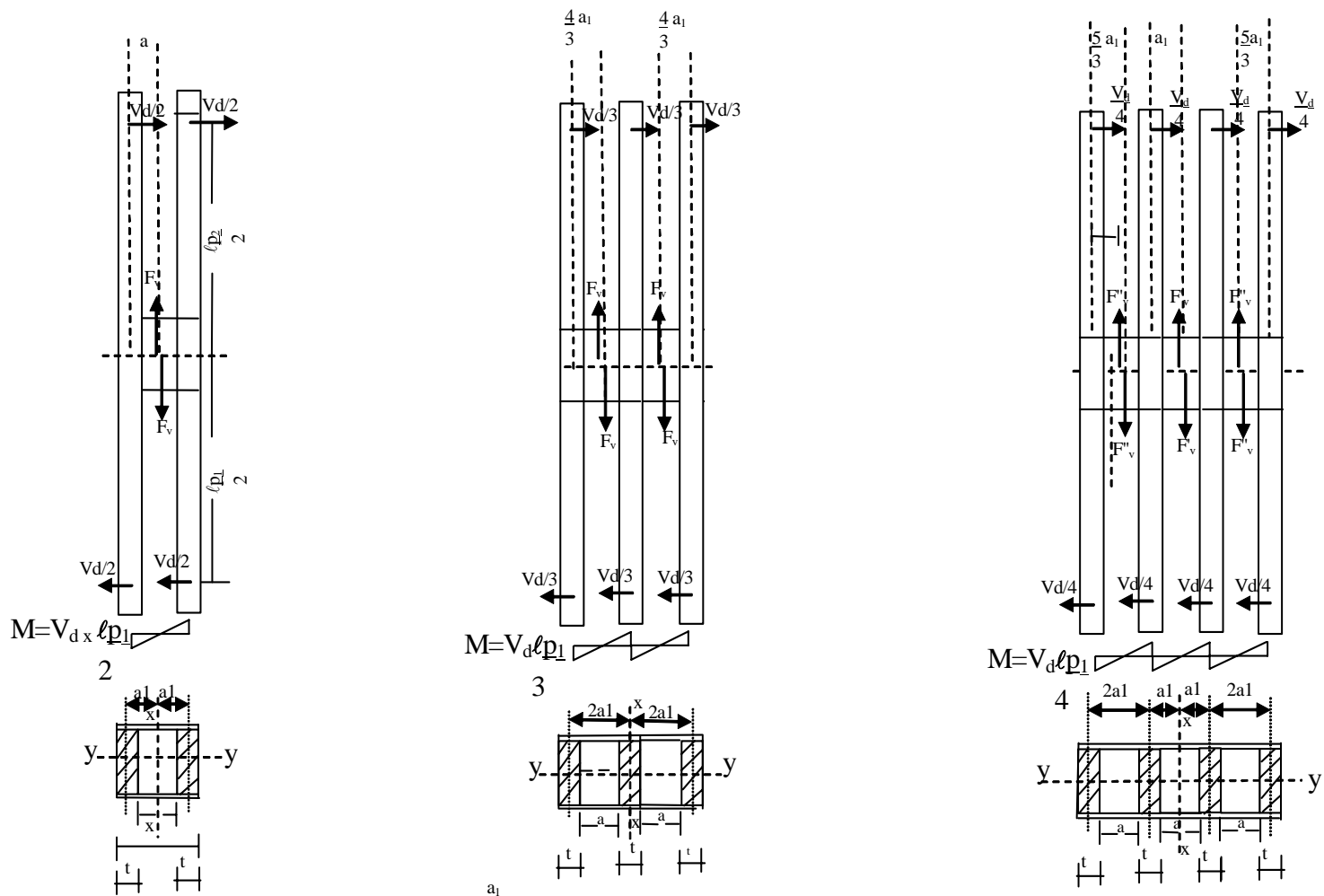


Figura G.4.3-4 — Suposiciones relativas a los puntos de acción de las fuerzas de cortante y flujos de cortante en piezas compuestas con tapas de unión

#### G.4.3.9 — COLUMNAS ARMADAS

**G.4.3.9.1** — Las siguientes provisiones aplican para columnas armadas, unidas con clavos o tornillos o pernos y con de 2 a 5 laminaciones o piezas.

**G.4.3.9.2** — Cuando se utilizan pegantes adhesivos efectivos como en el caso de madera estructural laminada encolada, se podrá asumir, que la sección desarrolla una acción compuesta total, es decir que no existirán deformaciones relativas entre laminaciones. Para el caso de madera laminada encolada el cálculo se asume como una simple columna maciza.

##### G.4.3.9.3 — Requisitos de construcción columnas armadas

- Cada laminación debe tener igual sección transversal rectangular y un espesor mínimo  $t \geq 38$  mm
- Todos los elementos deberán tener la misma altura ( $d$ )
- Las caras entre laminaciones deberán estar en contacto total
- Todos los elementos tendrán la longitud completa de la columna, en una sola pieza sin traslapes ni juntas.
- Las columnas deberán construirse con laminaciones o piezas de igual o similares características de resistencia, pero cuando se utilicen con laminaciones de diferente especie, resistencia, o espesor, se deberá tomar el esfuerzo de compresión admisible modificado ( $F'_c$ ) y el módulo de

elasticidad para estabilidad de vigas y columnas  $E'_{\min}$  correspondiente al de las más débil de las laminaciones.

- (f) Para mejorar las laminaciones se podrán juntar las piezas con una combinación de pegantes y clavos o pasadores.

**G.4.3.9.4 — Coeficiente de estabilidad para columnas armadas ( $C_p$ )** — Con las relaciones de esbeltez  $\ell_1 = K_{e1}\ell_{u1}/d_1$ , y  $\ell_2 = K_{e2}\ell_{u2}/d_2$ , se calculará el factor de estabilidad de columnas  $C_p$  de acuerdo a la fórmula G.4.3.9, tomándose el menor  $C_p$ , para el cálculo de  $F'_c$ . En la columna armada,  $F'_c$  de la columna armada no será menor que  $F'_c$ , para las laminaciones individuales, diseñadas como columnas sólidas individuales.

$$C_p = K_f \left( \frac{1 + F_{CE}/F'_c}{2C} \right) - \sqrt{\left( \frac{1 + (F_{CE}/F'_c)}{2C} \right)^2 - \frac{F_{CE}/F'_c}{C}} \quad (\text{G.4.3-13})$$

En donde:

- $C_p$  = coeficiente de estabilidad en columnas
- $C$  = 0.80 para madera aserrada
- $C$  = 0.90 para madera laminada
- $F_{CE}$  = esfuerzo crítico de pandeo para miembros de compresión
- $F'_c$  = esfuerzo admisible a compresión paralela, modificado, en MPa
- $K_f$  = 0.60 Cuando se emplean clavos y el pandeo ocurre en la dirección perpendicular, al plano de contacto de las piezas ( $\ell_2 = \ell_{e2}/d_2$ )
- $K_f$  = 0.75 cuando se emplean pernos y el pandeo ocurre en dirección perpendicular al plano de contacto entre las piezas ( $\ell_2 = \ell_{e2}/d_2$ )
- $K_f$  = 1.0 cuando se emplean clavos o pernos y el pandeo ocurre en el plano paralelo a la cara de contacto ( $\ell_1 = \ell_{e1}/d_1$ )

Los demás términos fueron definidos previamente en G.4.3.4.

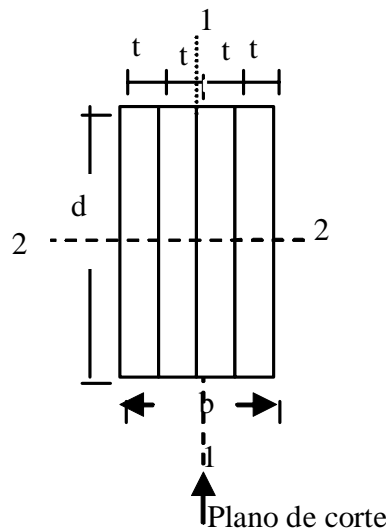
El  $C_p$  se calculará con  $\ell_{e1}/d_1$  y  $\ell_{e2}/d_2$  y se utilizará para el cálculo de la carga admisible de la columna, el menor valor de  $C_p$ .

**G.4.3.9.4.1 — CAPACIDAD DE CORTANTE DE LAS CONEXIONES** — Las conexiones se deben diseñar suponiendo un esfuerzo de corte de magnitud constante a lo largo de la pieza y se calculará de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$V_d = \frac{P}{60C_p} \quad (\text{G.4.3-14})$$

En donde:

- $V_d$  = fuerza cortante en N
- $C_p$  = coeficiente de estabilidad lateral para columnas
- $P$  = carga de compresión axial en N



**Figura G.4.3-6 — Sección transversal de columna armada**

**G.4.3.9.4.2** — Cuando el pandeo alrededor del eje 1, gobierna el diseño, el flujo de cortante será calculado de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$F_{v,eff} = K_f \frac{Q_i V_d}{I_1 d_1} \quad (G.4.3-15)$$

En donde:

- $F_{v,eff}$  = flujo de cortante efectivo en el plano de corte 1, en  $N/mm^2$
- $Q_i$  = primer momento de área, evaluado en el plano de corte 1 en  $mm^3$
- $V_d$  = fuerza cortante en N
- $I_1$  = momento de inercia de la sección compuesta alrededor del eje 1 en  $mm^4$
- $d_1$  = dimensión de la sección en la dirección 1
- $K_f$  = coeficiente de material
- $\ell_{e1}$  =  $K_{e1}$ ,  $\ell_{u1}$ , longitud efectiva de pandeo alrededor del eje 1 en mm
- $\ell_{e2}$  =  $K_{e2}$ ,  $\ell_{u2}$ , longitud efectiva de pandeo alrededor del eje 2 en mm

**G.4.3.9.5 — Especificaciones de columnas armadas conectadas con clavos** — Las columnas armadas cuyas piezas se conecten con clavos deberán cumplir con lo siguiente.

- (a) Los clavos adyacentes se instalan desde lados opuestos de la columna.
- (b) Los clavos deberán penetrar por lo menos 3/4 del espesor de la última pieza
- (c) La distancia desde el extremo de la columna hasta el clavo más cercano deberá estar entre 15D y 18D, siendo D, el diámetro del clavo.
- (d) El espaciamiento centro a centro entre clavos, deberá ser mayor o igual a 20D y menor o igual a 6 veces el espesor del elemento más delgado.
- (e) El espaciamiento entre filas de clavos, deberá estar entre 10D y 20D, siendo D, el diámetro del clavo.
- (f) Las distancias al borde, deberán estar entre 5D y 20D, siendo D, el diámetro del clavo.
- (g) Se deberán instalar dos o más filas longitudinales de clavos cuando la altura, (d), de la columna sea mayor de 3 veces el espesor (f) del elemento más delgado.
- (h) Cuando se requiera únicamente una fila longitudinal de clavos, los clavos adyacentes deberán ser alternados.

**G.4.3.9.6 — Especificaciones columnas armadas conectadas con pernos** — Las columnas armadas cuyas piezas se conecten con pernos deberán cumplir con lo siguiente.

- (a) Se deberá proveer una platina metálica o una arandela entre la cabeza del perno y el elemento de madera y entre este y la tuerca.
- (b) Las roscas deben ser apretadas para garantizar que las caras de las piezas adyacentes están en contacto.
- (c) Para maderas con  $DB \leq 600 \text{ kg/m}^3$ , se deberá proveer una distancia al extremo del elemento entre  $7D$  y  $8.4D$ , siendo  $D$ , el diámetro del perno. Para otras maderas, se deberá proveer una distancia al extremo del elemento entre  $5D$  y  $6D$ .
- (d) El espaciamiento centro a centro entre pernos de una misma fila deberá ser mayor o igual a  $4D$  y menor o igual a 6 veces el espesor del elemento más delgado.
- (e) El espaciamiento entre filas de pernos deberá estar entre  $1.5D$  y  $10D$  siendo  $D$ , el diámetro del perno.
- (f) Las distancias al borde deberán estar entre  $1.5D$  y  $10D$ , siendo  $D$ , el diámetro del perno.
- (g) Se instalará dos o más filas longitudinales de pernos si la altura,  $d$ , de la columna es mayor de 3 veces el espesor del elemento más delgado.
- (h) El espaciamiento entre filas de pernos deberá estar entre  $1.5D$  y  $10D$ , siendo  $D$  el diámetro del perno.
- (i) Las distancias al borde deberán estar entre  $1.5D$  y  $10D$ , siendo  $D$ , el diámetro del perno.
- (j) Se deberán instalar dos o más filas longitudinales de pernos cuando la altura,  $(d)$ , de la columna sea mayor de 3 veces el espesor  $(t)$  del elemento más delgado.

#### G.4.4 — APLASTAMIENTO DE ELEMENTOS A COMPRESIÓN

Los esfuerzos de compresión actuantes paralelos al grano ( $f_c$ ), que se desarrollan en los extremos de los elementos comprimidos, se deben basar en el área neta de soporte y no deben exceder al esfuerzo de referencia para diseño a compresión paralela al grano,  $F_c$ , afectado por los coeficientes de modificación aplicables excepto  $C_p$ .

#### G.4.5 — ACORTAMIENTO DE ELEMENTOS A COMPRESIÓN ( $\Delta_{dc}$ )

Los elementos a compresión axial, están sujetos a sufrir un acortamiento en su sentido longitudinal el cual será calculado con la siguiente fórmula.

$$\Delta_{dc} = \frac{P \ell_u}{A_n E'_{0.5}} \quad (\text{G.4.5-1})$$

En donde:

- $\Delta_{dc}$  = acortamiento en el sentido paralelo a las fibras, en mm.
- $P$  = carga axial actuante en N.
- $\ell_u$  = longitud no soportada de la columna en mm.
- $A_n$  = área neta de la sección de la columna en  $\text{mm}^2$
- $E'_{0.5}$  = módulo de elasticidad  $E_{0.5}$  modificado paralelo a las fibras en MPa.

Adicionalmente en cada junta de conexión horizontal y en cada junta diagonal, se asumirá para el computó de asentamiento un valor  $J = 1.6 \text{ mm}$ , para trabajos normales de carpintería y  $J = 0.8 \text{ mm}$  para trabajos cuidadosos, véase RG.28.

#### G.4.6 — MADERA DE SECCIÓN CIRCULAR (ROLLIZA). ESPECIFICACIONES ADICIONALES

Las siguientes especificaciones adicionales son aplicables a elementos de sección circular tales como postes, pilotes o componentes de estructura, que hayan sufrido el proceso mecánico de descortezado únicamente.

**G.4.6.1 — Escogencia de esfuerzos de diseño** — Para el diseño se deberán determinar las condiciones de humedad de fabricación y uso, de acuerdo con la tabla G.4.6-1.

**Tabla G.4.6-1**  
Consideraciones para escogencia de esfuerzos admisibles, módulos de elasticidad  
Y dimensiones de la sección circular.

CH% Fabricación e instalación	CH% En servicio	Estado de esfuerzos y módulo de elasticidad a usar	Condición para diseño de uniones	Dimensionamiento de la sección
CH > 19%	CH > 19%	CH > 19%	CH > 19%	CH > 19%
CH > 19%	CH < 19%	CH > 19%	CH > 19%	CH > 19%
CH < 19%	CH < 19%	CH < 19%	CH < 19%	CH < 19%
CH < 19%	CH > 19%	E CH > 19%	CH > 19%	CH < 19%
		Fi CH < 19%		

CH > 19% Húmedo ; CH < 19% Seco

#### G.4.6.2 — FACTORES DE MODIFICACION

**G.4.6.2.1 — Por duración de la carga ( $C_p$ )** — Según G.2.2.3. Factores superiores a 1.6 no se aplicarán a elementos que hayan sido sometidos a tratamientos de preservación que impliquen presión y vacío, o a tratamientos contra incendio, con retardantes químicos.

**G.4.6.2.2 — Por preservación ( $C_{pv}$ )** — Cuando el elemento haya sido sujeto a tratamiento de inmunización que implique presión y vacío, sus esfuerzos deberán ser reducibles, según la tabla G.4.6.2-1. Aplicable únicamente al eucaliptos lobulus.

**Tabla G.4.6.2-1**  
Coeficiente por tratamiento de preservación  $C_{pv}$

Esfuerzos Admisibles	Valor $C_{pv}$
Flexión $F_b$	0.90
Compresión paralela $F_C$	0.90
Compresión perpendicular $F_p$	0.90
Corte $F_v$	0.90
Tensión paralela $F_t$	0.90
Módulo de elasticidad $E_{0.05}$	0.90

**G.4.6.2.3 — Por desbastamiento o alisadura ( $C_{kd}$ )** — si el elemento de madera es desbastado mediante proceso mecánico para obtener forma cilíndrica o cónica, los valores de esfuerzos se deberán multiplicar por los valores de la tabla G.4.6.2-2.

**Tabla G.4.6.2-2**  
Coeficientes de modificación por desbastamiento  $C_{kd}$

Parámetros de resistencia	$C_{kd}$
Flexión $F_b$	0.95
Compresión paralela $F_C$	0.95
Compresión perpendicular $F_p$	1.00
Corte $F_v$	1.00
Tensión paralela $F_t$	0.95
Módulo de elasticidad paralelo $E$	1.00

**G.4.6.2.4 — Por humedad ( $C_m$ )** — Cuando los elementos sean utilizados en estado húmedo  $CH > 19\%$  los valores de esfuerzos se deberán multiplicar por los valores de la tabla G.4.6.2-3.

**Tabla G.4.6.2-3**  
**Coeficientes de modificación por uso en estado húmedo, C.H. > 19%**

Parámetros de resistencia	$C_m$
Flexión $F_b$	0.75
Compresión paralela $F_C$	0.70
Compresión perpendicular $F_p$	0.80
Corte $F_v$	0.80
Tensión paralela $F_t$	0.75
Módulo de elasticidad $E$	0.80

**G.4.6.2.5 — Por estabilidad lateral  $C_L$**  — En secciones circulares, el coeficiente de estabilidad lateral  $C_L = 1$  y  $C_p$  se calculará según G.4.3.5.

El momento máximo para postes empotrados se deberá considerar así:

- (a) en terreno compactado: a 0.25 de la profundidad de empotramiento bajo la línea de tierra
- (b) en concreto: a raz con la superficie superior del concreto línea de tierra

**G.4.6.2.6 — Requisitos para esfuerzos de compresión paralela** — se deberán cumplir las siguientes condiciones:

$$\text{a) } f_c = \frac{P}{A_{ne}} \leq F'_c \quad (\text{G.4.6.2-1})$$

En donde:

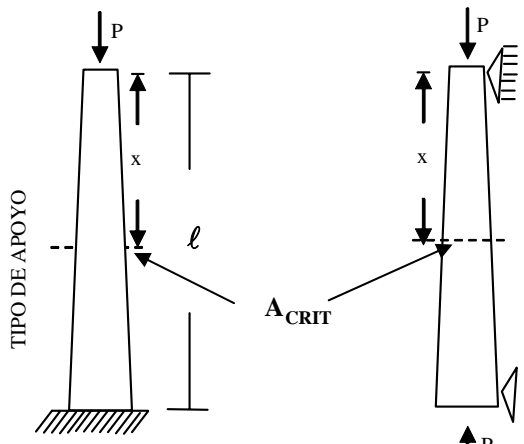
- $f_c$  = esfuerzo actuante de compresión paralelo a las fibras en el extremo superior del poste, en MPa
- $P$  = carga de compresión axial actuante aplicada al poste, en N
- $A_{ne}$  = área neta en el extremo superior del poste, en  $\text{mm}^2$ .
- $F'_c$  = esfuerzo admisible modificado de compresión paralela a las fibras, sin incluir  $C_p$ , en MPa

$$\text{(b) } f_c = \frac{P}{A_{CRIT}} \leq F'_c \quad (\text{G.4.6.2-2})$$

En donde:

- $A_{CRIT}$  = Área en la sección transversal crítica. Si el poste tiene inercia constante, corresponde a su sección, si tiene inercia variable,  $A_{CRIT}$  corresponderá al área en la sección transversal indicada en los valores de la tabla G.4.6.2-4.
- $F'_c$  = esfuerzo admisible modificado de compresión paralela al grano, incluyendo  $C_p$ , en MPa

Tabla G.4.6.2-4  
Ubicación de la sección crítica

Tipo sección variable			Tipo sección constante
 <p>TIPO DE APOYO</p> <p><math>X = 0.6\ell</math></p> <p><math>X = 0.43\ell</math></p> <p><math>X = 0.33\ell</math></p> <p><math>A_{CRIT}</math></p> <p>Otra condición</p>			
			Cualquiera
			X, Determinada mediante análisis estructural

**G.4.6.2.7 — Por área de apoyo  $C_b$**  — Los valores de esfuerzos admisibles a compresión perpendicular para madera redonda, postes y pilotes deberán ser afectados por el factor de área,  $C_b$ , especificados en la tabla G.4.6.2-5.

**G.4.6.2-8 — Por forma  $C_F$**  — Cuando el elemento estructural, poste o pilote exceda en diámetro  $D > 34$  mm, el valor,  $F_b$ , será multiplicado por el factor de altura  $C_d$ , establecido según la siguiente fórmula:

$$C_d = \left(\frac{340}{D}\right)^{1/9}$$

(G.4.6.2-5)

En donde:

- $C_d$
- =
- coeficiente de modificación por altura
- $D$
- =
- diámetro de la sección transversal, en mm

Tabla G.4.6.2-5

Coefficientes de modificación para madera rolliza seleccionada visualmente.

<div>Coeficientes</div> <div>Parámetros de resistencia</div>	C <sub>D</sub> Duración de carga					C <sub>t</sub> Temperatura °C					C <sub>F</sub>	C <sub>p</sub>	C <sub>b</sub>	C <sub>kd</sub>	C <sub>m</sub> > 19%
	Permanente	2 meses	7 Días	Viento y Sismo	Impacto	t < 37.8	37.8<t <51.7		51.7<t<65						
							CH > 19	CH < 19	CH > 19	CH < 19					
F' <sub>b</sub> = F <sub>b</sub> x	.90	1.15	1.25	1.6	2.0	1	0.7	0.8	0.5	0.7	G.4.6.2.8	-	-	0.95	0.75
F' <sub>t</sub> = F <sub>t</sub> x	.90	1.15	1.25	1.6	2.0	1	0.9	0.9	0.9	0.9	-	-	-	0.95	0.75
F' <sub>v</sub> = F <sub>v</sub> x	.90	1.15	1.25	1.6	2.0	1	0.7	0.8	0.5	0.7	-	-	-	1.00	0.80
F' <sub>c</sub> = F <sub>c</sub> x	.90	1.15	1.25	1.6	2.0	1	0.7	0.8	0.5	0.7	-	G.4.3.5	-	0.95	0.70
F' <sub>p</sub> = F <sub>p</sub> x	-	-	-	-	-	1	0.7	0.8	0.5	0.7	-	-	Tabla G.3.5.1	1.00	0.80
E' <sub>0.5</sub> = E <sub>0.5</sub> x	-	-	-	-	-	1	0.9	0.9	0.9	0.9	-	-	-	1.00	0.80
E' <sub>0.05</sub> = E <sub>0.05</sub> x	-	-	-	-	-	1	0.9	0.9	0.9	0.9	-	-	-	1.00	0.80
E' <sub>min</sub> = E <sub>min</sub> x	-	-	-	-	-	1	0.9	0.9	0.9	0.9	-	-	-	1.00	0.80



## CAPÍTULO G.5

### DISEÑO DE ELEMENTOS SOLICITADOS POR FLEXIÓN Y CARGA AXIAL

#### G.5.1 — ELEMENTOS SOMETIDOS A ESFUERZOS COMBINADOS DE FLEXIÓN Y TENSIÓN

Los elementos sometidos simultáneamente a flexión y tensión axial, serán diseñados de modo que cumplan con las siguientes fórmulas:

$$\frac{f_t}{F'_t} + \frac{f_b}{F_b^*} \leq 1.0 \quad (\text{G.5.1-1})$$

$$\frac{f_b - f_t}{F_b^{**}} \leq 1.0 \quad (\text{G.5.1-2})$$

en donde:

- $f_b$  = esfuerzo actuante de flexión paralela al grano, según cálculo en MPa
- $f_t$  = esfuerzo actuante de tensión paralela al grano según cálculo, en MPa
- $F'_t$  = esfuerzo admisible modificado de tensión paralela al grano en MPa
- $F_b^*$  = esfuerzo admisible de flexión ( $F_b$ ), multiplicado por todos los factores de modificación, excepto  $C_L$ , en MPa
- $F_b^{**}$  = esfuerzo admisible de flexión ( $F_b$ ), multiplicado por todos los factores de ajuste excepto ( $C_v$ ), que es un factor de ajuste para madera laminada
- $F_b^{**}$  =  $F'_b$  para madera aserrada, en MPa

Si se llegare a presentar tensión y flexión biaxial, los elementos deben cumplir las siguientes fórmulas:

$$\frac{f_t}{F'_t} + \frac{f_{b1}}{F_{b1}^*} + \frac{f_{b2}}{F_{b2}^*} \leq 1.0 \quad (\text{G.5.1-3})$$

$$\frac{f_{b1} - f_t}{F_{b1}^{**}} \leq 1.0 \quad (\text{G.5.1-4})$$

$$\frac{f_{b2} - f_t}{F_{b2}^{**}} \leq 1.0 \quad (\text{G.5.1-5})$$

En donde los subíndices indican los ejes sobre los cuales se produce la flexión y en este caso el chequeo al pandeo se efectuará separadamente

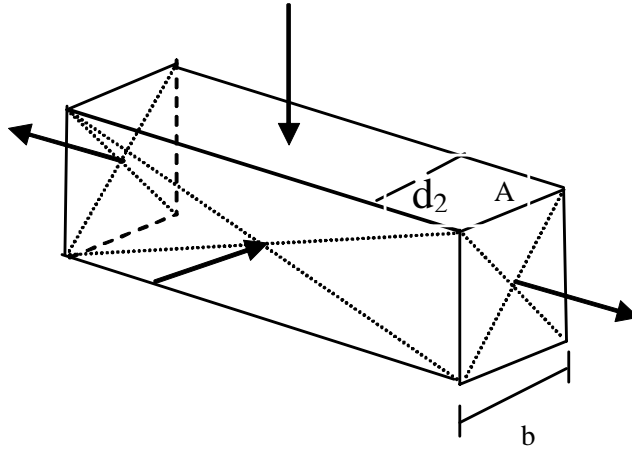


Figura G.5.1-1 — Flexión combinada y tensión axial

## G.5.2 — ELEMENTOS SOMETIDOS A CARGAS COMBINADAS DE FLEXIÓN Y COMPRESIÓN

**G.5.2.1** — Los elementos sujetos a una combinación de flexión axial o biaxial alrededor de los ejes principales y carga axial de compresión, deberán cumplir con la siguiente formulación:

$$\left(\frac{f_c}{F'_c}\right)^2 + \frac{f_{b1}}{F'_{b1}\left(1 - (f_c/F_{cE1})\right)} + \frac{f_{b2}}{F'_{b2}\left(1 - (f_c/F_{cE2}) - (f_{b1}/F_{bE})^2\right)} \leq 1 \quad (\text{G 5.2.1})$$

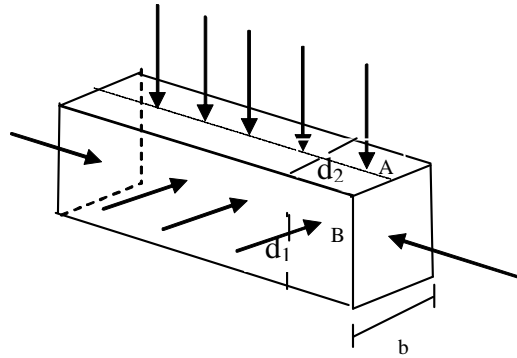


Figura G.5.2-1 — Flexión combinada y compresión axial

en donde:

$$f_c < F_{cE1} = \frac{0.822E'_{\min}}{(\ell_{e1}/d_1)^2} \quad \text{Para flexión axial con carga en la cara angosta o flexión biaxial} \quad (\text{G.5.2-2})$$

$$f_c < F_{cE2} = \frac{0.822E'_{\min}}{(\ell_{e2}/d_2)^2} \quad \text{Para flexión uniaxial con carga en la cara ancha o flexión biaxial} \quad (\text{G.5.2-3})$$

$$f_{b1} < F_{bE} = \frac{1.20E'_{\min}}{R_B^2} \quad \text{Para flexión biaxial} \quad (\text{G.5.2-4})$$

- $f_c$  = esfuerzo actuante por compresión axial paralela a las fibras, en MPa
- $f_{b1}$  = esfuerzo de flexión actuante por carga colocada en la cara angosta (A) del miembro, en MPa
- $f_{b2}$  = esfuerzo de flexión actuante por carga colocada en la cara ancha (B) del miembro, en MPa

- $\ell_{e1}$  = longitud efectiva 1  
 $d_1$  = dimensión de la cara ancha altura (d) en mm  
 $\ell_{e2}$  = longitud efectiva 2  
 $d_2$  = dimensión de la cara angosta b, en mm  
 $R_B$  = relación de esbeltez del elemento, como viga

## **Notas**

## CAPÍTULO G.6

### UNIONES

#### G.6.1 — ALCANCE

Las prescripciones de este Capítulo se refieren a uniones clavadas, apernadas y hechas con tornillos tirafondos y tornillos golosos, grapas, planchas de acero y conectores de anillos partidos. Se aceptan otro tipo de uniones siempre y cuando los fabricantes y constructores cumplan con las normas aceptadas internacionalmente, mientras se establecen las correspondientes normas nacionales.

#### G.6.2 — DEFINICIONES

**G.6.2.1 — ELEMENTOS MECÁNICOS DE UNIÓN** — Son aquellos que al quedar solicitados a esfuerzos cortantes, admiten desplazamientos relativos entre las piezas contactadas, que se originan por las deformaciones por aplastamiento que sufre la madera en la zona de contacto entre la madera y el medio de unión y adicionalmente, como en el caso de medios cilíndricos, por las deformaciones por flexión de los medios cilíndricos. Dependiendo de su posición en la unión, los elementos mecánicos pueden quedar solicitados en dirección axial.

**G.6.2.2 — PIEZA SOLICITANTE** — Pieza de la unión que presenta la menor desviación, entre la dirección de la fuerza transmitida y la dirección de la fibra.

**G.6.2.3 — PIEZA SOLICITADA** — Pieza de la unión que presenta la mayor desviación, entre la fuerza transmitida y la dirección de la fibra.

**G.6.2.4 — BORDE CARGADO** — Borde de la pieza que se encuentra afectado por la acción de la fuerza que transmite el medio de unión o por alguno de los componentes de esta fuerza, paralela o normal a la dirección de la fibra.

**G.6.2.5 — BORDE DESCARGADO** — Borde que no corresponde a la anterior definición,

**G.6.2.6 — ESPACIAMIENTOS** — Se refiere a la distancia entre medios de unión, medida lo largo del grano ( $S_p$ ), o en dirección normal ( $S_n$ ), o entre un medio de unión y un borde cargado ( $S_{bcp}$ ), o entre un medio de unión y un borde cargado medido en dirección normal a la fibra ( $S_{bdp}$ ), o entre un medio de unión y un borde descargado, en dirección normal a la fibra ( $S_{bdn}$ ).

#### G.6.3 — ESFUERZOS DE CORTANTE

En uniones solicitadas por fuerzas de cortante tales como pernos, tornillos pasantes, tornillos tirafondos o conectores de placa, se debe verificar que los esfuerzos de cortante inducidos en la madera por las fuerzas de corte  $V$ , no excedan los valores indicados.

- (a) En uniones separadas del extremo de la pieza por una distancia superior o igual a 5 veces la altura de la misma

$$f_v = \frac{3V'_r}{2bd_e} \leq F'_v \quad (G.6.3-1)$$

- (b) En uniones separadas del extremo de la pieza por una distancia menor 5 veces la altura de la misma

$$f_v = \frac{3V'_r}{2bd_e} \left( \frac{d}{d_e} \right)^2 \leq F'_v \quad (G.6.3-2)$$

Los esfuerzos anteriores se deducen de las fórmulas G.3.4-6 y G.3.4-7.  $d_e$  corresponde a la distancia definida en G.3.4.4.5, según el medio de unión, figura G.3.4-4.

**G.6.3.1 — ESFUERZOS DE CORTANTE EN LA SECCIÓN BRUTA** — Adicionalmente se debe verificar el cortante en la sección transversal bruta de acuerdo a la siguiente formula.

$$f_v = \frac{3V_r}{2bd} \leq F'_v \quad (\text{G.6.3-3})$$

**G.6.3.2 — UNIONES EXCÉNTRICAS** — Se procurará en lo posible disponer de los medios de unión, simétricamente con respecto al eje de las piezas, pero si ello no es posible, se deberá verificar la combinación de esfuerzos principales debido a las solicitaciones que reciben las barras y los esfuerzos secundarios debido al momento que genera la excentricidad, de forma tal que no se sobrepasen los valores de diseño admisibles, tanto en la madera como en los medios de unión.

## G.6.4 — DISEÑO DE PARTES METÁLICAS

Las planchas metálicas, herrajes, anclajes y en general todas las partes metálicas se deben diseñar de acuerdo con el Título F - Estructuras Metálicas, debiéndose revisar los esfuerzos de flexión, tensión, cortante y aplastamiento.

**G.6.4.1 — PROTECCIÓN ANTICORROSIVA DE ELEMENTOS METÁLICOS** — Todos los elementos de unión requieren de adecuada protección anticorrosiva cuya intensidad depende del medio ambiente al que quedan expuestos dichos elementos y relativo al macro clima según tabla G.6.4-1, y al micro clima del entorno propio de la construcción, incluida el contenido de humedad de la madera CH%.

**Tabla G.6.4-1**  
**Medio Ambiente y Promedio de Corrosión Anual en micras de galvanización um/año**

Humedad relativa media	Medio ambiente ataque tipo	Características	Promedio de corrosión anual um/año
>70 %	1. Industrial - Tipo 1	Atmosfera severamente contaminada con dióxido de azufre y otras sustancias corrosivas	5.6
>70 %	2. Urbano no industrial o Marino - Tipo 2	Atmosfera de ciudad densamente pobladas contaminadas con dióxido de azufre y otros.	1.5
>70%	3. Sub –urbano - Tipo 3	Atmosfera de suburbios menormente poblado con menor grado de contaminación	1.3
<70 %	4. Rural - Tipo 4	Atmosfera propia de estas áreas carentes de contaminación	0.8
<70 %	5. Interiores - Tipo 5	Atmósferas con reducida contaminación	0.5

NOTA: 1 um  $\approx$  5.75 gramos /m<sup>2</sup>

**G.6.4.2 — PARAMETROS DE PROTECCION ANTICORROSIVA** — Teniendo en cuenta la tabla G.6.4-1 se determinan los parámetros de protección anticorrosivos mínimos a utilizar para medios de unión, según la tabla G.6.4-2, cuyos valores pueden ser cambiados, de acuerdo a las circunstancias propias de uso y al tiempo promedio de protección que se desee brindar.

**Tabla G.6.4-2**  
**Parámetros mínimos de protección anticorrosiva para medios de unión.**

Tipo de medio	Localización atmosférica		
	Exposición a la intemperie y humedad relativa media >70%, construcciones cubiertas sometidas a ataques corrosivos, tipo (1)	Exposición bajo cubierta y ataque corrosivo mediano, humedad relativa media >70% tipo (2 y 3)	Exposición bajo cubierta y humedad relativa media <70 % expuesta a ataques corrosivos leves tipo (4 y 5)
Mínimo recubrimiento de zinc en gr/m <sup>2</sup>			
Conectores, pernos barras, clavos, tornillos, tuercas	400	Anticorrosivo, ó, 50	Anticorrosivo, ó, 50
Grapas	Acero inoxidable	Acero inoxidable	50
Placas de acero $e \leq 3\text{mm}$	Acero inoxidable, ó, 400	275	275
Placas de acero $3 \leq e \leq 5\text{mm}$	Acero inoxidable, ó, 600	400	100
Placas dentadas	Acero inoxidable, ó, 600	350	275
Colectores unilaterales	400	400	400
Clavos y tornillos con planchas de acero externas		50	50

### **G.6.5 — UNIONES DE PIEZAS DE MADERA CON ELEMENTOS DE CONCRETO O LADRILLO**

Cuando la capacidad de una unión esté condicionada, por la resistencia del concreto  $f'_c = 21$  MPa mínimo, o del ladrillo, la resistencia de esos materiales, se deducirán en los capítulos correspondientes del presente Reglamento.

### **G.6.6 — MODIFICACIONES DE LAS CAPACIDADES DE CARGA DE ELEMENTOS DE UNION**

**G.6.6.1 — POR DURACIÓN DE LA CARGA  $C_D$**  — Los valores de referencia serán multiplicados por los factores especificados en G.2.2.3, excepto para cargas de impacto, que no aplica. Tampoco aplica este coeficiente cuando la capacidad de las conexiones está controlada por la resistencia de elementos metálicos, de concreto o mampostería.

**G.6.6.2 — POR CONTENIDO DE HUMEDAD  $C_m$**  — Los valores de referencia se refieren a contenidos de humedad  $CH \leq 19\%$ , es decir en condición seca. Cuando las condiciones sean de  $CH > 19\%$  o cuando las conexiones son expuestas a condiciones de uso húmedo, los valores serán multiplicados por los valores especificados en la tabla G.6.6-1.

**Tabla G.6.6-1**  
**Coeficientes de modificación por contenido de humedad ( $C_m$ )**

Medio de unión	Condiciones de la madera		Coeficiente de modificación C <sub>m</sub>
	Tiempo de fabricación	Tiempo de servicio	
	cargas laterales		
Pernos tirafondos, pasantes, Clavos	≤ 19 %	≤ 19%	1.00
	>19%	≤19%	0.40*
	cualquiera	>19%	0.70
Placas metálicas dentadas	≤ 19 %	≤ 19 %	1.00
	>19%	≤19%	0.80
	cualquiera	>19%	0.70
Conectores**	≤ 19 %	≤ 19 %	1.00
	>19%	≤19%	0.80
	cualquiera	>19%	0.70
	Cargas de extracción		
Tirafondos y tornillos	cualquiera	≤19%	1.00
	cualquiera	>19%	0.70
Clavos	≤ 19 %	≤ 19 %	1.00
	>19%	≤19%	0.25
	≤19%	>19%	0.25
	>19%	>19%	1.00

\*  $C_m = 0.7$  para medios de unión con  $d < 6.35$  mm (1/4")

\*  $C_m = 1.0$  para un único medio de unión, o dos o más medios dispuestos en una única hilera paralela al dirección del grano, o medios de unión dispuestos en dos o más hileras paralelas a la fibra, con cubrejuntas metálicas individuales para cada hilera.

\*\* = En uniones con conectores, la restricción de humedad aplica hasta una profundidad de 20 mm de la superficie.

**G.6.6.3 — POR TEMPERATURA  $C_t$**  — Cuando los medios de unión quedan expuestos, durante periodos prolongados a temperaturas hasta de  $65^\circ\text{C}$ , los valores admisibles serán modificados de acuerdo a la tabla G.6.6-2.

**TABLA G.6.6-2**  
**Coeficiente de modificación por temperatura  $C_t$**

Condiciones de servicio CH %	Temperatura $^\circ\text{C}$		
	$T \leq 37.8^\circ\text{C}$	$37.8 < T \leq 51.7^\circ\text{C}$	$51.7 < T \leq 65^\circ\text{C}$
CH $\leq 19\%$	1.00	0.80	0.70
CH $> 19\%$	1.00	0.70	0.50

\* Madera no secada, o parcialmente secada o uniones expuestas a condiciones de servicio húmedo.

## G.6.7 — UNIONES CLAVADAS

**G.6.7.1 — ESPECIFICACIONES** — Estas disposiciones son aplicables a uniones clavadas de dos o más elementos de madera estructural. Las uniones clavadas se reservan para solicitaciones relativamente bajas; su límite de utilización está determinado por el requerimiento de un número excesivo de clavos, incompatible con el tamaño de la unión y con la posibilidad de generar rajaduras en la madera debido a su cercanía. El diseñador deberá especificar la calidad del acero de los clavos  $F_y$  y deberá indicar el tipo de tratamiento anticorrosivo que deben tener los clavos de acuerdo con la tabla G.6.4-2.

Las cargas admisibles tabuladas en la tabla G.6.9-1, son para clavos comunes de alambre de acero, de sección circular, caña lisa y punta de diamante. Estos valores también podrán utilizarse para clavos de mayor resistencia o con otro tipo de acabado; el diseñador deberá especificar el  $f_y$ , de los clavos que se requieren en el diseño.



**G.6.7.2** — En uniones con clavos solicitados en extracción lateral se deberán colocar al menos cuatro clavos en cada uno de los planos de cortante que se presentan en una unión clavada de dos o más piezas de madera, exigencia que no rige para revestimientos, entablados y contravientos.

**G.6.7.3** — Las maderas que presenten dificultades al clavado deben taladrarse previamente con una broca cuyo diámetro sea 0.75 veces el diámetro del clavo en maderas con densidad básica  $< 600 \text{ kg/m}^3$  y con diámetro 0.90 del diámetro del clavo en madera con Densidad Básica  $> 600 \text{ kg/m}^3$ . El pretaladrado se deberá ejecutar en la pieza que contiene la cabeza del clavo.

**G.6.7.4** — El espesor mínimo de las piezas, será de  $7d$  en uniones sin pretaladro y  $6d$  con pretaladro y con espesor mínimo de 18 mm en clavado directo y 16 mm en uniones con pretaladro.

**G.6.7.5** — La perforación guía deberá efectuarse con broca de  $0.8 d$  del clavo, respetando la penetración mínima establecida en cuyo caso se podrá incrementar en 20% la capacidad admisible de carga del clavo.

**G.6.7.6** — Si la penetración  $p < 12d$  en uniones de cortante simple o  $p < 8d$  en uniones de cortante múltiple, la capacidad admisible de carga será reducida según el factor de modificación  $C_{p1}$ .

$$C_{p1} = \frac{p}{12d} \text{ Para uniones de cortante simple} \quad (\text{G.6.7-1})$$

$$C_{p1} = \frac{p}{8d} \text{ Para uniones de cortante múltiple} \quad (\text{G.6.7-2})$$

Y no serán aceptables penetraciones efectivas inferiores a  $p = 6d$ , en uniones de cortante simple, o,  $p = 4d$ , en uniones de cortante múltiple.

**G.6.7.7** — en uniones de cortante múltiple la capacidad admisible  $P_{em}$ , de cada clavo, será calculada por la siguiente fórmula:

$$P_{em} = (m - 0.25) P_{es} \quad (\text{G.6.7-3})$$

En donde:

$P_{em}$  = capacidad de carga de un clavo en uniones de cortante múltiple, en N

$P_{es}$  = capacidad de carga de un clavo en uniones de cortante simple en N

$m$  = número de planos de cortante que atraviesa el clavo

**G.6.7.8** — En uniones de cortante múltiple el clavado se deberá ejecutar desde ambos lados y será preferible que lo mismo se hiciera en cortante simple.

**G.6.7.9** — En hileras de más de 10 clavos la capacidad por clavo se reducirá en el 33%, después de 10 clavos y se considerará un máximo de 30 clavos por hilera ( $C_{ag}$ ).

**G.6.7.10** — En uniones de tablas con elementos de sección transversal circular, la capacidad admisible de los clavos será reducida en el 33% y no serán aceptables las uniones clavadas entre piezas de sección circular.

**G.6.7.11** — En uniones clavadas de tableros contrachapados fenólicos de al menos 4 chapas, el espesor será,  $t \geq 4d$ .

**G.6.7.12** — En uniones clavadas de tableros tipo formaleta el espesor del tablero será  $t \geq 6d$ , cuidando de dejar el clavo a ras con la superficie del tablero.

**G.6.7.13** — La distribución del clavado deberá respetar lo estipulado en la tabla G.6.7-1.

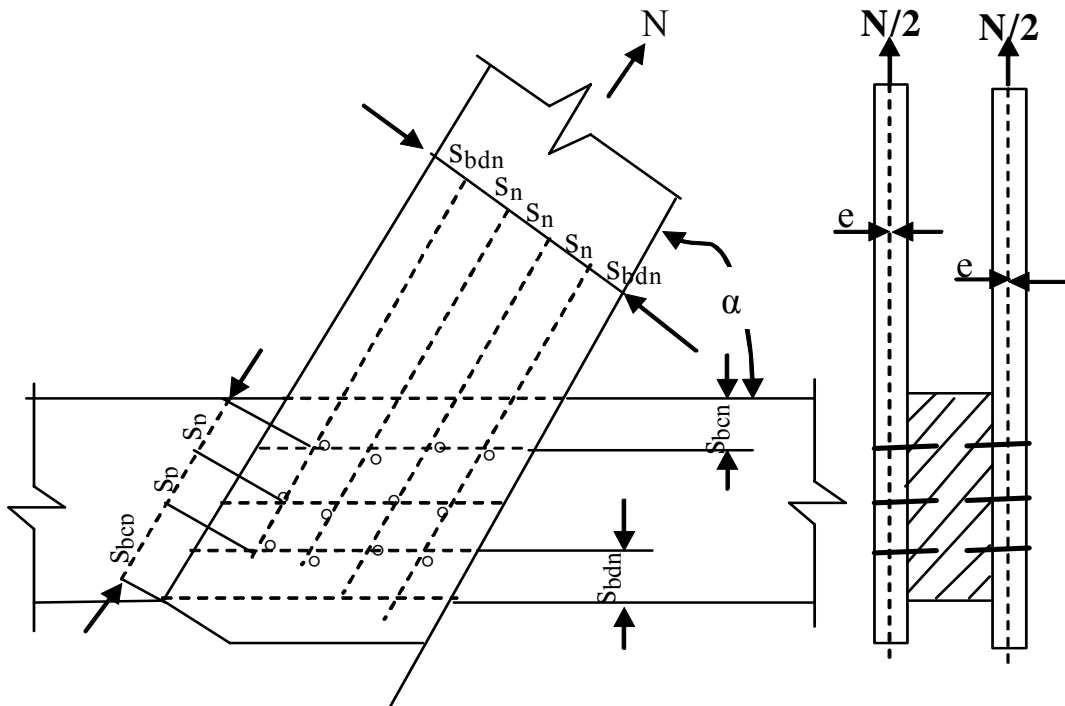
**Tabla G.6.7-1**  
**Espaciamientos mínimos en uniones clavadas**

Cizallamiento simple con pretaladrado o cizallamiento doble simétrico			
Elementos cargados paralelamente al grano	A lo largo del grano	Espaciamiento entre clavos	11 d
		Distancia al extremo	16 d
	Perpendicular a la dirección del grano	Espaciamiento entre líneas de clavos	6 d
		Distancia a los bordes	5 d
Elementos cargados perpendicularmente al grano	A lo largo del grano	Espaciamiento entre clavos	11 d
	Perpendicular a la dirección del grano	Espaciamiento entre líneas de clavos	6 d
		Distancia al borde cargado	10 d
		Distancia al borde no cargado	5 d
Cizallamiento simple o cizallamiento doble clavado desde un solo lado			
Elementos cargados paralelamente al grano	A lo largo del grano	Espaciamiento entre clavos	16 d
		Distancia al extremo	20 d
	Perpendicular a la dirección del grano	Espaciamiento entre líneas de clavos	8 d
		Distancia a los bordes	5 d
Elementos cargados perpendicularmente al grano	A lo largo del grano	Espaciamiento entre clavos	16 d
	Perpendicular a la dirección del grano	Espaciamiento entre líneas de clavos	8 d
		Distancia al borde cargado	10 d
		Distancia al borde no cargado	5 d

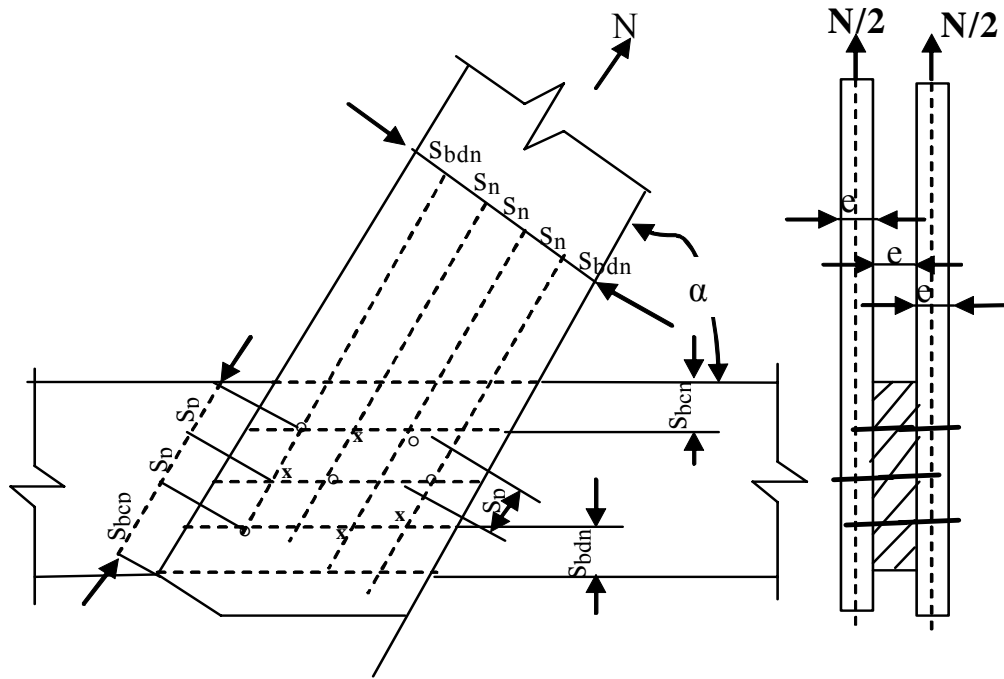
**d** = diámetro del clavo

**G.6.7.14** — En uniones resistentes a flexión, rigen los valores de la tabla G.6.7-1, considerando únicamente la dirección de la fibra y todos los bordes cargados.

**G.6.7.15** — En general los clavos se deben alternar de acuerdo a la figura G.6.7-1, desplazándolos en un diámetro de clavo con respecto al gramil de clavado.



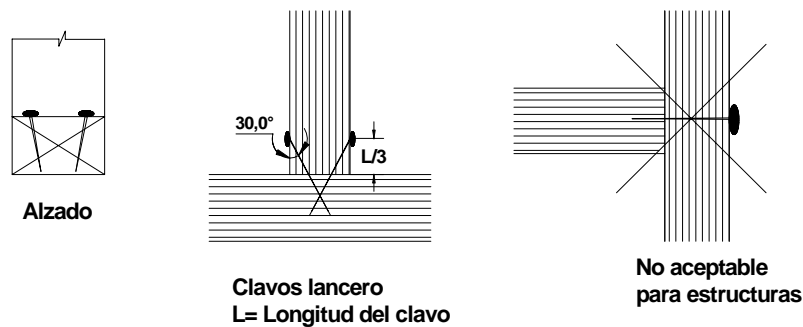
**Figura G.6.7-1 A – Espaciamiento de clavos para cortante simple**



**Figura G.6.7-1 B – Espaciamiento de clavos para cortante doble**

**G.6.7.16** — El espaciamiento máximo entre clavos no debe ser mayor de **40d** en la dirección paralela a la fibra, ni **20d**, en la dirección perpendicular a la fibra.

**G.6.7.17** — Los clavos lanceros se deberán colocar aproximadamente a **30°** con vertical y a una distancia de  $\ell/3$  del extremo de la pieza.



**Figura G.6.7-2 — Disposición de clavos lanceros**

## G.6.8 — CAPACIDAD DE UNIONES CLAVADAS

La capacidad de las uniones clavadas dependerá de la densidad de la madera, del contenido de humedad de la misma, del diámetro, longitud y superficie del clavo, del número y disposición del grupo de clavos y de la longitud de penetración. La carga admisible en una unión clavada podrá determinarse como la suma de las cargas admisibles para cada clavo considerado aisladamente, siempre y cuando se satisfagan los requisitos de espaciamiento, el centroide del grupo de clavos esté localizado, aproximadamente, sobre la línea de acción de la fuerza aplicada y se cumpla la penetración mínima de estas especificaciones.

**G.6.8.1** — Los valores de la tabla G.6.9-1, son aplicables a uniones en cizallamiento simple de elementos que formen cualquier ángulo. La carga admisible para un clavo sometido a cizallamiento doble se multiplicarán por 1.80 los valores de cizallamiento simple.

## G.6.9 — CARGAS ADMISIBLES EN UNION DE CORTANTE SIMPLE

**G.6.9.1** — Las cargas laterales admisibles de la tabla G.6.9-1 se refieren a uniones construidas con madera seca ( $CH \leq 19\%$ ). En uniones construidas con maderas húmedas cuyo contenido de humedad sea superior a 19%, y en las cuales haya certeza de que permanecerán en tal condición, las cargas laterales admisibles podrán ser multiplicadas por 0.70.

**G.6.9.2** — La carga lateral admisible para clavos lanceros podrá tomarse como (0.83), de los valores de la tabla G.6.9-1.

**Tabla G.6.9-1**  
**Carga admisible en unión de cortante simple, en N, ( $CH \leq 19\%$ )**

Longitud		d	Carga admisible en, N			$\ell/d$	Penetraciones mínimas						
							5d	6d	8d	10d	11d	16d	20d
mm	Pulg.	(mm)	DB > 0.70	DB > 0.56 DB < 0.70	DB > 0.4 DB < 0.56		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
31.75	1 1/4	1.83	300	236	161	17.3	9.2	11.0	14.6	18.3	20.1	29.3	36.6
38.10	1 1/2	2.1	368	289	201	18.1	10.5	12.6	16.8	21.0	23.1	33.6	42.0
50.80	2	2.77	536	420	299	18.3	13.9	16.6	22.2	27.7	30.5	44.3	55.4
63.50	2 1/2	3.05	608	475	339	20.8	15.3	18.3	24.4	30.5	33.6	48.8	61.0
76.20	3	3.76	786	615	443	20.3	18.8	22.6	30.1	37.6	41.4	60.2	75.2
88.90	3 1/2	4.19	895	699	504	21.2	21.0	25.1	33.5	41.9	46.1	67.0	83.8
101.60	4	5.16	1140	889	645	19.7	25.8	31.0	41.3	51.6	56.8	82.6	103.2
127.00	5	5.59	1249	974	708	22.7	28.0	33.5	44.7	55.9	61.5	89.4	111.8
152.40	6	6.05	1365	1064	774	25.2	30.3	36.3	48.4	60.5	66.6	96.8	121.0
177.80	7	7.21	1657	1291	943	24.7	36.1	43.3	57.7	72.1	79.3	115.4	144.2
203.20	8	7.21	1658	1291	943	28.2	36.1	43.3	57.7	72.1	79.3	115.4	144.2

## G.6.10 — UNIONES CLAVADAS CON PLATINAS DE ACERO

**G.6.10.1** — Las platinas de acero deberán tener el tratamiento anticorrosivo indicado en la tabla G.6.4-2 y deberán tener un espesor mínimo de 2 mm .El diseñador indicará la calidad del acero  $f_y$  , y efectuará el diseño para flexión, cortante y aplastamiento de acuerdo a las provisiones del Título F - Estructuras Metálicas. Por el uso de platinas o láminas metálicas, los valores tabulados se incrementan en  $C_{pL} = 25\%$  .

## G.6.11 — CAPACIDAD ADMISIBLE MODIFICADA

La capacidad admisible modificada a cortante de un clavo será la dada por la siguiente fórmula:

$$P_{adm} = P_{es} C_D C_m C_t C_p C_{ag} C_f C_{pre} C_{pL} \quad (G.6.11-1)$$

En donde

- $P_{adm}$  = capacidad a cortante admisible modificada, en N
- $P_{es}$  = capacidad a cortante simple admisible, Tabla G.6.9-1, en N. Para doble cizallamiento multiplicar por 1.75.
- $C_D$  = coeficiente de duración de la carga
- $C_m$  = coeficiente de contenido de humedad
- $C_t$  = coeficiente de temperatura
- $C_p$  = coeficiente de penetración del clavo,  $p$

- $C_{ag}$  = coeficiente por acción de grupo en hilera.  
 $C_f$  = coeficiente por forma de colocación.  
 $C_{pre}$  = coeficiente por pretaladrado  
 $C_{pL}$  = coeficiente por uso de platinas laterales

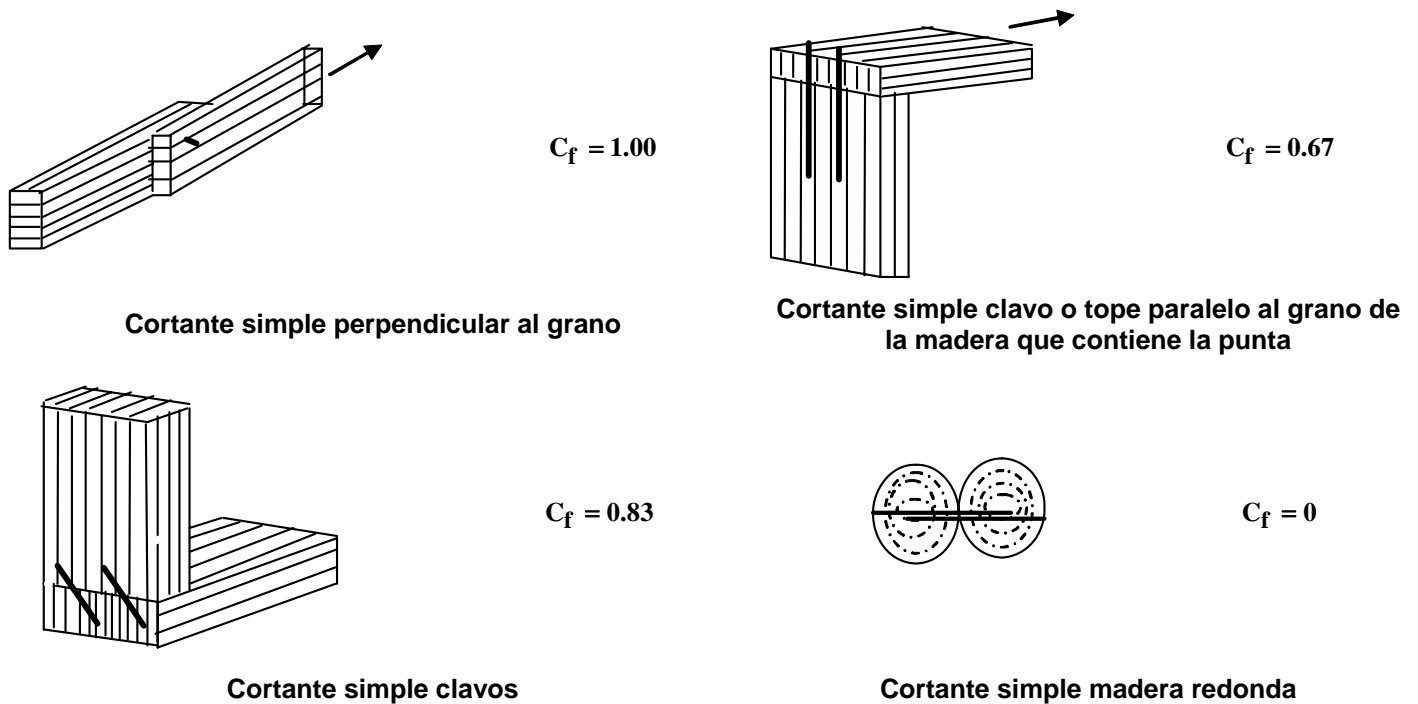


Figura G.6.11-1 - Coeficiente de forma

## G.6.12 — UNIONES CON CLAVOS SOMETIDAS A CARGA DE EXTRACCION DIRECTA

La fuerza de extracción  $W$ , que pueda desarrollar un clavo depende de la densidad de la madera, del contenido de humedad  $CH\%$ , del diámetro ( $d$ ) y longitud del clavo y de la distancia de penetración del clavo que tiene la punta.

La fuerza de extracción directa admisible en condición de madera seca, se determina con la fórmula G.6.12-1 y para el caso de maderas en condición húmeda, se reducirá según la tabla G.6.6-1.

$$W = 4.4DBdp$$

(G.6.12-1)

en donde:

- $W$  = carga de extracción en N  
 $DB$  = densidad básica del elemento principal  
 $d$  = diámetro del clavo, en mm  
 $p$  = penetración del clavo en el elemento que recibe la punta del clavo, en mm

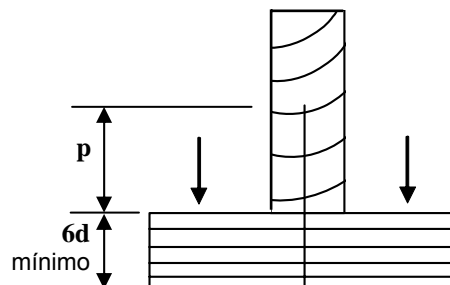


Figura G.6.12-1 – Elemento principal – Clavo con carga de extracción

La fuerza de extracción modificada será.

$$W' = W C_D C_m C_t C_f \quad (\text{G.6.12-2})$$

**G.6.12.1 — COEFICIENTE POR FORMA DE COLOCACION** — Por la forma de instalación con respecto a la dirección del grano del elemento final y la dirección del clavo,  $C_f$ . Los valores de fuerza de extracción directa  $W$ , serán multiplicados por la forma de colocación del clavo según Figura G.6.12-2.

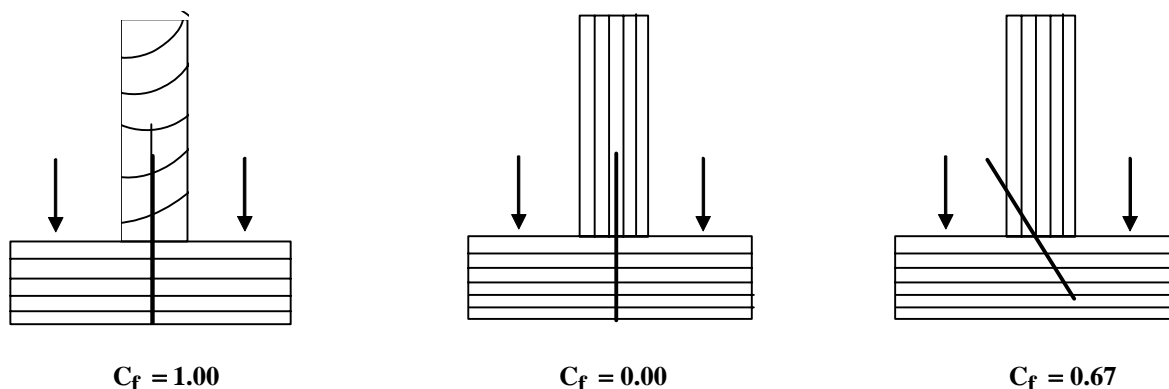


Figura G.6.12-2 — Factor de colocación

## G.6.13 — UNIONES EMPERNADAS

**G.6.13.1** — Estas disposiciones son aplicables a uniones empernadas de dos o más elementos de madera o a uniones de elementos de madera con platinas metálicas o para la fijación de madera a elementos de concreto por medio de platinas y anclas. Las uniones empernadas se utilizan generalmente cuando las solicitudes sobre una conexión son relativamente grandes, requiriendo por lo tanto el uso de pernos, normalmente acompañados de platinas de acero. Se recomienda que las perforaciones para los pernos se ejecuten con un diámetro que permita una fácil colocación según tabla G.6.13-1, sin desgarrar las paredes de la perforación y sin producir astillamientos en el extremo.

**Tabla G.6.13-1**  
Mayoración de los diámetros de las perforaciones respecto al diámetro del perno, en mm

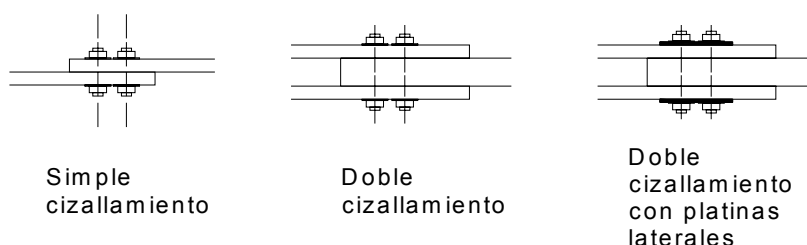
Diámetro del perno $d$ mm	Contenido de humedad de las maderas en condiciones de servicio			
	CH = 6%	CH = 12%	CH = 15%	CH $\geq$ 20%
$d \leq 20$	1.6	0.8	0.8	0.8
$20 < d \leq 24$	2.5	1.6	0.8	0.8
$24 < d \leq 30$	2.5	1.6	1.6	0.8

**G.6.13.2** — En toda unión empernada que carezca de platinas laterales de acero se deberán utilizar arandelas entre la madera y la cabeza del perno y entre la madera y la tuerca, de acuerdo con la tabla G.6.13-2.

**Tabla G.6.13-2**  
Dimensiones mínimas de arandelas para uniones empernadas estructurales.

Diámetro del perno $d$ mm	10	12	16	20	>20
Espesor de la arandela mm	5	5	6	6	8
Diámetro externo arandelas circulares mm	50	55	65	75	95
Lado, arandelas cuadradas mm	45	50	60	65	85

**G.6.13.3** — Los pernos, tuercas y platinas de las conexiones empernadas deberán ser de acero estructural con esfuerzo de fluencia no menor de 230 MPa. El diseñador especificará la calidad del acero de estos elementos,  $f_y$ , como la resistencia mínima a la tracción requerida para la tortillería e indicará el tipo de protección anticorrosiva que requieran estos elementos de acuerdo con la tabla G.6.4-2. Las tuercas en todos los casos deben ser compatibles con los pernos, por lo que se recomienda utilizar siempre una tuerca, cuya carga de prueba sea igual o mayor que la resistencia a la tensión del perno a ensamblar, para evitar que las tuercas se desgarran, antes que los tornillos se fracturen. Los elementos metálicos deberán ser diseñados a cortante, flexión, tensión y aplastamiento, de acuerdo con las provisiones del Título F - Estructuras Metálicas.



**Figura G.6.13-1 — Uniones empernadas de dos o más elementos de madera**

**G.6.13.4** — Todos los elementos metálicos utilizados en uniones empernadas construidas con maderas húmedas o sometidas a condiciones ambientales desfavorables deberán tener un tratamiento anticorrosivo, correspondiente con la tabla G.6.4-2. Este tratamiento también será recomendado cuando por consideraciones arquitectónicas no se desee la aparición de óxido en las superficies de la madera.

**G.6.13.5** — Cuando los pernos sean apretados, por lo menos una rosca deberá sobresalir por encima de la tuerca. Se deberá tener cuidado de no sobre-apretar la tuerca para no generar aplastamiento de la madera.

**G.6.13.6** — Las cargas admisibles para uniones empernadas sometidas a cizallamiento doble se determinarán a partir de los valores  $P$  y  $Q$  dados en la tabla G.6.13-3, en función del grupo de la densidad básica  $DB$  especificada, del diámetro del perno ( $d$ ) y de la longitud ( $\ell$ ) definida como el menor valor entre el espesor del elemento central y dos veces el espesor del elemento lateral más delgado. Los valores de  $P$  indicados serán utilizados cuando la fuerza en la unión sea paralela a las fibras, tanto del elemento central como de los elementos laterales. Las cargas admisibles cuando la fuerza es paralela a las fibras del elemento central pero perpendicular a las fibras de los elementos laterales, o viceversa, se indican como  $Q$ . Las cargas admisibles  $P$  y  $Q$  corresponden a dos situaciones límites. Si la fuerza en la unión sigue la dirección del elemento central pero forma un ángulo  $\alpha$  con la dirección de las fibras de los elementos laterales, o viceversa, la carga admisible se determinará mediante la fórmula de Hankinson.

**G.6.13.7** — Los valores de la tabla G.6.13-3 corresponden a uniones con elementos laterales de madera. Si estos elementos son platinas metálicas, los valores de  $P$  dados en dicha tabla podrán incrementarse en un 25%; es decir, el coeficiente de modificación  $C_{pL}$  por este concepto es 1.25. Los valores de  $Q$  no se modificarán. En tal caso  $\ell$  deberá tomarse como el espesor del elemento central.

**G.6.13.8** — Las cargas admisibles dadas en la tabla G.6.13-3 son representativas de maderas con un contenido de humedad inferior al 19% y que se mantendrán secas durante su tiempo de servicio. Cuando se emplean 2 o más filas de pernos con platinas laterales en maderas verdes sometidas a tensión paralela a la fibra, es recomendable el uso de platinas individuales por fila, para evitar las rajaduras por contracción perpendiculares a la fibra.

**G.6.13.9** — Si el contenido de humedad de la madera en el momento de construirse la unión es mayor de 19%, pero durante el tiempo de servicio puede secarse, el valor de la carga admisible se multiplicará por el coeficiente de reducción por contenido de humedad,  $C_m = 0.40$ , a no ser que la unión cumpla con lo estipulado en G.6.13.10.1.

**G.6.13.10.1** — El coeficiente de reducción por humedad  $C_m$ , no deberá aplicarse a uniones con un solo perno ni a las que tengan dos o más pernos en una sola fila paralela a la dirección de la fibra. También se excluyen las uniones conformadas por dos o más filas de pernos paralelas a la dirección de la fibra, con platinas separadas para cada fila.

**G.6.13.10.2** — En nudos de 4 o más miembros, cada plano de corte será evaluado como una conexión de cizallamiento simple. El valor del nudo se calculará con el valor nominal más bajo así obtenido, multiplicado por el número de planos de corte.

**Tabla G.6.13-3**  
**Cargas admisible para uniones empennadas con doble cizallamiento  $CH \leq 19\%$**   
 $f_y \geq 230 \text{ MPa}$

					DB > 0.70		DB > 0.55 DB > 0.70		DB > 0.40 DB > 0.55	
$\ell$ (mm)	d (mm)	d (ln)	$\ell/d$	$\ell \times d$ (mm <sup>2</sup> )	P (N)	Q (N)	P (N)	Q (N)	P (N)	Q (N)
20	6.3	1/4"	3.20	127	1950	880	1310	580	750	340
	9.5	3/8"	2.10	191	2970	1010	1960	670	1130	390
	12.7	1/2"	1.60	254	3960	1170	2610	780	1510	450
	15.9	5/8"	1.30	318	4950	1320	3260	880	1880	510
30	6.3	1/4"	4.80	189	2290	1240	1790	880	1130	510
	9.5	3/8"	3.20	285	4380	1520	2940	1010	1690	590
	12.7	1/2"	2.40	381	5940	1760	3920	1170	2260	680
	15.9	5/8"	1.90	477	7430	1980	4890	1320	2820	770
40	6.3	1/4"	6.30	254	2560	1440	2000	1140	1280	680
	9.5	3/8"	4.20	381	4910	2010	3860	1340	2260	780
	12.7	1/2"	3.10	508	7790	2340	5220	1560	3010	910
	15.9	5/8"	2.60	635	9900	2640	6530	1750	3760	1020
50	19.0	3/4"	2.10	760	11880	2990	7830	1990	4520	1160
	9.5	3/8"	5.30	476	5360	2260	4200	1680	2680	980
	12.7	1/2"	3.90	635	8510	2930	6530	1950	3760	1140
	15.9	5/8"	3.10	794	12170	3300	8160	2190	4700	1280
65	19.0	3/4"	2.60	952	14850	3740	9790	2480	5640	1450
	9.5	3/8"	6.82	619	5940	2600	4630	2060	2970	1270
	12.7	1/2"	5.12	825	9430	3450	7390	2530	4710	1480
	15.9	5/8"	4.10	1032	13500	4280	10610	2850	6110	1660
80	19.0	3/4"	3.41	1238	18090	4860	12730	3230	7340	1880
	9.5	3/8"	8.40	762	6450	2890	5010	2350	3180	1560
	12.7	1/2"	6.30	1016	10240	3850	7990	3030	5110	1820
	15.9	5/8"	5.04	1270	14650	4810	11480	3510	7310	2050
90	19.0	3/4"	4.20	1524	19630	5950	15440	3970	9030	2320
	9.5	3/8"	9.44	858	6760	3080	5230	2530	3290	1690
	12.7	1/2"	7.09	1143	10720	4090	8350	3260	5350	2050
	15.9	5/8"	5.69	1429	15350	5120	12000	3950	7660	2300
100	19.0	3/4"	4.72	1714	20570	6330	16140	4470	10160	2610
	9.5	3/8"	10.50	950	7040	3250	5440	2700	3390	1810
	12.7	1/2"	7.90	1270	11180	4330	8690	3480	5550	2270
	15.9	5/8"	6.30	1590	16000	5410	12480	4260	7990	2560
100	19.0	3/4"	5.30	1900	21440	6690	16790	4970	10700	2900

**G.6.13.11** — Las cargas admisibles de la tabla G.6.13-3 corresponden a uniones con un solo perno. Cuando una unión requiera más de dos pernos en línea paralela a la dirección de la carga, la carga admisible de la unión se obtendrá multiplicando los valores admisibles por perno obtenidos de dicha tabla, por el número de pernos y por un coeficiente de reducción por grupo,  $C_g$ , que puede estimarse así:

Uniones con elementos laterales de madera:

$$C_g = 1.00 - 0.08(n_p - 2) \quad (\text{G.6.13-1})$$

Uniones con elementos laterales de acero:

$$C_g = 1.00 - 0.07(n_p - 2) \quad (\text{G.6.13-2})$$



en donde,  $n_p$  = número de pernos en cada fila

Alternativamente, el valor de  $C_g$  puede obtenerse de la tabla G.6.13-4.

**Tabla G.6.13-4**  
**Coefficiente de reducción por grupo,  $C_g$**

Clase de unión	Número de pernos por línea				
	2	3	4	5	6
Uniones con elementos de madera	1.0	0.92	0.84	0.76	0.68
Uniones con elementos de acero	1.0	0.94	0.87	0.80	0.73

En caso de existir varias filas de pernos paralelas a la dirección de la carga, el coeficiente de reducción por grupo deberá calcularse para cada fila en forma independiente.

**G.6.13.12** — La carga admisible para un perno sometido a cizallamiento simple será la mitad de la carga tabulada o calculada para una unión con cizallamiento doble, considerando ( $\ell$ ) como el doble del espesor del elemento más delgado.

**G.6.13.13** — En términos generales la capacidad de una unión empernada está definida por su capacidad nominal, multiplicada por los coeficientes de reducción a que haya lugar. Esto es:

$$P' = PC_D C_m C_t C_{pL} C_g \quad (\text{G.6.13-5})$$

$$Q' = QC_D C_m C_t C_{pL} C_g \quad (\text{G.6.13-6})$$

En donde:

$P'$  y  $Q'$  = cargas admisibles modificadas y  $P$  y  $Q$  los valores de la tabla G.6.13-3

$C_{pL}$  = coeficiente por utilización de platinas = 1.25

$C_g$  = coeficiente de acción de grupo.

**G.6.13.13.1** - Cuando la fuerza en la unión sigue la dirección del elemento central pero forma un ángulo  $\alpha$  con la dirección de las fibras de los elementos laterales, o viceversa, la carga admisible modificada,  $N'$ , se calculará con la fórmula de Hankinson.

$$N' = \frac{P'Q'}{P'\sin^2\alpha + Q'\cos^2\alpha} \quad (\text{G.6.13-7})$$

A partir de los valores modificados  $P'$  y  $Q'$ . Obsérvese que los valores admisibles de las fuerzas paralela y perpendicular a la fibra,  $P$  y  $Q$ , deberán ser multiplicados por los coeficientes de modificación aplicables según el caso, antes de utilizar esta fórmula.

**G.6.13.14** — El espaciamiento de los pernos y las distancias entre éstos y los bordes de los elementos de madera deberán ser suficientes para permitir que cada perno desarrolle toda su capacidad resistente. Los valores admisibles de la tabla G.6.13-3 se dan bajo el supuesto que han sido respetados los requisitos mínimos dados a continuación, referentes a distancias a la punta, a un borde o arista lateral, y separación centro a centro de los pernos, según tablas G.6.13-5 y G.6.13-6.

**Tabla G.6.13-5**  
**Espaciamientos mínimos para pernos**

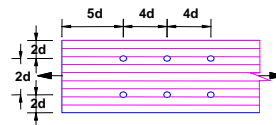
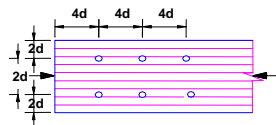
Elementos cargados paralelamente al grano	A lo largo del grano	Espaciamiento entre pernos	4d
		Distancia al extremo en tracción	5d
		Distancia al extremo en compresión	4d
Elementos cargados perpendicularmente al grano	Perpendicularmente a la dirección del grano	Espaciamiento entre líneas de pernos	2d
		Distancia a los bordes	2d
		Espaciamiento entre líneas de pernos s	s = 2.5d
	A lo largo del grano	Para $\frac{\ell}{d} \leq 2$	s = 2.5d
		Para $\frac{\ell}{d} \geq 6$	s = 5d
		Para $2 \leq \frac{\ell}{d} \leq 6$	2.5d ≤ s ≤ 5d
	Perpendicularmente a la dirección del grano.	Espaciamiento entre pernos s	4d
		Distancia al borde cargado	4d
		Distancia al borde no cargado	2d

(\*) Si el espaciamiento entre líneas es mayor de 12.5 cm, es recomendable usar elementos laterales separados para cada fila  
En las expresiones anteriores:

$\ell$  = espesor del elemento central en uniones de tres elementos o, en uniones simples, el doble del menor espesor de los elementos laterales.

**d** = diámetro del perno

**Tabla G.6.13-6**  
**Distanciamiento mínimo en uniones pernadas**



Perno		Compresión			
Ø	cm	4d	4d	2d	2d
$\frac{3}{8}$ "	0.95	3.80	3.80	1.90	1.90
$\frac{1}{2}$ "	1.27	5.08	5.08	2.54	2.54
$\frac{5}{8}$ "	1.59	6.36	6.36	3.18	3.18
$\frac{3}{4}$ "	1.90	7.60	7.60	3.80	3.80

Perno		Tracción			
Ø	cm	5d	4d	2d	2d
$\frac{3}{8}$ "	0.95	4.75	3.80	1.90	1.90
$\frac{1}{2}$ "	1.27	6.36	5.08	2.54	2.54
$\frac{5}{8}$ "	1.59	7.95	6.36	3.18	3.18
$\frac{3}{4}$ "	1.90	9.50	7.60	3.80	3.80

## G.6.14 — OTRAS UNIONES

Se permitirán otro tipo de uniones en estructuras de madera, tales como tornillos, anillos partidos, adhesivos, conectores multiclavos de lámina galvanizada con dientes integrales, conectores de lámina galvanizada con clavos especiales, uniones de tendones, etc., siempre y cuando los fabricantes y constructores cumplan con normas aceptadas internacionalmente, mientras se establecen las correspondientes normas nacionales.

**G.6.14.1 — TORNILLOS TIRAFONDOS** - Los tirafondos sometidos a cargas laterales y a extracción deberán instalarse con perforaciones guía para evitar rajaduras en el elemento de madera. Las perforaciones guía deberán hacerse como se indica a continuación:

- (a) La perforación para la zona del tirafondo que no tiene rosca (vástago), deberá hacerse del mismo diámetro y profundidad del vástago.
- (b) La perforación guía para la zona del tirafondo que tiene rosca deberá tener la misma profundidad de la zona roscada y el diámetro definido a continuación:

**Tabla G.6.14-1**  
**Diámetros para perforaciones guía en la parte roscada de un tirafondo**

Densidad Básica de la madera	Diámetro de la perforación guía
DB > 600 Kg/m <sup>3</sup>	65% - 85% del diámetro del vástago
500 Kg/m <sup>3</sup> < DB < 600 Kg/m <sup>3</sup>	60% - 75% del diámetro del vástago
DB < 500 Kg/m <sup>3</sup>	40% - 70% del diámetro del vástago

**G.6.14.1.1** — No se requerirán las perforaciones guía en tirafondos con diámetros iguales o inferiores a 9.5mm (3/8") cuando estos sean solicitados por extracción en maderas con DB < 500 kg/m<sup>3</sup>, si se garantiza cumplimiento con los espaciamientos mínimos indicados en la tabla G.6.14-2.

**G.6.14.1.2** — La porción roscada del tirafondo debe ser instalada en su perforación guía con una llave de tuerca, es decir por toque. En ningún caso se permitirá la instalación por martillado. También se permitirá el uso de lubricantes en la rosca del tirafondo o en la perforación para facilitar la instalación; pero no se permitirá ningún incremento en la capacidad admisible del conector.

**G.6.14.1.3** — Los tirafondos deberán tener una penetración mínima de cuatro (4) veces el diámetro del vástago más la longitud de la punta.

**G.6.14.1.4** — Los tirafondos sometidos a cargas laterales deberán localizarse a las distancias mínimas indicadas en la tabla G.6.14-2. Los tirafondos sometidos a cargas de extracción deberán tener los espaciamientos indicados en la tabla G.6.14-2.

**Tabla G.6.14-2**

**Requisitos de espaciamiento para tirafondos solicitados a extracción con respecto a D, diámetro del vástago**

Tipo de espaciamiento	Mínimas distancias recomendadas
Distancia al borde	1.5D
Distancia al extremo	4D
Espaciamiento entre conectores	4D

## **G.6.15 — TORNILLOS GOLOSOS**

Los tornillos sometidos a extracción deberán instalarse con perforaciones guía para evitar rajaduras en el elemento de madera. Las perforaciones guía deberán tener el diámetro que se indica a continuación:

**Tabla G.6.15-1**  
**Diámetros para perforaciones guía en tornillos**

Densidad básica de la madera	Diámetro de la perforación guía
DB > 600 Kg/m <sup>3</sup>	90% del diámetro de la raíz
500 Kg/m <sup>3</sup> < DB < 600 Kg/m <sup>3</sup>	70% del diámetro de la raíz
BD > 500 Kg/m <sup>3</sup>	No requiere

**G.6.15.1** — Los tornillos sometidos a cargas laterales deberán instalarse con perforaciones guía de diámetro indicado a continuación:

- (a) Para maderas con densidad básica, DB, mayor de 600kg/m<sup>3</sup>, la parte de la perforación guía que recibe el vástago deberá tener un diámetro semejante al del vástago. La perforación guía que recibe la porción roscada deberá tener un diámetro semejante al diámetro en la raíz del tornillo.
- (b) Para maderas con densidad básica, DB, menor o igual de 600kg/m<sup>3</sup>, la parte de la perforación guía que recibe el vástago deberá tener un diámetro equivalente a siete octavos (7/8) el del

vástago. La perforación guía que recibe la porción roscada deberá tener un diámetro equivalente a siete octavos (7/8) al diámetro en la raíz del tornillo.

**G.6.15.2** — Los tornillos deben instalarse en su perforación guía por torque usando un atornillador u otra herramienta semejante. En ningún caso se permitirá la instalación por martillado. También se permitirá el uso de lubricantes en el tornillo o en la perforación para facilitar la instalación, pero no se permitirá ningún incremento en la capacidad admisible del conector.

**G.6.15.3** — Los tornillos deberán tener una penetración mínima de seis (6) veces el diámetro del vástago.

**G.6.15.4** — Cada unión deberá contar con un mínimo de tres (3) tornillos.

**G.6.15.5** — Los tornillos solicitados a cargas laterales deberán localizarse a las distancias mínimas indicadas en la tabla G.6.7-1 utilizando las provisiones para clavos con perforación guía (pretaladrado). Los tornillos sometidos a extracción se localizarán a las distancias mínimas indicadas para clavos, tabla G.6.7-1.



## CAPITULO G.7

### DIAFRAGMAS HORIZONTALES Y MUROS DE CORTE

#### G.7.1 — GENERAL

**G.7.1.1** — Las prescripciones de este Capítulo se refieren a diafragmas horizontales y muros de corte, esto es, a los elementos que resisten fuerzas cortantes en su plano, habitualmente rectangulares y relativamente delgados. Los muros de corte están colocados verticalmente, como en paredes y tabiques, mientras que los diafragmas están dispuestos horizontalmente, como en pisos o techos.

**G.7.1.2** — El conjunto de diafragmas y muros de corte deberán diseñarse para resistir adecuadamente las cargas laterales aplicadas, tales como las acciones de viento o sismo, además de las cargas verticales gravitacionales que les correspondan.

**G.7.1.3** — La capacidad resistente a cargas laterales de los diafragmas y muros de corte depende de la disposición y distanciamiento del entramado, del tipo de revestimiento y de su sistema de fijación. Puede calcularse con el método de la longitud equivalente, descrito en G.7.3.6. Alternativamente pueden emplearse las prescripciones del Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino en su Capítulo 10.

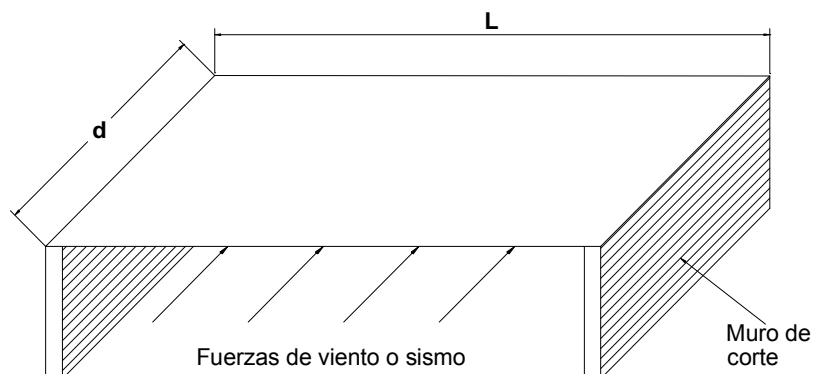
**G.7.1.4** — Los diafragmas y muros de corte deberán ser suficientemente rígidos para limitar los desplazamientos laterales, reducir la amplitud de vibraciones y proporcionar arriostramiento a otros elementos de la estructura, evitando su pandeo lateral.

**G.7.1.5** — Las uniones de los diafragmas y muros de corte, entre sí y con otros elementos, deberán ser adecuados para resistir las fuerzas cortantes.

**G.7.1.6** — En caso de existir aberturas en los diafragmas o muros de corte, éstas deberán reforzarse con elementos adicionales de igual sección transversal a la de los elementos cortados. Los refuerzos se diseñarán y detallarán para transferir la totalidad de la fuerza cortante a los elementos que enmarcan.

#### G.7.2 — DIAFRAGMAS HORIZONTALES

**G.7.2.1** — Un diafragma puede definirse como un conjunto estructural horizontal o ligeramente alejado de la horizontal, de espesor pequeño respecto de sus otras dos dimensiones, que tiene la capacidad de trabajar bajo fuerzas contenidas en su propio plano.



**Figura G.7.2-1 – Diafragma horizontal y muros de corte**

**G.7.2.2** — El diafragma se diseñará como una viga horizontal que se flecta entre los elementos verticales del sistema de resistencia a las fuerzas laterales, sean éstos muros de corte u otros sistemas aporticados. El diseño se hará tanto

en la dirección longitudinal como en la transversal e incluirá las debidas comprobaciones de resistencia a la flexión y al corte.

**G.7.2.3** — Los elementos que conforman un diafragma deben estar debidamente ensamblados para asegurar el trabajo conjunto. Estos elementos se clasifican así:

- (a) Los tableros, que constituyen el recubrimiento del piso o de la cubierta.
- (b) Los montantes, largueros o viguetas que soportan el recubrimiento, así como las taqueteras que estabilizan el entramado.
- (c) Los cordones, que enmarcan el diafragma y forman parte del sistema de resistencia en el plano. Normalmente son elementos perimetrales o interiores, identificados como vigas coronas o dinteles colectores.

**G.7.2.4 — TABLEROS** — Los tableros tienen la responsabilidad de resistir la fuerza cortante y usualmente están hechos con láminas contrachapadas o aglomeradas, tabloncillos, tablas o listones de espesor mínimo de 15 mm. El dimensionamiento de los tableros dependerá tanto de su resistencia al corte como del sistema de unión a los elementos portantes, factores que por lo general controlarán el diseño, exigiendo condiciones especiales según sea la disposición de los elementos.

**G.7.2.5** — El sistema de fijación del recubrimiento a los largueros, a los taqueteras y a los cordones o elementos perimetrales se diseñará para transferir la totalidad de la fuerza de corte.

**G.7.2.6** — Los requerimientos para clavar tableros de espesor no menor de 15 mm. con clavos de 51 mm (2") de longitud serán los siguientes:

- (a) En los bordes con soporte continuo: 150 mm. centro a centro
- (b) A lo largo de soportes intermedios: 250 mm. centro a centro en pisos y 300 mm. centro a centro en cubiertas

**G.7.2.7** — Los tableros se clasifican en confinados y no confinados. Tableros confinados son aquellos que tienen todos sus bordes perimetrales apoyados en forma continua sobre largueros o elementos más rígidos. Tableros no confinados son aquellos que poseen dos bordes paralelos sin el soporte continuo de tales elementos.

**G.7.2.8 — LARGUEROS O ENTRAMADOS PORTANTES** — Los elementos utilizados en el entramado portante de los diafragmas horizontales tendrán un espesor mínimo de 40 mm y una altura suficiente para resistir adecuadamente la flexión y el corte a que se vean sometidos. Su diseño corresponderá al de un elemento solicitado por flexión y carga axial, siguiendo las prescripciones del Capítulo G.5.

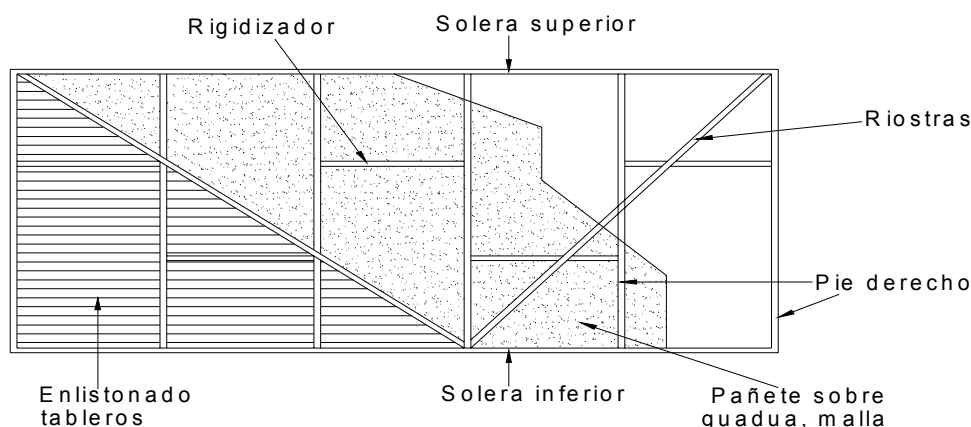
**G.7.2.9 — VIGAS CORONAS O CABEZALES** — La determinación de las fuerzas axiales en un punto de las vigas coronas deberá ser el resultado de igualar el momento flector en ese punto del diafragma, a un par conformado por las vigas coronas actuando como cordones, con un brazo igual a la distancia entre ellas, es decir, entre los centroides de sus secciones transversales. Normalmente gobernará el diseño a tensión por cuanto los esfuerzos admisibles a compresión son ligeramente mayores que los de tensión, pero deberán comprobarse los posibles efectos de esbeltez en el cordón solicitado a compresión. En cualquier caso, deberán analizarse los cordones o vigas coronas trabajando a tensión y a compresión pues la dirección de la fuerza aplicada puede cambiar de sentido.

**G.7.2.10** — Cuando las vigas coronas no estén conformadas por un solo elemento, deberán ser diseñadas para las fuerzas axiales producidas por el momento máximo existente en el diafragma, independientemente de su ubicación. Teniendo en cuenta que las fuerzas axiales son usualmente el resultado de fuerzas sísmicas o de viento, para efectos de diseño se puede utilizar un coeficiente de duración de la carga  $C_d = 1.33$ .

**G.7.2.11 — DINTELES COLECTORES** — Cuando las vigas coronas son paralelas a la dirección de la fuerza aplicada, se convierten en dinteles colectores de la fuerza cortante transmitida por el diafragma. Si tales vigas coronas se encuentran soportadas directamente por muros cortantes, deberán conectarse a ellos para una transmisión adecuada del esfuerzo cortante. Por otro lado, si las vigas coronas se localizan como puentes de una abertura del diafragma, deberán coleccionar la fuerza cortante para transmitirla al sistema de resistencia de fuerzas laterales cuando encuentren su apoyo. Ello indica que las vigas coronas deberán ser diseñadas para la condición más crítica entre su trabajo como cordón del par resistente a flexión y su trabajo como colectora de fuerza cortante, en caso de existir aberturas en el diafragma.

### G.7.3 — MUROS DE CORTE

**G.7.3.1** — Los muros de corte constituyen los elementos verticales del sistema resistente de la edificación, y normalmente transmiten las cargas verticales. Además, soportan los diafragmas horizontales y son los encargados de llevar a los niveles inferiores las cargas horizontales que actúan en su mismo plano y que son originadas por sismo, viento u otras cargas gravitacionales.



**Figura G.7.3-1 — Elementos de los muros de corte**

**G.7.3.2** — Un muro de corte está constituido por un entramado de pies-derechos, soleras superior e inferior, riostras y rigidizadores intermedios cuando sea necesario, y algún tipo de revestimiento por una o por ambas caras.

**G.7.3.3** — La separación de los pies derechos el espesor y características del revestimiento determinan, junto con las riostras, la rigidez y la resistencia a cargas horizontales del muro. La fuerza horizontal actuante determina el diseño de la unión con las soleras. Las dimensiones de los muros de corte definirán el régimen de transferencia y el diseño de los anclajes a la cimentación. El espaciamiento entre anclajes deberá ser menor de 2 m. Ningún eslabón de la cadena de diseños o comprobaciones podrá suprimirse.

**G.7.3.4** — El diseño de los muros de corte deberá considerar los siguientes aspectos:

- (a) Proporciones del muro
- (b) Diseño de las soleras
- (c) Diseño de los pie derechos, rigidizadores intermedios y riostras
- (d) Espesor y características del revestimiento y su sistema de unión
- (e) Sistema de unión de los muros entre sí y con la cimentación.

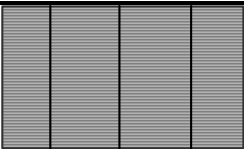
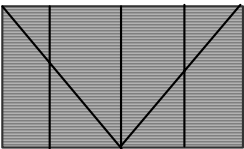
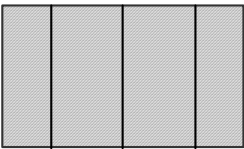
**G.7.3.5** — Cada muro de corte considerado por separado, deberá ser capaz de resistir la carga lateral correspondiente a su área de influencia, a menos que se haga un análisis detallado de la distribución de fuerzas cortantes considerando la flexibilidad de los diafragmas horizontales.

**G.7.3.6** — El diseño de los muros de corte depende fundamentalmente de las características del entramado y del revestimiento. Con fines prácticos se basa en los resultados experimentales obtenidos al ensayar muros que pueden considerarse típicos. Se introduce entonces el concepto de "longitud equivalente" para convertir la longitud de un muro de características dadas a la equivalente de un muro de referencia que tiene una resistencia admisible al corte de 700 N/m. La longitud equivalente se obtiene multiplicando la longitud real del muro por el coeficiente correspondiente de la tabla G.7.3-1. Para muros diferentes a los de esta tabla pueden utilizarse los valores especificados en el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino, Capítulo 10, si están considerados en él.

**G.7.3.6.1** — El procedimiento de la longitud equivalente podrá ser aplicado a estructuras relativamente pequeñas que resisten todas las cargas laterales por medio de muros de corte. Estos muros deberán estar dispuestos en dos direcciones ortogonales con espaciamientos menores que 4 m y su distribución deberá ser más o menos uniforme, con rigideces aproximadamente proporcionales a sus áreas de influencia.

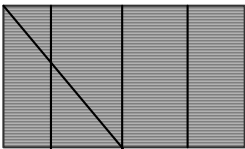
**G.7.3.6.2** — En el cálculo de longitudes equivalentes deberán descontarse las aberturas de puertas y ventanas. No se considerarán aquellos muros cuya relación altura/longitud sea mayor que 2 ni los que estén anclados a la cimentación en un solo punto.

**Tabla G.7.3-1**  
**Coeficientes de conversión a longitud equivalente del muro de referencia**

		Entramado	Revestimiento	Coeficiente
1		Pies derechos de 4 cm x 8 cm a cada 40 cm, clavados a soleras de 4 cm y 8 cm con clavos de 75 mm.	Tablas sin machihembrar 1 cm x 19 cm, clavadas a cada pie derecho con 2 clavos de 63 mm.	1.00
2		Id con pies-derechos a cada 50 cm.	Id.	0.80
3		Id. Con pies-derechos a cada 60 cm.	Id.	0.67
4		Id. Con pies-derechos a cada 40 cm.	Id. Con tablas de 2 cm x 19 cm clavadas a cada pie-derecho con 2 clavos de 63 mm.	1.00
5		Id.	Id. Con 3 clavos de 63 mm.	1.40
6		Id.	Id. Con tablas de 2 cm x 19 cm clavadas a cada pie-derecho con 2 clavos de 75 mm.	1.30
7		Id.	Id. Con 2 clavos de 88 mm.	1.50
8		Id.	Tablas sin machihembrar clavadas a cada pie-derecho con 2 clavos de 63 mm.: tablas de 1 cm x 4 cm.	0.70
9		Id.	Id.: tablas de 1.5 cm x 19 cm.	0.80
10		Id. Con riostras de 2 cm x 8 cm encajadas en pies-derechos, formando ángulos entre 45° y 60° con las soleras.	Tablas sin machihembrar, 2 cm x 19 cm, clavadas a cada pie-derecho con 2 clavos de 63 mm.	2.60
11		Pies-derechos de 4 cm x 8 cm a cada 40 cm.	Entablado simple, sin machihembrar, tablas de 2 cm x 19 cm clavadas a cada pie-derecho con 2 clavos de 63 cm.	4.30
12		Pies-derechos de 4cm x 8 cm con espaciamiento entre 40 cm y 50 cm, clavados a soleras de 4cm x 8 cm con clavos de 75 mm.	Paneles de madera contra-chapada de 1.20 m x 2.40 m, de 6 mm de espesor, con clavos de 50 mm a cada 12.5 cm en sus bordes y a cada 25 cm en pies-derechos intermedios.	3.00
13		Id.	Id. Con paneles de 9 mm de espesor, con clavos de 63 mm.	3.50
14		Id. Con pies-derechos a cada 60 cm y clavos de 90 mm.	Paneles de 8 mm de espesor de madera-cemento de 50 mm a cada 20 cm en sus bordes y cada 20 cm en pies derechos intermedios.	5.00



**Tabla G.7.3-1 (continuación)**  
**Coeficientes de conversión a longitud equivalente del muro de referencia**

		Entramado	Revestimiento	Coeficiente
15		Id.	Paneles de tableros de partículas de 15 mm de espesor.	3.00
16		Pies-derechos de 4 cm x 8 cm a cada 40 cm, clavados a soleras de 4 cm x 8 cm con clavos de 75 mm. Riostras diagonales de 2 cm x 8 cm en 50% de los paños.	Paneles de yeso con fibras, de 12 mm de espesor, densidad 0.75.	1.50
17		Id.	Revoque de barro de 2 cm de espesor, mínimo, sobre base de caña.	1.50
18		Id.	Id. Con revestimiento por ambos lados.	2.50

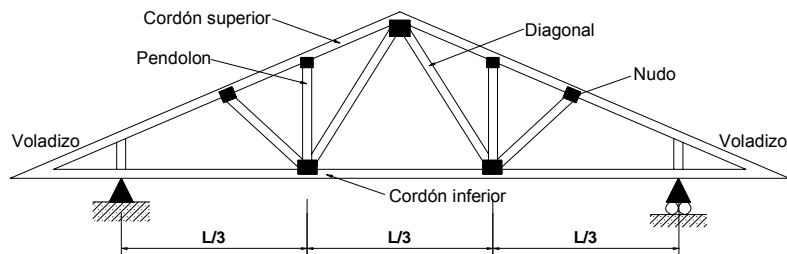
## **Notas**

## CAPÍTULO G.8 ARMADURAS

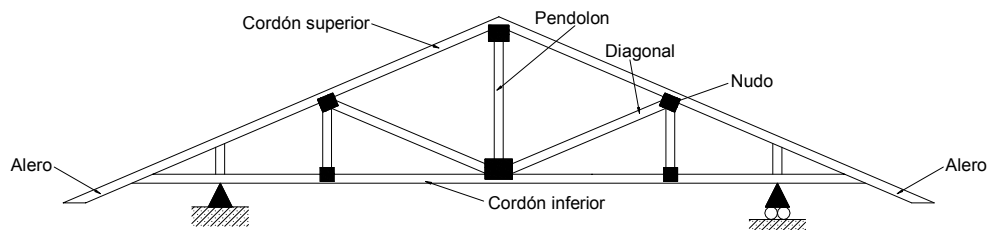
### G.8.1 — GENERAL

Las cerchas o armaduras son componentes estructurales planos, de contorno poligonal, formados por triangulación de elementos simples o compuestos que trabajan a tensión, compresión, tensión con flexión y flexo-compresión. Existe una gran variedad de configuraciones de cerchas para soporte de cubiertas y entrepisos. Las armaduras de cubierta constituyen una de las aplicaciones más importantes de la madera como parte de sistemas de prefabricación total o parcial. En el diseño de cerchas deben tenerse en cuenta los siguientes requisitos: Cargas, luz a salvar, apoyos, inclinación del cordón superior, distribución de miembros interiores, sistema de unión de los nudos, deflexiones, estabilidad lateral y separación.

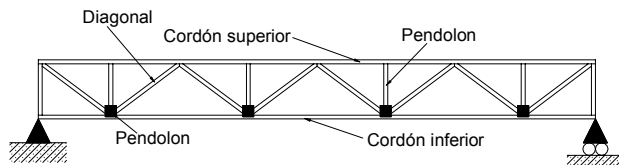
**G.8.1.1 — ALCANCE** — Los requerimientos de este Capítulo serán aplicables a todo tipo de armaduras y será el diseñador estructural el encargado de determinar las limitaciones de su aplicación, en función de los aspectos mencionados en G.8.1.



**Cercha en forma de abanico con voladizo**



**Cercha en M con aleros**



**Cercha de cordones paralelos**

**Figura G.8.1-1 — Elementos en armaduras comunes**

**G.8.1.2 — ANÁLISIS** — Las armaduras deberán diseñarse para soportar las cargas muertas y vivas y aquellas eventuales como el cielo-raso, las cargas originadas en el montaje y otras cargas especiales.

- Las fuerzas axiales en las barras pueden ser calculadas considerando los nudos como articulaciones.
- Para la determinación de las fuerzas axiales en las barras, las cargas distribuidas en la cuerda superior o inferior podrán ser consideradas como cargas puntuales equivalentes aplicadas en los nudos correspondientes.
- Los momentos de flexión generados por las cargas aplicadas en las cuerdas superiores podrán ser determinados suponiendo que las cuerdas se comportan como vigas continuas apoyadas en los montantes o en los diagonales.

**G.8.1.3 — CRITERIOS DE DISEÑO** — Todos los elementos y uniones de la armadura no deberán sobrepasar las fuerzas máximas admisibles definidas anteriormente.

- En caso de que el espaciamiento entre armaduras sea de 600 mm o menor, los esfuerzos admisibles podrán ser incrementados en 10% siempre que existan elementos que garanticen un arriostramiento lateral adecuado.
- Las barras sometidas a la acción de fuerzas axiales y flexión deberán ser diseñadas a flexo-compresión o en tensión con flexión, de acuerdo con el Capítulo G.5.
- La longitud efectiva fuera del plano de la armadura será el espaciamiento entre ejes de correas
- La longitud efectiva en montantes o diagonales será el 80% de la longitud entre centros de uniones.
- La máxima relación de esbeltez, en los elementos sometidos a compresión será de 50. En los elementos sometidos a tensión será de 80.
- Las deflexiones máximas deberán satisfacer los requisitos establecidos en G.3.5.1.
- Cuando no sea posible satisfacer los requisitos de deflexiones admisibles podrán construirse las armaduras usando contraflecha. Esta no será menor de 1/300 de la luz total.

**G.8.1.4** — Las cargas de la cubierta transmitidas por las correas descansarán directamente en los nudos y si ello no es posible, en el diseño del cordón superior se deberán tener en cuenta, no solamente las fuerzas axiales de compresión sino los momentos flectores originados. El diseño será hecho de acuerdo con la fórmula de flexo-compresión, de G.5.2.1.

**G.8.1.5** — Las cargas de cielo raso producen esfuerzos de flexión en el cordón inferior de las cerchas y por esta razón su diseño se hará en concordancia con la fórmula de tensión con flexión de G.5.1.1.

**G.8.1.6** — En la determinación de la longitud efectiva de los cordones superior e inferior de las cerchas deberá considerarse en forma separada la esbeltez en el plano y fuera del mismo. La sección resistente será, en el primer caso, la altura del miembro y en el segundo caso, el espesor de la cuerda. La separación entre correas o riostras longitudinales será la longitud no arriostrada fuera del plano. Cuando se trate de elementos compuestos o múltiples se emplearán valores equivalentes, según lo definido en G.4.3.5 y G.4.3.6.

**G.8.1.7** — El cálculo de las deflexiones de las armaduras se basará en los métodos habituales en la práctica de la ingeniería. En el caso de que el espaciamiento entre armaduras sea igual o menor que 600 mm se deberá utilizar el módulo de elasticidad promedio  $E_{prom}$ ; en caso contrario se deberá utilizar el  $E_{min}$ .

El cálculo de las deflexiones en las cerchas considerará la deformación de los nudos y el incremento de deflexión con el tiempo a causa del flujo plástico y de los cambios del contenido de humedad de la madera.

En cerchas fabricadas con pernos la deflexión teórica debe incrementarse por lo menos, en un 100% para incluir las deformaciones debidas a las tolerancias de fabricación, a la acomodación de los pernos dentro de las perforaciones y al flujo plástico.

**G.8.1.8** — Normalmente las cerchas sólo producen cargas verticales en los apoyos, siempre y cuando uno de ellos no ofrezca restricción al desplazamiento horizontal. Si el cordón inferior de la cercha se sitúa por encima del nivel de los apoyos, en el diseño deberán considerarse las fuerzas horizontales en los apoyos así como los esfuerzos cortantes y momentos generados en el último tramo del cordón superior. Se recomienda no elevar el cordón inferior a más de 1/3 de la altura total de la cercha.

**G.8.1.9** — Toda cercha deberá ser adecuadamente asegurada en los apoyos para resistir las fuerzas de levantamiento originadas por el viento y las fuerzas horizontales originadas en sismos o vientos. El calculista de la estructura incluirá el diseño de los apoyos y su anclaje a otros elementos del edificio.

**G.8.1.10 — DIMENSIONES MÍNIMAS** — El calculista de la estructura determinará la sección de todos los miembros componentes de la armadura pero ellos tendrán, por lo menos, 65 mm de altura y 40 mm de ancho. En el caso de usar cuerdas, montantes o diagonales compuestas de elementos múltiples, el ancho de cada uno de ellos podrá ser reducido a 25 mm reales.

- (a) En caso de usar cartelas de contrachapado de madera en las uniones, éstas deberán tener un espesor mayor de 10 mm.
- (b) Se recomienda el doblado de las puntas de los clavos en el sentido perpendicular a la dirección de las fibras de la cara exterior del contrachapado.

**G.8.1.11** — Las cerchas deberán ser instaladas a plomo, con el espaciamiento correcto y alineadas de tal manera que los cordones superiores e inferiores generen planos perfectos.

**G.8.1.12** — Las cerchas prefabricadas coplanares deberán tener tolerancias no mayores de 1.6 mm. en las uniones en el momento de la fabricación y no mayores a 3.2 mm en las uniones una vez estén en servicio.

**G.8.1.13** — Los clavos, pernos, platinas, conectores o cualquier elemento metálico de unión debe tener una apropiada protección contra la oxidación. En caso de usar cartelas metálicas, éstas deberán estar protegidas contra la corrosión.

**G.8.1.14** — De particular importancia es el diseño e instalación de un eficiente sistema de arriostramiento longitudinal en las cerchas. El diseñador de la estructura deberá indicar claramente en los planos los sistemas de arriostramiento provisional y definitivo que recomienda. Un entablado de carácter permanente y debidamente unido al cordón superior de la cercha constituye un diafragma apropiado, según se definió en el Capítulo G.7. Si este no es el caso, será forzoso disponer de un sistema de contravientos alternados o de riostras en el plano de la cubierta con el fin de evitar el efecto castillo de naipes (colapso progresivo), debido a fuerzas horizontales en el sentido longitudinal. Para efectos de arriostramiento temporal durante la construcción se tendrá en cuenta lo estipulado en G.11.5.7.



## **Notas**

## CAPÍTULO G.9

### SISTEMAS ESTRUCTURALES

#### G.9.1 — GENERAL

El presente Capítulo se refiere a la forma en que diferentes componentes de madera se combinan para formar sistemas estructurales que ofrezcan resistencia, estabilidad y confort a las edificaciones.

#### G.9.2 — ALCANCE

Las normas aquí establecidas se aplican a edificaciones parcial o totalmente hechas con madera y sus derivados. El calculista deberá verificar el comportamiento de vigas maestras, viguetas, alfardas, correas, separadores, riostras, tableros, entablados, paneles y demás elementos de soporte de la cubierta, de los cielo-rasos y de los entrepisos para asegurar su resistencia y estabilidad ante las solicitudes de carga. Para ello deberá aplicar las normas contenidas en el presente Título G, y dejar registro de los cálculos efectuados.

#### G.9.3 — CLASIFICACIÓN

Se distinguen 3 sistemas estructurales básicos con madera:

- (a) **Sistema de entramados livianos** — Para formar las paredes se emplean soportes verticales o pies-derechos a corta distancia y soleras inferiores y correderas superiores que recogen cargas pequeñas transmitidas por entresuelos y alfardas del entrepiso y la cubierta, respectivamente. Consecuentemente, las cargas y las secciones son pequeñas y la rigidez del conjunto depende en gran parte de las láminas, listones o tableros que se instalan en uno o los 2 lados de los entramados de paredes o pisos, según lo establecido en el Capítulo G7.

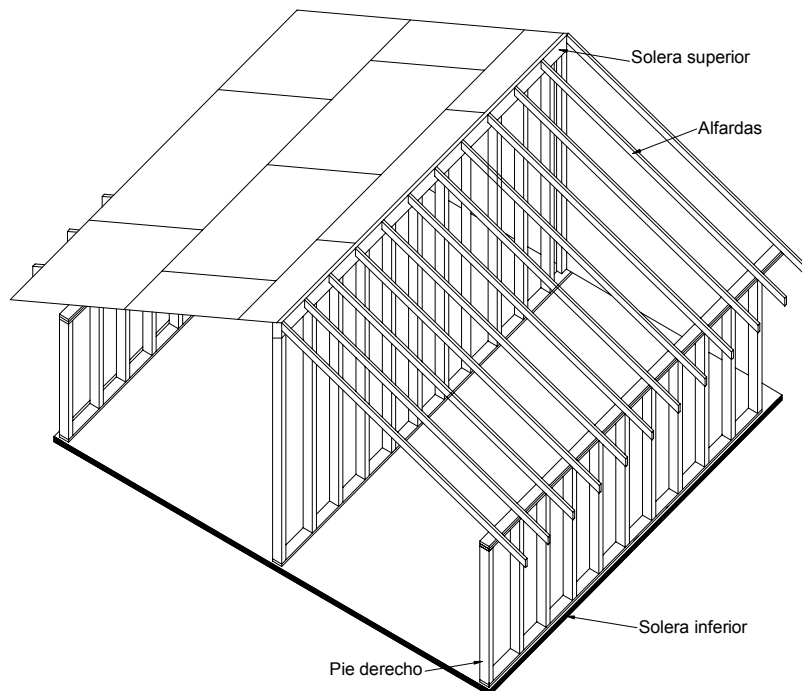


Figura G.9.3-1 — Sistema de entramado liviano

El sistema de entramados livianos produce cargas repartidas en la cimentación, ofrece estructuras muy seguras y debido a la multiplicidad de elementos idénticos, favorece la prefabricación liviana de componentes tales como soleras, pies derechos, viguetas, cerchas livianas, entresijos y recubrimiento de paredes y pisos.

El sistema puede usarse con ventajas en la construcción de viviendas de 1 y 2 pisos.

- (b) **Sistema de Poste y viga** — Los soportes verticales o columnas se sitúan a distancias relativamente grandes y se unen con vigas maestras que recogen viguetas o cerchas con el peso del entresijo o de la cubierta. Respectivamente los esfuerzos en la madera son usualmente elevados y se requieren grandes secciones. Como las cargas sobre la cimentación son concebidas, se requiere de análisis detallado de arriostramientos, muros de corte o diafragmas para contrarrestar las fuerzas originadas por viento y sismos.

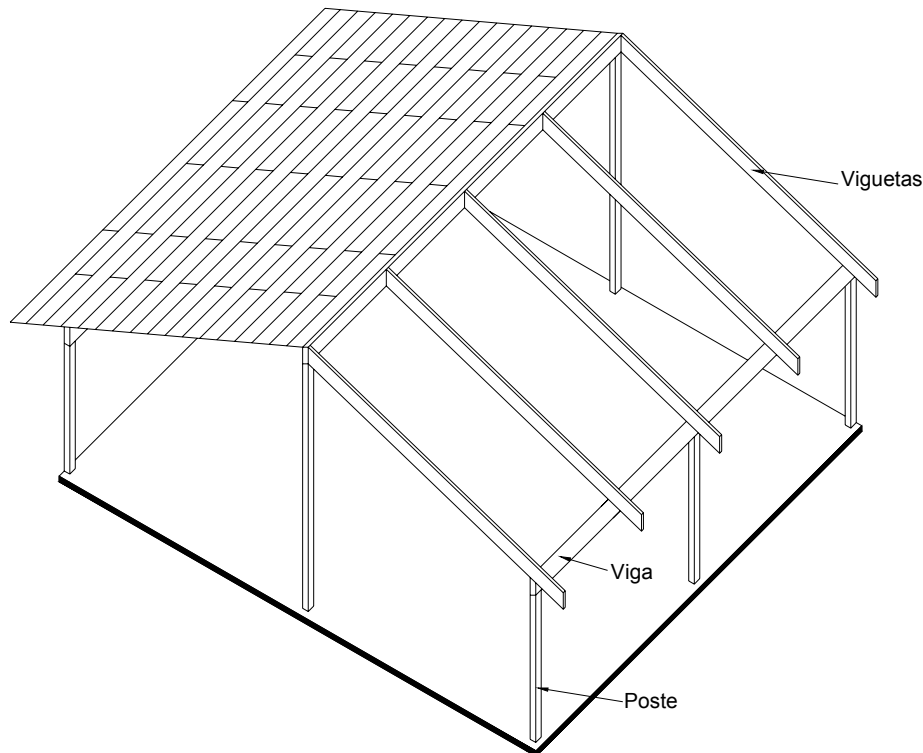
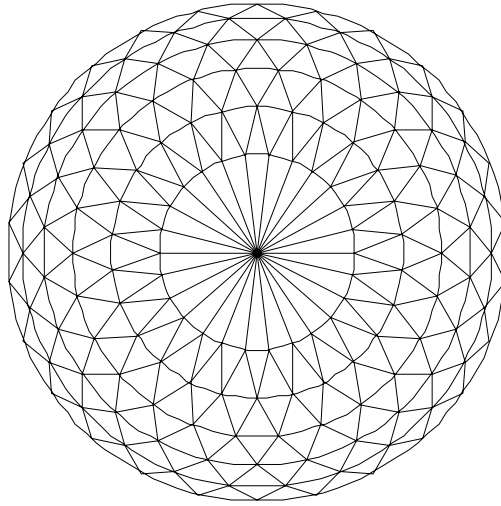


Figura G.9.3-2 — Sistema de poste y viga

El sistema de Poste y Viga se utiliza en forma extensiva pernos y platinas en las uniones y por lo general, se dejan las maderas a la vista. Los espacios entre columnas se rellenan con paredes que, como en el caso de entramados livianos, dependen de recubrimientos exteriores e interiores para resistir las fuerzas laterales. Cuando las paredes contengan materiales frágiles como vidrio se deben dejar tolerancias para los asentamientos y posibles movimientos, así como productos elásticos para sellar las juntas. La dificultad de secar secciones grandes puede incidir en la apariencia de las edificaciones pues son de esperar contracciones volumétricas y la aparición de grietas con el tiempo.

- (c) **Sistemas espaciales** — Tipo estructural especial para cubrir grandes luces y consiste en la conexión transversal de entramados uniformes con otros de igual características de manera tal que se logre un comportamiento estructural, eficiente y seguro. Pertenecen a este sistema las **Retículas espaciales**: conformadas por cuadrículas paralelas con vértices desfasados entre ellas unidas con diagonales de 45 o 60 grados formando tetraedros o pirámides. **Cúpulas geodésicas**: grandes superficies curvas formadas por pequeñas superficies planas conformadas por triángulos, hexágonos o pentágonos. **Lámelas**: grandes estructuras conformadas por barras de pequeña sección entrelazadas entre sí.





**Figura G.9.3-3 — Cúpula Geodésica**

En estos tres sistemas estructurales el diseñador tendrá en cuenta además de las cargas gravitacionales, las cargas horizontales generadas por viento y sismo. Para ello deberá especificar en forma apropiada riostras y contravientos, así como diafragmas y muros de corte para dos direcciones ortogonales, según lo establecido en el Capítulo G.7. El espesor del recubrimiento será definido de acuerdo con las fuerzas cortantes calculadas y la separación de los pies derechos.

Debe tenerse en cuenta que la efectividad del sistema resistente de fuerzas horizontales depende de las conexiones y por lo tanto, ellas deben diseñarse para lograr una efectiva transmisión de esfuerzos.

De particular importancia es la fijación de los elementos de recubrimiento como contrachapados, enlistonados y tableros a las estructuras de soporte. En consecuencia, el diseñador deberá especificar el tipo de grapas, tornillos o clavos, así como su espaciamiento y penetración.

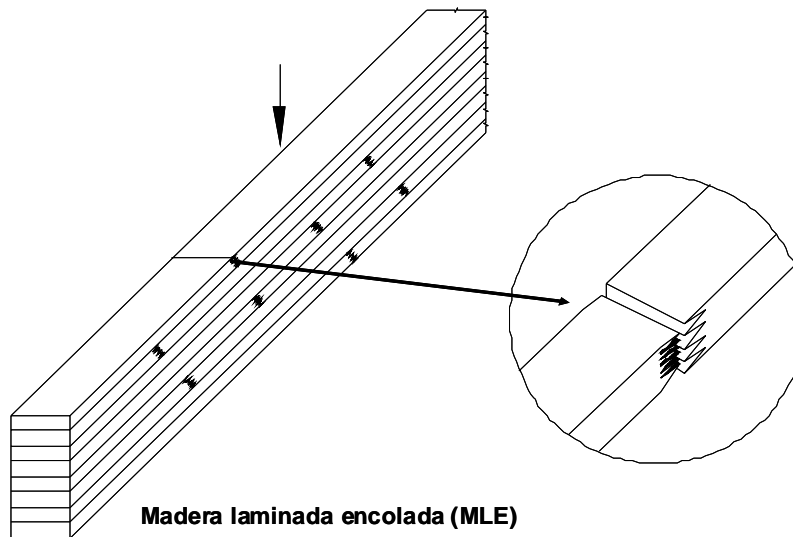
## **G.9.4 — SISTEMAS ESTRUCTURALES COMBINADOS**

Es muy frecuente, especialmente en proyectos de vivienda, combinar estructuras de mampostería o pórticos o paneles de concreto con componentes de madera. El calculista será responsable de analizar y asignar a cada material su participación en la resistencia y rigidez del conjunto y de determinar los detalles de conexión entre ellos.

**G.9.4.1** — En el diseño de conexiones se debe impedir el contacto de los elementos de madera con el agua de mamposterías, concretos o pañetes cercanos. Para ello deben evitarse los empotramientos, dejar las paredes verticales de vigas de madera separadas con aislamientos de aire. Utilizar soportes metálicos o recubrir las maderas con barreras impermeables confiables. Deben igualmente observarse las recomendaciones sobre protección de la madera de los Capítulos G.11.4.4, G.11.4.5 Y G.11.4.6.

## **G.9.5 — MADERA LAMINADA**

La madera laminada (Glulam en inglés) es una técnica que consiste en producir elementos macizos de gran resistencia, por ensamble de tablas pequeñas de excelente calidad, libres de defectos, encoladas con adhesivos estructurales unas a otras en sus extremos (unión “finger Joint”) y caras, de forma tal que se comporten como una sola unidad estructural. Los elementos así formados pueden tener diferentes aplicaciones como columnas, vigas, viguetas, cerchas, pórticos y arcos de grandes dimensiones que pueden ser fabricados rectos o curvos y su longitud estará determinada por las limitaciones del transporte y de los equipos de montaje.



**Figura G.9.5-1 — Madera Laminada encolada (MLE)**

Para su correcta realización la técnica de laminación requiere especiales condiciones de temperatura y humedad relativa, así como madera seca a un contenido de humedad del 12% y cuidadoso proceso de fresado, corte prensado y acabado ya que, normalmente la madera laminada se deja a la vista.

Los adhesivos utilizados son generalmente resistentes a la humedad, de tal manera que la madera laminada puede ser empleada en estructuras a la intemperie. En ningún caso se permitirá el uso de adhesivo del tipo PVA, para elementos estructurales, ni siquiera para las uniones tipo finger joint. La norma ICONTEC NTC 2500 regula la calidad de los adhesivos.

Las lamelas constitutivas de las secciones pueden ser organizadas de acuerdo con su resistencia y rigidez a fin de obtener componentes más eficientes. Por ejemplo en las vigas se colocan las mejores maderas en las caras superior e inferior y las de menor calidad hacia el centro.

Por la responsabilidad estructural que tienen los componentes de madera laminada las plantas de fabricación deben estar certificadas y en su defectos deben tener establecido un plan de calidad de manera tal que los procesos sean debidamente monitoreados y registrados por personal competente. Los fabricantes de madera laminada deben seguir rigurosamente las instrucciones de manejo de los equipos y de los adhesivos, así como observar las especificaciones sobre secado, inmunización, distribución del adhesivo, tiempo y presión del prensado, tiempo del curado, acabado superficial e identificación de las piezas y elementos de unión.

De particular importancia en la fabricación de madera laminada es evitar la delaminación de lamelas por incorrecto manejo del adhesivo o del prensado o del curado. El montaje de elementos de madera laminada requiere la participación de personal entrenado y de equipos pesados. En el montaje deben observarse todos los requisitos de seguridad industrial.

**G.9.5.1 — MÉTODO DE DISEÑO ESTRUCTURAL** — Dado lo reciente de este sistema en Colombia se establecerá como método de diseño estructural el Método de esfuerzos admisibles.

**G.9.5.2 — NORMATIVIDAD** — Tanto para la obtención de los esfuerzos admisibles de la madera laminada como para la producción de elementos estructurales, los fabricantes se ceñirán a las normas vigentes internacionales, especialmente lo establecido en el Timber Construction Manual del AITC, Versión Quinta, 2004 (Referencia RG.9), en el Eurocode 5 o en las Normas Chilenas. En lo referente a los esfuerzos admisibles, estos deben ser certificados por un laboratorio de una Universidad Nacional o extranjera de reconocida trayectoria en la materia y como método estadístico de obtención de esfuerzos admisibles se deben seguir el del percentil del 5%.

## CAPÍTULO G.10 ASERRADO

### G.10.1 — ASERRADO DE MADERA PARA CONSTRUCCIÓN

**G.10.1.1 — GENERALIDADES** — El aserrado de madera para construcción deberá hacerse preferencialmente con sierras de cinta sin fin o sierras circulares que aseguren una escuadría regular a lo largo del bloque o pieza aserrada obtenida.








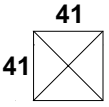
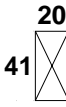
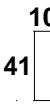




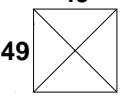






- (a) En maderas difíciles de aserrar con sistemas tradicionales se podrán dar mejores resultados si se introducen variables en la velocidad de las sierras o en la inclinación de los dientes y ángulos de corte.
- (b) La madera deberá aserrarse en corte radial, cuando se quieran piezas de uso estructural exigentes en estabilidad dimensional.
- (c) Los aserraderos deberán producir la madera aserrada en largos que correspondan a la dimensión real comercializada más 1% de la longitud. De la misma manera la escuadría o sección transversal de los bloques y vigas deberá corresponder en la práctica a la dimensión comercial más una tolerancia de 0.5 cm en cada uno de los lados de la escuadría. Para secciones inferiores la medida real deberá coincidir con la medida nominal. Para controlar distorsiones de concentración de esfuerzos se debe producir el aserrado alternando los cortes entre ambos lados del tronco, lo que permite liberar progresivamente las tensiones.
- (d) Los aserraderos deberán producir la madera aserrada en largos que correspondan a la dimensión real comercializada. De la misma manera la escuadría o sección transversal deberá corresponder en la práctica a la dimensión comercial. Para madera de aserrío (bloques o tablones) la dimensión comercial deberá corresponder a la dimensión real.
- (e) Las dimensiones de la madera aserrada deberán darse en el sistema métrico decimal, en metros para la longitud y centímetros para la sección transversal.

**G.10.1.2 — SECCIONES PREFERENCIALES** — Para normalizar la producción de piezas aserradas destinadas a la construcción, la escuadría inicial de las piezas o bloques grandes deberá ser tal que permita la posterior producción de secciones preferenciales con usos más frecuentes en la construcción.

- (a) Se deberá tener en cuenta que durante el reaserrado y producción definitiva de secciones reales habrá pérdidas por corte, cepillado y por contracciones debidas al secado de la pieza de madera.
- (b) La figura G.10.1-1 muestra las posibles combinaciones de escuadrías a partir de una base que es la de la mayor dimensión práctica con calidad exigida para madera estructural.
- (c) Con el objeto de lograr mayor eficiencia y economía en la estructura es recomendable que el diseñador se limite en lo posible al uso de secciones preferenciales recomendadas en la figura 10.1.2 – 1. para lograr mayor eficiencia y economía en el proceso constructivo. Estas secciones son dimensiones reales finales luego de descontar pérdidas por cortes, cepillado y contracciones por secamiento.
- (d) La figura G.10.1-1 contiene las dimensiones de las secciones preferenciales y la denominación de cada una de ellas.
- (e) La madera aserrada deberá comercializarse por volumen, siendo el metro cúbico la unidad comercial.

**G.10.1.3 — NORMAS DE REFERENCIA** — Para efectos de terminología aplicable a madera aserrada se deberá aplicar la norma NTC 172.

- (a) En lo relacionado con definiciones de defectos, se tendrán en cuenta las especificadas en la referencia RG 2 y en la norma NTC 824.
- (b) La medición de defectos de maderas aserradas se hará de acuerdo con lo especificado en la norma NTC 825 o al Manual de Clasificación Visual para Madera Estructural de la Junta del Acuerdo de Cartagena.
- (c) La madera rolliza deberá cumplir los requisitos establecidos en la norma NTC 1557, para poder convertirse en madera aserrada.
- (d) La medición y cubicación de madera rolliza, aserrada y labrada deberá hacerse según lo especificado en la norma NTC 273.
- (e) La clasificación de madera aserrada para la construcción, sus dimensiones y defectos admisibles se harán de acuerdo con lo estipulado en la norma NTC 1646.
- (f) Los bloques y las vigas deben ser suministrados con tolerancias adicionales de 0.5 cm en cada lado.

Bloque o Mesa	Viga	Planchón	Cerco	Repisa	Cuartón	Listón
						
						
						

Nota: Véase las propiedades de las secciones preferenciales en el Apéndice G-F.

**Figura G.10.1-1 — Obtención de Secciones Preferenciales medidas nominales en cm.**

## **CAPÍTULO G.11**

### **PREPARACIÓN, FABRICACIÓN, CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y MANTENIMIENTO**

#### **G.11.1 — GENERALIDADES**

**G.11.1.1** — Todas las labores relativas a la preparación del material, fabricación, transporte e instalación de los elementos de madera, incluyendo sus uniones, deberá regirse por prácticas normalmente aceptadas por la Ingeniería y la Arquitectura y por los requerimientos de este Reglamento.

#### **G.11.2 — PROCESOS DE PREPARACIÓN**

**G.11.2.1 — SECADO DE LA MADERA** — Toda madera destinada a la construcción deberá secarse hasta un CH% lo más próximo posible al contenido de humedad de equilibrio con el medio ambiente en el cual va a quedar instalada.

- (a) Para usos específicos en contacto permanente con el suelo o bajo agua, no habrá necesidad de secar la madera, a menos que deba ser previamente inmunizada. De la misma manera, madera estructural para vigas de sección transversal superior a 0.04 m<sup>2</sup> podrá instalarse en estado verde o simplemente semiseca.
- (b) Aquellas maderas destinadas a productos machihembrados, moldurados, pisos de parqué, puertas, ventanas y similares deberán secarse con 1% a 2% por debajo de la humedad de equilibrio del lugar de uso.
- (c) Las demás maderas para uso estructural o aplicaciones interiores en la construcción, deberán secarse hasta un CH% próximo a la humedad de equilibrio del medio ambiente de su destino final. Como regla general, las maderas para uso estructural deberán estar secas al momento de fabricación por debajo del 19% CH. Las maderas empleadas en los procesos de laminado o deberán secarse hasta un CH del 12%.
- (d) Las maderas destinadas a la construcción podrán secarse por dos sistemas comunes en la industria: secado natural y secado por medios artificiales.
- (e) El secado al aire se desarrollará mediante la exposición de la madera a la acción del medio ambiente. Este proceso se deberá realizar en patios cubiertos con buena ventilación, con prácticas de apilado apropiadas y bajo medidas de seguridad que eviten el deterioro por la acción del clima, agentes biológicos u otras causas.
- (f) Cuando el contenido de humedad deseado sea inferior al contenido de humedad de equilibrio con el medio ambiente del lugar o cuando se requiera madera seca en el menor tiempo posible, se deberán utilizar métodos artificiales de secado.
- (g) El método artificial más aconsejable será en hornos o cámaras de secado mediante la aplicación de temperatura, humedad y ventilación diferentes a las naturales.
- (h) En general, los procesos de secado deberán ajustarse a las especificaciones y recomendaciones del Manual de Secado publicado por la Junta del Acuerdo de Cartagena (Referencia RG.4)
- (i) En el secado artificial en hornos se deberán tener en cuenta las siguientes recomendaciones de carácter general:
  - (1) Los secamientos se deberán efectuar mediante un horario o programa de secado, según lo determine quien lleve a cabo el proceso, aplicable a cada especie y espesor de madera.
  - (2) Durante el proceso de secado y al final del mismo, se deberán llevar a cabo pruebas de control de secado y defectos por tensiones. Dichas pruebas consistirán en el "contenido de humedad estratificado" y la "prueba de tenedor". Mediante tales pruebas se podrá garantizar un secado libre de defectos y tensiones que puedan afectar la madera durante procesos ulteriores o en uso.
  - (3) Debe dejarse un registro escrito del proceso de secado en donde se identifique el sistema de secado, las fechas y el lote de secado con las especies, las cantidades, las secciones y la disminución del contenido de humedad obtenido.
- (j) Otro método de secado aplicable será el secado por deshumectadores, que utiliza recintos cerrados pero temperaturas no tan altas como el secado en hornos.
- (k) En circunstancias especiales se podrán utilizar otros métodos de secado artificial tales como secado al vacío, por alta frecuencia o secado en solventes orgánicos.
- (l) La comprobación del contenido de humedad en el comercio de madera para construcción se podrá hacer mediante el uso del xilohigómetro o medidor eléctrico de humedad.

- (m) En el Manual de Diseño para maderas del Grupo Andino de la Junta del Acuerdo de Cartagena (Referencia RG.1) se encuentra a manera de información una tabla con datos sobre el comportamiento del secado de maderas aptas para construcción, así como una descripción gráfica de los defectos de secado más comunes (tabla 2.3 y figura 2.7 de la publicación citada).

**G.11.2.2 — PRESERVACION DE LA MADERA** — Se entiende por preservación o inmunización de la madera el proceso mediante el cual se aplica un producto químico capaz de protegerla contra el ataque de hongos, insectos o taladradores marinos.

- (a) Los productos químicos que se podrán utilizar son los especificados en las normas NTC 1764, NTC 1767, NTC 1854 y NTC 2247, consistentes en productos inorgánicos oleosolubles. Al utilizar los productos mencionados se deberán cumplir los requisitos establecidos en las normas ICONTEC correspondientes.
- (b) Toda madera antes de someterse a un proceso de inmunización deberá prepararse apropiadamente. Dicha preparación consistirá en una o varias de las siguientes acciones:
- (1) **Descortezado** — Especialmente de madera que se va a utilizar en forma rolliza como postes, pilotes, etc.
  - (2) **Secado** — Según el proceso de inmunización el contenido de humedad es distinto pero en cada caso deberá ajustarse a las especificaciones técnicas del proceso.
  - (3) **Incisionado** — Maderas aserradas o rollizas de alta densidad o muy impermeables deberán incisionarse para asegurar una penetración más profunda y homogénea de la sustancia inmunizante.
  - (4) El dimensionamiento final y las operaciones de cajeado, perforaciones o trabajos similares deberán realizarse antes del proceso de preservación. Si por fuerza mayor debiera hacerse algún corte o taladrado posteriormente al tratamiento se deberá preestablecer la capa protectora mediante pastas preservadoras o similares.
- (c) Según los requerimientos de protección, el uso de la madera y las características de ella, se aceptarán dos métodos de preservación: tratamiento sin presión y tratamiento a presión.
- (d) Los tratamientos sin presión más aceptables son: aplicación con brocha, pulverización o aspersion, inmersión, baño caliente y frío, difusión y doble difusión.
- (e) Los tratamientos a presión aceptables son: a célula llena y a célula vacía.
- (f) Las maderas preservadas mediante procesos a presión deberán cumplir con la norma NTC 2083, en cuanto a los requisitos de penetración y retención neta de acuerdo con las condiciones de uso.
- (g) Los ensayos para determinar la penetración y retención de la sustancia inmunizante deberán ajustarse a las especificaciones de las normas NTC 1093 y NTC 1157 respectivamente.
- (h) La toma de muestras para los ensayos mencionados deberá seguir los procedimientos de la norma NTC 1822.
- (i) La evaluación del valor fungicida de los preservativos para madera se hará según la norma NTC 1128 (ASTM D 1413).
- (j) La efectividad de los preservativos en condiciones normales de uso de la madera inmunizada se podrá evaluar mediante la norma NTC 794.
- (k) La terminología más usual relacionada con los materiales y procedimientos de preservación será aquella establecida en la norma NTC 1149.
- (l) Algunas maderas no requerirán tratamientos inmunizantes debido a las condiciones de uso o a su propia durabilidad natural. La durabilidad natural o resistencia natural de las maderas a la pudrición podrá evaluarse en forma acelerada mediante el método descrito en la Norma NTC 1127.
- (m) En los tratamientos de vacío-presión las inmunizadoras deberán dejar registros escritos y suministrar al cliente la siguiente información mínima:
- (1) Tipo de tratamiento utilizado.
  - (2) Tipo de inmunizante.
  - (3) Penetración.
  - (4) Retención.
  - (5) Garantía otorgada según uso.
  - (6) Precauciones y recomendaciones de uso.
- (n) En los procedimientos de aplicación manual deberán suministrarse al cliente el catálogo u hoja técnica del producto inmunizante. Durante la inmunización se debieran observar todas las normas de seguridad suministradas por el fabricante.

### **G.11.3 — FABRICACION**

**G.11.3.1 — MATERIALES** — Desde el punto de vista de requisitos físicos, la madera utilizada debe cumplir con lo establecido en la tabla de clasificación G.1.3-1

- (a) Toda madera que no sea naturalmente durable deberá ser preservada de acuerdo con las normas establecidas en este Reglamento.
- (b) En estructuras se deberá usar madera seca con un contenido de humedad máxima del 19% o del 12% si se trata de madera laminada
- (c) Las maderas contrachapadas y las láminas de madera aglomerada deben cumplir con las características especificadas en el diseño.
- (d) Los elementos metálicos de las uniones deberán llevar pintura anticorrosiva o en su defecto protección de zincado, si así se especifica en el diseño.

**G.11.3.2 — DIMENSIONES** — Las piezas de madera deben tener las secciones y longitudes especificadas en los planos de taller.

- (a) Las maderas precortadas, las partes prefabricadas o de los elementos que se corten en obra, deben tener las dimensiones y escuadrías especificadas en el diseño.
- (b) Las perforaciones y cajas que se ejecuten en las piezas de madera no deben menoscabar su resistencia estructural. Véase el capítulo G.3.

**G.11.3.3 — TOLERANCIAS** — Las imprecisiones en el corte y ensamblaje de elementos prefabricados coplanares, se limitará a dos uniones por elemento estructural con una abertura promedio máxima de 1.6 mm en el centro del área de contacto. Las máximas tolerancias en las demás juntas del mismo elemento serán la mitad de este valor. La apertura de todas las uniones en elementos estructurales en servicio se limitará a 3.2 mm.

**G.11.3.4 — IDENTIFICACIÓN** — Todo elemento estructural deberá llevar una identificación visible y permanente que coincida con la señalada en los planos de taller y de montaje.

**G.11.3.5 — TRANSPORTE** — Para el transporte de elementos estructurales de madera se emplearán vehículos de la capacidad y dimensiones apropiadas a cada caso. Tales vehículos deberán estar preferiblemente carpados y dispondrán de carrocería y estacas de fijación que garanticen la inmovilidad de la carga durante el viaje.

Se evitará que los elementos estructurales sobresalgan de la carrocería, pero si tal es el caso, deberán zuncharse de una manera adecuada. Adicionalmente se deberán cumplir las normas establecidas por la autoridad competente.

### **G.11.4 — CONSTRUCCIÓN**

**G.11.4.1 — OBJETIVOS** — En esta sección se dan recomendaciones de construcción para las edificaciones de madera y se fijan requisitos de diseño que aseguren el buen comportamiento de las mismas. Se sugiere seguir las recomendaciones del Capítulo “Protección por Diseño” del Manual de Diseño del Pacto Andino (Referencia RG.11).

**G.11.4.2 — LIMPIEZA DEL TERRENO** — En el terreno debe limpiarse de todo material vegetal y deben realizarse los drenajes necesarios para asegurar una mínima incidencia de la humedad. En los casos de construcciones con entrepiso elevado sobre el terreno deben tomarse las medidas que impiden el crecimiento de vegetación y anidamiento de animales debajo del piso.

**G.11.4.3 — CIMENTACIÓN** — Las obras de cimentación deben realizarse de acuerdo con las pautas estructurales y según las características de resistencia del suelo que deberán estar establecidas en el estudio de suelos.

**G.11.4.4 — PROTECCIÓN CONTRA LA HUMEDAD** — Por ser higroscópica y porosa, la madera absorbe agua en forma líquida o de vapor. Si la humedad se acumula en la madera afecta sus propiedades mecánicas, se convierte en conductora de electricidad y sobre todo, queda propensa a la putrefacción y al ataque de hongos. La madera puede humedecerse por acción capilar, por lluvia o por condensación.

- (a) La madera en contacto con el suelo o con alto riesgo de humedad debe ser preservada según lo establecido en G.11.2.2.

- (b) Toda la madera, estructural o no, expuesta a la acción directa de la lluvia debe protegerse con sustancias hidrófugas o con superficies impermeables.
- (c) Todo elemento estructural expuesto a la intemperie debe apoyarse sobre zócalos o pedestales de cemento o metálicos de tal forma que no permanezcan en contacto con el agua apozada y debe ser protegido, lo mismo que los elementos de madera de recubrimiento de muros exteriores, por medio de aleros y deflectores.
- (d) Para prevenir la condensación es necesario evitar los espacios sin ventilación, especialmente en climas húmedos. En aquellos ambientes que por su uso estén expuestos al vapor, como baños y cocinas, además de suficiente ventilación, deben protegerse las superficies expuestas con recubrimientos impermeables.

**G.11.4.5 — PROTECCIÓN CONTRA LOS HONGOS** — Los hongos que atacan la madera son organismos parásitos de origen vegetal que se alimentan de las células que la componen desintegrándola. Se producen sobre la madera húmeda bajo ciertas condiciones de temperatura, por esporas traídas a través del aire o por el contacto directo con otros hongos. La protección de la madera debe comenzar, por lo tanto, desde que se corta. Las maderas con baja durabilidad natural y la madera de albura de todas las especies deben tratarse con sustancias preservantes.

- (a) Debe especificarse madera que haya sido almacenada en condiciones de mínima humedad y que haya sido tratada con fumigantes durante el apilado.
- (b) Debe desecharse la utilización de madera con muestras de putrefacción y hongos.
- (c) La degradación de la madera causada por los hongos podrá evitarse si se utiliza con contenidos de humedad (CH%) menores a 18%. Se deberán tratar con sustancias preservantes, especialmente aquellas maderas con una baja durabilidad natural y la madera de albura de todas las especies.
- (d) Debe evitarse el uso de clavos y otros elementos metálicos que atraviesen la madera en las caras expuestas a la lluvia, salvo que se sellen las aberturas. Se recomienda el uso de clavos galvanizados.

**G.11.4.6 — PROTECCIÓN CONTRA INSECTOS** — La madera puede ser atacada, especialmente en climas húmedos y cálidos, por insectos que perforan su estructura en busca de nutrientes. Entre estos insectos están las termitas subterráneas, los gorgojos y los comejenes.

- (a) En zonas donde existan termitas subterráneas deben eliminarse los restos orgánicos alrededor de la construcción y establecerse barreras de tierra tratada con insecticidas hasta la profundidad de la cimentación.
- (b) Donde existan termitas subterráneas y aladas deben colocarse barreras o escudos metálicos sobre las superficies de la cimentación en forma completamente continua.
- (c) Donde el riesgo de ataque de insectos sea alto debe tratarse la madera de la construcción con los métodos descritos en G.11.2.2.

**G.11.4.7 — PROTECCIÓN CONTRA EL FUEGO** — Para el diseño debe tenerse en cuenta que la madera es un elemento combustible que se inflama a una temperatura aproximada de 270°C, aunque algunas sustancias impregnantes o de recubrimiento pueden acelerar o retardar el proceso ver capítulo J del presente reglamento. Las siguientes medidas contribuyen a proteger las edificaciones de madera contra el fuego.

- (a) No deben utilizarse elementos de calefacción que aumenten peligrosamente la temperatura de los ambientes.
- (b) Las paredes próximas a fuentes de calor deben aislarse con materiales incombustibles.
- (c) Las edificaciones adyacentes construidas con madera deben separarse como mínimo 1.20 m entre sus partes salientes. Si la distancia es menor, los muros no deben tener aberturas y su superficie estará recubierta de materiales incombustibles con una resistencia mínima de 1 hora de exposición. Si están unidas, el paramento común debe separarse con un muro cortafuego de material incombustible. Este muro debe sobresalir en la parte superior por lo menos 0.50 m y en los extremos por lo menos un metro medidos a partir de los sitios que más sobresalgan de las construcciones colindantes. La estabilidad de este muro no debe sufrir con el colapso de la construcción incendiada.
- (d) Las piezas estructurales básicas deben sobredimensionarse 3 mm en su espesor, en la cara más expuesta.
- (e) Deben evitarse acabados que aceleren el desarrollo del fuego, tales como lacas y barnices oleosolubles.
- (f) En el diseño de las instalaciones eléctricas debe tenerse en cuenta, además de las recomendaciones de G.11.4.9, un claro y fácil acceso a los tableros de cortacircuitos y de control.
- (g) En edificaciones de uso comunitario: escuelas, centros de salud, oficinas, locales y centros comerciales, etc., por su tamaño y dada la gran velocidad de propagación del fuego en las edificaciones de madera, se deben considerar las siguientes recomendaciones:



- (1) Acceso rápido y señalizado a las fuentes más probables de incendio.
- (2) Distribución de extinguidores según las recomendaciones de expertos en combatir incendios.
- (3) Salidas de escape suficientes, de fácil acceso y claramente señalizadas.
- (4) En las edificaciones de varios pisos deben proveerse escaleras exteriores de escape.
- (5) Sistemas automáticos de detección, ya sea por humo o calor.
- (h) Los depósitos para el combustible de estufas y calentadores deben localizarse fuera de las edificaciones y deben rodearse de materiales incombustibles o retardadores del fuego.

**G.11.4.8 — PROTECCIÓN CONTRA SISMOS** — Para lograr que las construcciones de madera tengan una adecuada protección contra sismos es preciso que:

- (a) Las estructuras de madera cumplan los requisitos establecidos en los títulos pertinentes de este Reglamento.
- (b) El diseño arquitectónico cumpla los siguientes requisitos de carácter estructural:
  - (1) Que todos los elementos de la construcción estén debidamente unidos entre sí y la estructura anclada a la cimentación.
  - (2) Que la distribución de los muros en planta sea tal que la longitud de éstos en cada dirección permita resistir los esfuerzos producidos por el sismo.
  - (3) Que la cubierta no sea muy pesada con relación al resto de la estructura.
- (c) Los elementos de las instalaciones de agua y desagüe se fijen a la construcción con soportes que eviten la rotura de los mismos durante los movimientos sísmicos.
- (d) Las uniones de conexión a las redes públicas se hagan por medio de empalmes que permitan movimiento sin romperse.
- (e) Las edificaciones de dos o más volúmenes se comporten independientemente en caso de sismo.

**G.11.4.9 — INSTALACIONES ELÉCTRICAS** — La instalación eléctrica de una construcción de madera debe cumplir con los requisitos generales exigidos por las empresas locales de suministro de energía y con lo establecido en el Código Eléctrico Nacional. Las instalaciones eléctricas deberán tener capacidad para entregar sin sobrecarga la energía eléctrica necesaria para el alumbrado y otros equipos instalados en la construcción.

**G.11.4.9.1** — Conductores, cajas, tomacorrientes, interruptores y puntos de iluminación - Todos los cables y alambres eléctricos deben conducirse por entre tuberías metálicas o de plástico, flexibles o rígidas, unidas por cajas metálicas o plásticas.

- (a) El diseño y ejecución de la instalación eléctrica deberá tener en cuenta el sistema constructivo con el fin de permitir una correcta fijación de tuberías, cajas y aparatos.
- (b) Las perforaciones y cajas que sean necesarias practicar en los elementos estructurales no deben comprometer su resistencia y deberán registrarse por G.3.4.3.1-Especificaciones de cajas en elementos a flexión madera aserrada.
- (c) Debe tenerse especial cuidado de que la instalación eléctrica no sea perforada o interrumpida por clavos que atraviesen los paneles y entramados.
- (d) En caso de utilizarse a la vista, éstas deben fijarse a los elementos estructurales.
- (e) Toda instalación eléctrica, interna o a la vista, debe quedar protegida de la lluvia y la humedad.

**G.11.4.9.2** — Circuitos - Los circuitos eléctricos deben llevar alambres y cables con capacidad de conducción suficiente para no sufrir sobrecargas.

- (a) Cada circuito debe tener un interruptor de protección automático y además debe existir un interruptor general para todos los circuitos.
- (b) Las cocinas, los calentadores y todos aquellos equipos que consuman gran cantidad de energía deben tener un circuito independiente cada uno, con cableado y cortacircuito de capacidad apropiada.
- (c) En las instalaciones eléctricas de construcciones en madera es indispensable mantener continuidad en la masa, ya sea utilizando tubería o cajas metálicas o un cable desnudo a través de toda la instalación. Esta masa debe llevarse a tierra por medio de una barra metálica enterrada.

**G.11.4.10 — INSTALACIONES HIDRÁULICAS Y SANITARIAS** — Las instalaciones hidráulicas y sanitarias, deberán cumplir los reglamentos de construcción vigentes. El diseño de las redes de agua potable fría y caliente, aguas lluvias y redes de aguas negras y ventilación deberá tener en cuenta el sistema constructivo y estructural. Se tendrá cuidado de no debilitar las secciones de madera estructural para lo cual se deberán ceñir estrictamente a G.3.4.3.1, referente

a, especificaciones de cajas en elementos a flexión madera aserrada. Las tuberías de aguas negras en las baterías sanitarias deberán ser instaladas a lo largo de las vigas para no abrir cajas ni perforaciones en ellas, pero si ello no es posible, las tuberías deberán ser instaladas o por encima de las vigas, viguetas y piso, construyendo un sobre piso, con terminado en madera o baldosa. El diseño arquitectónico deberá contemplar ductos para bajantes de tuberías sanitarias, de ventilación y de lluvias. También se podrá contemplar la posibilidad de colocar las tuberías de las baterías sanitarias, por debajo de los elementos de entrepiso, para luego colocar un falso techo de acuerdo con la figura G.11-1. Se recomienda revestir la tubería sanitaria con lana de vidrio, para evitar ruidos por el escurrimiento del agua. El diseño arquitectónico contemplará la coincidencia de baños en pisos diferentes, para la utilización de la menor cantidad de bajantes, y en un mismo piso la ubicación de baños y cocinas con el mismo objetivo. El diseño hidráulico y sanitario deberá contemplar que en el recorrido de las tuberías no se afecte la estabilidad estructural de la edificación, con cajas y perforaciones innecesarias.

**G.11.4.10.1 — Tuberías, aparatos y desagües** - Pueden emplearse tuberías para el caso de agua potable fría P.V.C. plásticas y éstas serán de la calidad señalada en la tabla G.11.4-1 tanto para agua fría como para agua caliente. En el caso de agua caliente también se podrán utilizar tuberías de cobre, cuidando de utilizar abrazaderas y tornillos del mismo material, pues si se utilizan de material metálico diferente, se produce un proceso electroquímico altamente corrosivo. Las tuberías deberán fijarse convenientemente a la edificación, para evitar vibraciones que puedan romperlas o producir ruidos molestos. Antes de efectuar los revestimientos, en las tuberías de agua potable, se deberá hacer una prueba de presión, en tiempo de temperatura constante, para verificar que no existan filtraciones de agua y lo anterior de acuerdo con el código nacional de instalaciones sanitarias en edificios. Los aparatos sanitarios deben ser apropiados para ser fijados a las paredes de madera. Será necesario proveer en las estructuras y en los entramados los sitios de fijación de los aparatos, reforzándolos para el efecto. Las tuberías para suministro de agua y desagüe no deben servir de apoyo. Para los desagües podrán utilizarse tubería, plásticas tipo A. N. con mínimo una unión flexible cada 2 pisos en las bajantes, para que resistan las vibraciones y los cambios dimensionales naturales en las construcciones con madera y deben fijarse a la estructura en forma tal que las vibraciones y dilataciones no las deterioren. El mismo tratamiento deberán tener las bajantes de Ventilación y de Aguas Lluvias. Los puntos de empate a las redes externas de los elementos de agua y desagüe deben estar protegidos contra el efecto de los sismos cuando así lo requiere el Título A del Reglamento.

**Tabla G.11.4-1**  
**Especificaciones de tuberías Hidráulicas y red de incendio**

		1/2"	3/4"	1"	1-1/4"	2"
AGUA FRIA	PVC	RDE-9	RDE-11	RDE-13.5	RDE-21	RDE-21
A. CALIENTE	CPVC	82 o C 100 psi				
A. CALIENTE	COBRE					
R. INCENDIO	H.G.	SCHDULE 40				

**Tabla G.11.4-2**  
**Especificaciones de tuberías Sanitaria, Ventilación y Lluvias**

AGUA SANITARIA	PVC	TUBERIA SANITARIA
VENTILACION	PVC	VENTILACION
AGUAS LLUVIAS	PVC	TUBERIA SANITARIA-TUB.VENTILACION

## G.11.5 – TRANSPORTE Y MONTAJE

**G.11.5.1 — GENERALIDADES** — Las recomendaciones aquí incluidas deben considerarse como mínimas para el transporte y montaje de estructuras de madera. Adicionalmente el constructor o el montador de las estructuras aplicarán las normas de la buena práctica constructiva para evitar accidentes y daños.

**G.11.5.2 — PERSONAL** — La entidad responsable del montaje se asegurará que los carpinteros armadores tengan suficiente experiencia, sean dirigidos por un capataz responsable e idóneo y disponga del equipo y herramientas adecuadas. Todo personal que participe en la operación de montaje deberá estar amparado por una ARP y una EPS.

**G.11.5.3 — PLANOS DE MONTAJE** — Los carpinteros armadores dispondrán de planos que contengan las indicaciones sobre izaje y ubicación de elementos estructurales, secuencia del armado, arriostramiento definitivo y precauciones especiales.

**G.11.5.4 — SUMINISTRO POR LA OBRA** — El constructor suministrará al armador de la estructura los ejes y niveles para adelantar el montaje. Igualmente entregará las bases, muros y vigas de apoyo niveladas y plomadas con mortero, hará los resanes y suministrará fuerza eléctrica de 110v a máximo 6 m del sitio de montaje, andamios y planchones completos, espacio de almacenamiento, campamento, vigilancia y vías de acceso.

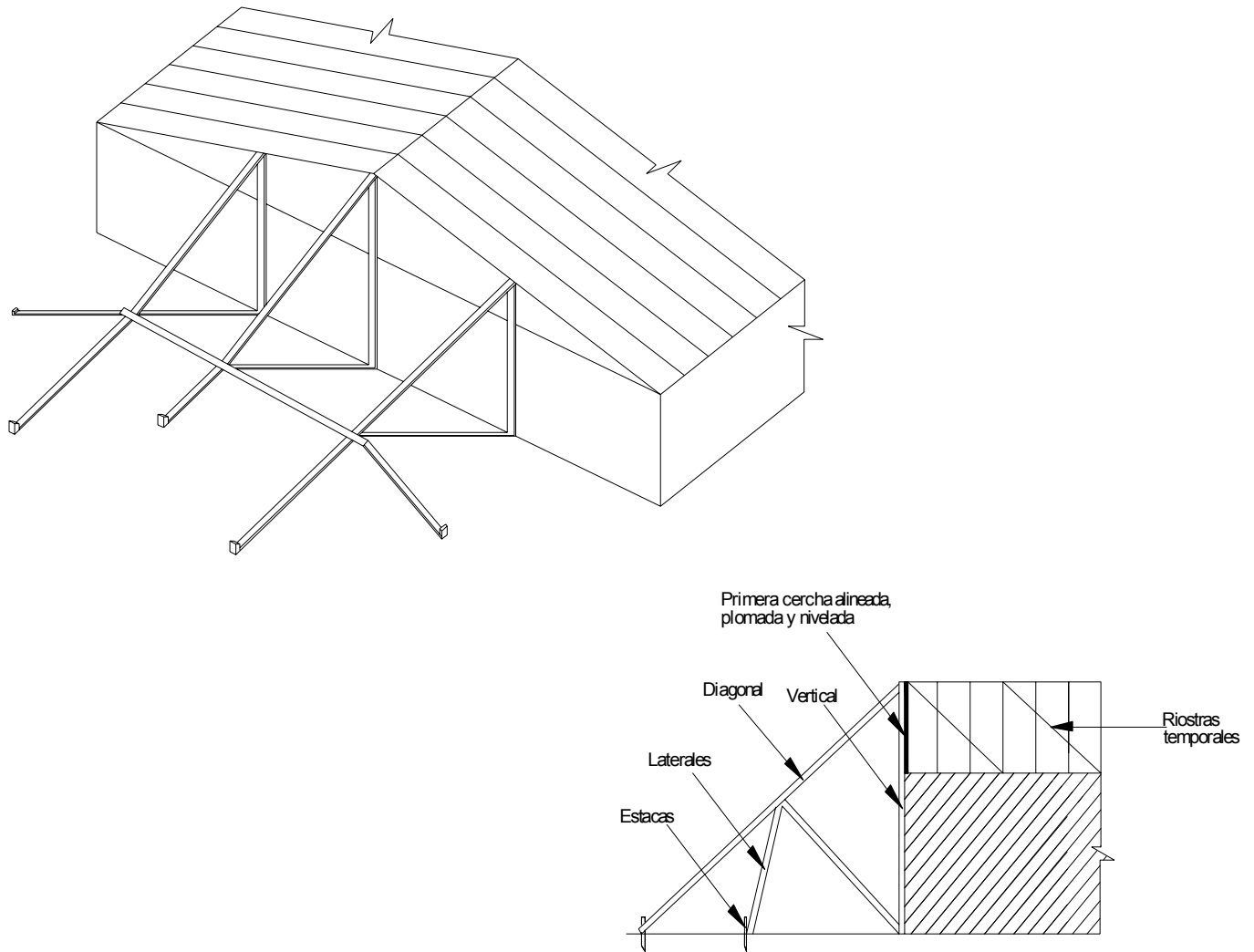
**G.11.5.5 — TRANSPORTE, CARGUE Y DESCARGUE** — Las operaciones de transporte, cargue y descargue de elementos estructurales deberá hacerse de tal manera que no se introduzcan esfuerzos indeseables o daños en las superficies y aristas de los mismos. En lo posible se tratará de manipular las cerchas en forma vertical, esto es, como fueron diseñadas. Las operaciones de izado de elementos estructurales que se efectúan con grúas se deberá disponer de aparejos, estrobos y manilas apropiadas. El diseñador indicará en los planos de montaje los puntos de agarre.

**G.11.5.6 — ALMACENAMIENTO** — Las piezas de madera, vigas, cerchas, paneles prefabricados, etc., deben apilarse durante el transporte, y almacenarse en forma tal que no estén sometidos a esfuerzos para los que no hayan sido diseñados, los cuales pueden producir roturas y/o deformaciones permanentes.

- (a) Las piezas y las estructuras de madera deben mantenerse cubiertas de la lluvia, bien ventiladas y protegidas de la humedad y del sol.
- (b) Se recomienda almacenar los elementos estructurales sobre superficies niveladas, provistas de maderas separadas por distancias cortas de tal manera que la humedad del suelo no los afecte. Las pilas deben tener una estabilidad adecuada.
- (c) Los patios de almacenamiento deberán quedar lo mas cerca posible al sitio de montaje y en la obra deberán tener área e iluminación suficientes para permitir el manipuleo cómodo y seguro de los elementos estructurales.

**G.11.5.7 — ANCLAJES, ARRIOSTRAMIENTOS Y EMPALMES** — Todos los miembros y elementos estructurales deberán estar anclados, arriostrados, empalmados e instalados de tal forma que garanticen la resistencia y rigidez necesarias para cumplir con los propósitos del diseño. Los carpinteros armadores deberán poseer la preparación y experiencia necesarias, de acuerdo con la calificación establecida por el constructor responsable de la obra.

**G.11.5.7.1 — Anclajes** — El diseñador deberá especificar en los planos el tipo de anclaje, sus dimensiones y separaciones. Los anclajes a los muros o a la estructura de concreto deben *ejecutarse de acuerdo con el diseño estructural*.



**Figura G.11.5-1 — Apuntalamiento y arriostramiento temporales de cerchas**

**G.11.5.7.2 — Arriostramiento temporal** — El objetivo del arriostramiento temporal es el de garantizar un adecuado soporte a los elementos en el plano perpendicular, con el fin de mantenerlos en la posición señalada en los planos y que puedan resistir las fuerzas sísmicas y de viento durante la construcción. El arriostramiento temporal es responsabilidad del armador de la estructura.

- (a) El apuntalamiento y arriostramiento temporales deben hacerse con puntales y listones de suficiente calidad estructural y no deben removerse hasta que la estructura esté aplomada, nivelada, asegurada y arriostrada definitivamente en el lugar que le corresponde.
- (b) Como es práctica normal amarrar todas las estructuras entre sí, es muy importante asegurarse de que el primer elemento esté bien soportado y aplomado.
- (c) En el caso de cerchas y pórticos no se recomienda el uso de espaciadores cortos entre los elementos estructurales; en su lugar deben emplearse piezas de madera largas, colocadas diagonalmente y clavadas a varios elementos con la separación definitiva.
- (d) Debe prestarse atención especial al arriostramiento temporal de las cerchas, pórticos, arcos y vigas de cordones paralelos en el plano vertical.
- (e) El arriostramiento temporal debe colocarse de tal manera que no impida la instalación del arriostramiento definitivo.
- (f) El arriostramiento temporal deberá mantenerse hasta que se instale el arriostramiento definitivo.

**G.11.5.7.3 — Arriostramiento definitivo** — El diseñador deberá especificar en los planos la clase de arriostramiento definitivo, sus dimensiones y ubicación. Estos contravientos, riostras y separadores deberán garantizar la estabilidad vertical y horizontal de los elementos estructurales, así como prevenir el pandeo de los mismos. El montador de la estructura deberá consultar con el diseñador cualquier modificación hecha a los planos.

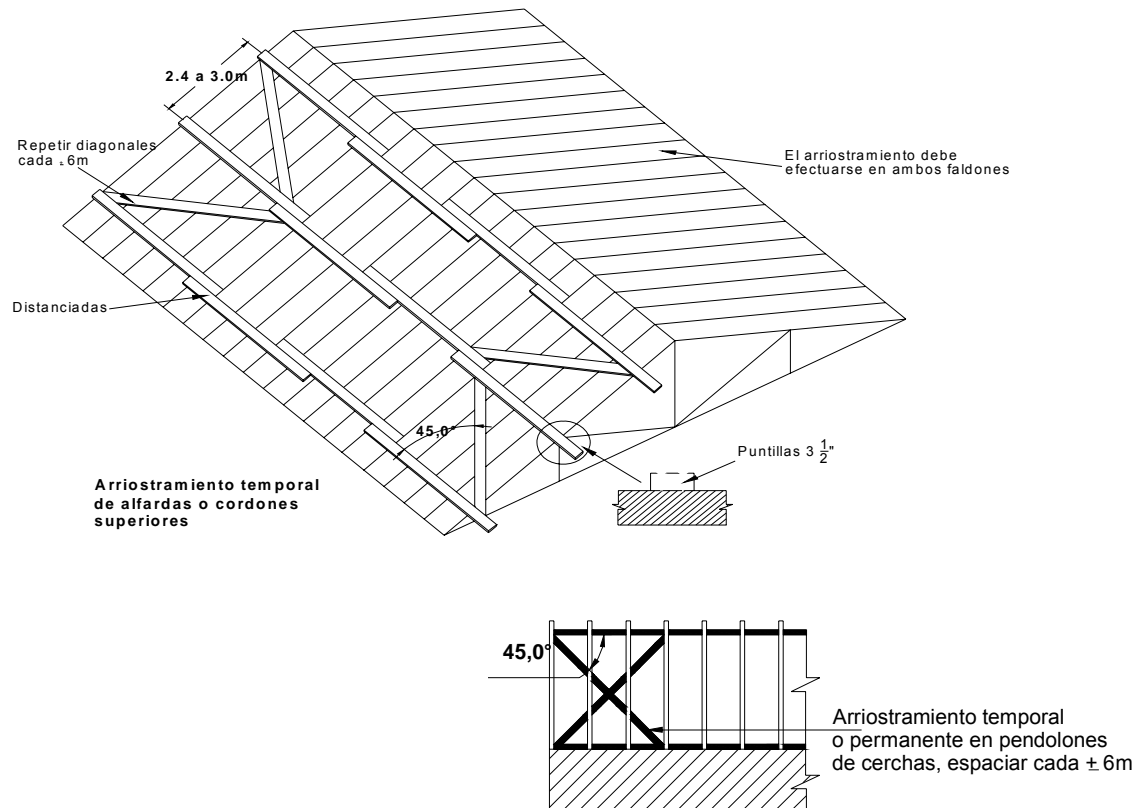


Figura G.11.5-2 — Arriostramiento Definitivo

**G.11.5.7.4 — Cortes y cajas** — El montador de las estructuras de madera no deberá efectuar cajas, disminuciones de la sección o cortes no autorizados por el diseñador de la misma.

**G.11.5.7.5 — Empalmes y uniones** — Para requisitos de instalación de pernos, tornillos golosos, tornillos tirafondos y clavos. Véase capítulo G.7.

**G.11.5.7.6 — Rehabilitación de elementos defectuosos** — La Norma NTC 2500 (Ref. RG.6) define en 3.1 la madera como un material heterogéneo poroso, de origen vegetal, constituido por células muertas, biodegradable, combustible, e higroscópico y anisotrópico. Como ser vivo que fue, el material de construcción “madera” presenta gran variedad físicas y mecánicas, y adicionalmente, cada pieza es un reflejo de todos los factores que afectaron su crecimiento. (Anillos de crecimiento, densidad, sentido de la fibra, nudos, depósitos, ataques de hongos e insectos).

**G.11.5.7.7** — Por su mismo origen y debido a los procesos de apeo, aserrado, transporte, secado, inmunización y maquinado las piezas de madera pueden presentar diversos defectos que no afectan su resistencia. Si tales defectos no sobrepasan las tolerancias establecidas en la tabla G.3.3-1, se deben corregir durante el montaje por medios mecánicos (clavos, tirafondos, separadores) o por remoción y reemplazo de pequeñas áreas y el resane de fisuras y grietas con posterior aplicación del inmunizante y la pintura.

**G.11.5.8 — NORMAS DE SEGURIDAD** — Si algunas partes de la estructura que se está montando se utilizan como base para andamios se deben apoyar en sitios suficientemente resistentes.

- (a) No debe dejarse ningún tornillo sin tuerca y arandela, ningún tornillo goloso debe sobresalir y a todo clavo que sobresalga se le debe doblar la punta.

- (b) Durante el montaje deben respetarse las normas de seguridad del personal y emplearse los equipos de protección necesarios.

## **G.11.6 — MANTENIMIENTO**

**G.11.6.1 — GENERALIDADES** — Toda edificación de madera aunque esté bien construida requerirá revisiones, ajustes y reparaciones para prolongar su vida útil. Al poco tiempo de construida probablemente será necesario arreglar fisuras en las uniones de las maderas y desajustes en puertas y ventanas debidos al asentamiento en el terreno y al acomodo de la madera a la humedad del ambiente. Posteriormente será necesario efectuar revisiones periódicas y ejecutar los arreglos necesarios, por ejemplo:

- (a) Reclavar o apretar tuercas de los elementos que por la contracción de la madera debido a vibraciones o por cualquier otra razón se hayan desajustado.
- (b) Si se encuentran roturas, deformaciones o podredumbres en las piezas estructurales dar aviso al constructor.
- (c) Repintar las superficies deterioradas por efectos del viento y del sol.
- (d) Si la madera ha sido tratada con inmunizantes colocados con brocha, aplicar un nuevo tratamiento con la periodicidad y las precauciones que recomienda el fabricante del producto que se use.
- (e) Revisar los sistemas utilizados para evitar las termitas aéreas y subterráneas (véase G.11.4.6).
- (f) Fumigar por lo menos una vez al año para evitar la presencia de insectos domésticos y ratas.
- (g) Mantener las ventilaciones de áticos y sobrecimientos sin obstrucciones.
- (h) Inspeccionar posibles humedades que puedan propiciar la formación de hongos y eliminar sus causas.
- (i) Limpiar y si es necesario, arreglar canales y desagües de los techos.
- (j) Verificar la integridad de la instalación eléctrica.
- (k) Los sistemas especiales de protección contra incendios deberán ser verificados en forma periódica y se deberán dejar informes de la intervención efectuada.
- (l) En caso de construcciones sobre pilotes, revisar el apoyo homogéneo de la estructura, su nivelación y estado.



## CAPITULO G.12

### ESTRUCTURAS DE GUADUA

#### G.12.1 — ALCANCE

**G.12.1.1** — El presente capítulo establece los requisitos para el diseño estructural y sismo resistente de estructuras cuyo elemento resistente principal es el bambú *Guadua angustifolia* Kunth. Una estructura de guadua diseñada de acuerdo con los requisitos de este Reglamento, tendrá un nivel de seguridad equivalente al de estructuras diseñadas con otros materiales.

**G.12.1.2** — Los requisitos de este Capítulo pueden ser utilizados para el diseño de elementos de estructuras construidas totalmente con guadua, o para estructuras mixtas de guadua y otros materiales.

**G.12.1.3** — El diseño de construcciones para vivienda estará limitado a dos pisos, no se permitirán muros de mampostería o concreto en el nivel superior de las edificaciones. Esta norma no se podrá utilizar para el diseño de ningún tipo de puente o estructuras diferentes de edificaciones, limitándose a aquellas cuyo uso sea vivienda, comercio, industria y educación.

**G.12.1.4** — Cuando se construyan estructuras con un área superior a 2000 m<sup>2</sup>, se recomienda realizar una prueba de carga antes de darla en funcionamiento.

**G.12.1.5** — Este Capítulo se puede complementar con el Capítulo E.7 — “Bahareque encementado”, capítulo E.8 — “Entrepisos y uniones en bahareque encementado”, y capítulo E.9 — “Cubiertas para construcción en bahareque encementado” del Título E — “Casas de uno y dos pisos” del presente Reglamento. Además se podrá complementar con las normas técnicas colombianas NTC-5300 Cosecha y postcosecha del culmo de *guadua angustifolia* kunth, NTC 5301 Preservación y secado del culmo de *guadua angustifolia* kunth, NTC 5407 Uniones de estructuras de *guadua angustifolia* kunth, NTC 5525 Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la *guadua angustifolia* kunth, publicadas por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC. Además, en su redacción, se utilizó como material base las guías de diseño para estructuras de *guadua angustifolia* kunth, de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Se recomienda el uso complementario de las normas citadas, pero en todo caso siempre primará lo expuesto en el presente capítulo.

#### G.12.2 — TÉRMINOS Y DEFINICIONES

**G.12.2.1** — A continuación se definirán los términos más utilizados en este Capítulo:

**Acción conjunta** — Participación de tres o más elementos estructurales con una separación entre ellos no mayor de 600 mm, para soportar una carga o un sistema de cargas, y que están unidas entre sí de manera continua.

**Alfarda** — Par o cuchillo de una armadura de cubierta que se coloca perpendicular a la fachada.

**Anisotropía** — Propiedad de ciertos materiales que, como la guadua, presentan propiedades diferentes según la dirección que se considere.

**Arandela** — Pieza metálica en forma de corona, utilizada en uniones empernadas para repartir la fuerza en área mayor.

**Armadura** — Conjunto de elementos de guadua que ensamblados en configuraciones triangulares planas o espaciales conforman un sistema o sub-sistema estructural que resiste y transfiere carga en todas las direcciones, hacia la cimentación o los elementos de soporte.

**Basa** — Segundo segmento del culmo de guadua, a continuación de la cepa, con longitud entre 4 y 6 m.

**Capacidad, de un elemento o componente estructural** — Es la máxima fuerza axial, fuerza cortante y momento flector que es capaz de resistir un elemento o componente estructural.

**Capacidad modificada para diseño** — Es la capacidad de un elemento o componente estructural afectada por los coeficientes de modificación.

**Carga de servicio** — Cargas estipuladas en el Título B del presente Reglamento.

**Cargar** — Aplicar fuerzas a una estructura o elemento estructural.

**Celosía** — Viga de cordones paralelos con pendolones y diagonales que forman triángulos continuos.

**Cepa** — Primer segmento basal del culmo de guadua con longitudes que fluctúan entre 3 a 4 m; es la parte de la guadua que presenta el mayor diámetro y el mayor espesor de pared.

**Cercha** — Elemento estructural triangulado que recibe las cargas de la cubierta

**Coefficiente de modificación** — Son los coeficientes por los cuales se afecta a los esfuerzos admisibles y a los módulos admisibles de elasticidad, para tener en cuenta las condiciones de uso particular de un elemento o componente estructural y así obtener los valores modificados que pueden ser usados en el diseño estructural.

**Columna** — Pieza cuyo trabajo principal es a compresión.

**Columna armada** — Columna formada por varias piezas ensambladas.

**Columna espaciada** — Columna formada a partir de dos o más piezas individuales de guadua, empernadas entre sí para funcionar como una sola.

**Condición de uso** — Se refiere a la condición de exposición al medio ambiente, a la forma de uso y al tipo de cargas que solicitaran al elemento durante su etapa de servicio.

**Conicidad** — Se define como la diferencia de los promedios de los diámetros en los extremos, dividida por la longitud entre ellos. Para la Guadua angustifolia la conicidad del culmo no debe ser mayor que 0.006.

**Contracción** — Reducción de las dimensiones de una pieza de madera causada por la disminución del contenido de humedad por debajo de la zona de saturación de las fibras, que se presenta en los sentidos radial, tangencial y longitudinal.

**Cordones** — Miembro superior o inferior de una armadura o cercha.

**Cuchillo** — Alfarda o par de una armadura de cubierta o vértices.

**Culmo** — Eje aéreo segmentado de los bambúes, formado por nudos y entrenudos, que emerge del rizoma; es el equivalente al tallo de un árbol.

**Cumbrera o Caballete** — Parte más alta del tejado en donde se unen los faldones.

**Deformación inicial del eje** — Es la deformación que puede experimentar una pieza de guadua por la curvatura del eje de la pieza, entendiéndose por curvatura la desviación del eje de la pieza respecto a la línea recta que une los centroides de sus secciones extremas.

**Descargar** — Remover fuerzas de una estructura o de un elemento estructural.

**Densidad básica (DB)** — se define como el cociente entre la masa en estado anhidro (guadua seca al horno) y el volumen de la guadua en estado verde (VV).

**Diafragma** — Subsistema estructural encargado de la transmisión y resistencia de las fuerzas horizontales principalmente por acción en su plano. Los diafragmas pueden ser horizontales (entrepisos y cubiertas), verticales (muros de corto) ó inclinados (cubiertas).

**Distancia al extremo** — Distancia del centro de un elemento de unión (conector) a la punta de la pieza de guadua.

**Distancia centro a centro** — Distancia del centro de un elemento de guadua al centro de otro elemento de guadua adyacente o distancia del centro de un elemento de unión al centro del elemento de unión adyacente.



**Ductilidad por desplazamiento** — Relación entre el desplazamiento correspondiente al esfuerzo de rotura del material y el desplazamiento correspondiente al esfuerzo de fluencia del material.

**Elemento principal** — En el diseño de uniones sometidas a cortante simple, es el elemento de guadua de mayor diámetro.

**Elemento lateral o secundario** — en conexiones sometidas a cortante simple o múltiple, son los elementos de guadua o platinas de acero no cubiertos por la definición anterior.

**Entramado** — Conjunto de elementos estructurales como vigas y viguetas en entresijos y cubiertas o como pies derechos en muros, que se encargan de dar soporte al material de revestimiento.

**Entrenudo** — Porción del culmo comprendida entre dos nudos; también se le conoce como canuto o cañuto, su longitud varía a lo largo del culmo.

**Esfuerzos admisibles** — Son los esfuerzos de compresión paralela, compresión perpendicular, corte paralelo, flexión, tracción paralela y tracción perpendicular, que resisten los elementos estructurales de guadua.

**Esfuerzos admisibles modificados para diseño** — Es el esfuerzo resultante de multiplicar el esfuerzo admisible de referencia por los coeficientes de modificación aplicables. Es el esfuerzo que debe ser usado para realizar el diseño estructural y para revisar los criterios de aceptación.

**Esfuerzo calculado** — Es el esfuerzo resultante de las solicitudes de servicio.

**Esterilla** — Estera que se forma después de realizar incisiones longitudinales al culmo de guadua en estado verde y de abrirla en forma plana.

**Faldón** — Vertiente o cada uno de los planos o aguas que forma una cubierta.

**Fibra** — Célula alargada con extremos puntiagudos y casi siempre con paredes gruesas.

**Modulo de elasticidad longitudinal admisible** — Modulo de elasticidad de un elemento de madera medido en la dirección paralela a la fibra, multiplicado por los coeficientes de modificación aplicables.

**Modulo de elasticidad mínimo longitudinal admisible** — Es el modulo anterior, llevado al percentil 5, obtenido de el ensayo de flexión pura y afectado por un factor de seguridad.

**Montante o pendolón** — Pieza de guadua, normalmente en posición vertical en el plano de trabajo, que forma parte de una armadura.

**Mortero** — Mezcla de arena, cemento y agua, que para efectos de este Capítulo es utilizada para llenar los entrenudos en conexiones empernadas, también se utiliza para pegar ladrillos y pañetar muros o techos.

**Muro de corte** — Elemento vertical del sistema de resistencia a cargas laterales de la estructura.

**Perno** — Elemento de acero para unión de guaduas, provisto de cabeza hexagonal en un extremo y rosca en el otro.

**Pie derecho** — elemento vertical que trabaja a compresión. Piezas verticales de los entramados o muros de corte.

**Preservación** — Tratamiento que consiste en aplicar sustancias capaces de prevenir o contrarrestar la acción de alguno o varios tipos de organismos que destruyen o afectan la integridad de la guadua.

**Preservante** — sustancia que se aplica para prevenir o contrarrestar por un periodo de tiempo, la acción de alguno o varios tipos de organismos capaces de destruir o afectar la guadua.

**Pudrición** — Este tipo de defecto corresponde a la descomposición de los culmos de guadua por ataque de agentes biológicos o humedad, que producen cambios en su apariencia, color y propiedades físicas y mecánicas.

**Revestimiento estructural** — Material que recubre la superficie de un muro de corte o de un diafragma horizontal.

**Revoque o Pañete** — Capa de mortero sobre muro.

**Rigidizador** — Pieza de guadua cuyo objeto es disminuir el pandeo de elemento sometidos a compresión paralela.

**Riostra o Contraviento** — elemento estructural empleado para estabilizar una cubierta en su plano. Pieza que puesta de forma oblicua o transversal asegura la invariabilidad de forma de un entramado.

**Secado** — Proceso natural o mecánico mediante el cual se reduce el contenido de humedad de la guadua.

**Sección** — Perfil o figura que resulta de cortar una pieza o cuerpo cualquiera por un plano.

**Sección compuesta** — Sección formada por la unión de dos o más guadas.

**Sección transversal** — es aquella sección que resulta de cortar una guadua en sentido perpendicular a las fibras.

**Sistema estructural** — Es el conjunto de elementos o componentes estructurales o de subsistemas estructurales diseñados, detallados y ensamblados para resistir la totalidad o una porción de las cargas (verticales, horizontales o ambas) que actúan en una edificación, y para transferirlas a un punto final de aplicación (cimentación) a través de una o varias trayectorias continuas de carga.

**Sobrebasa** — Tercer segmento del culmo de guadua, localizado a continuación de la basa con longitudes hasta de 4 m.

**Solera** — Elemento superior o inferior del entramado de muros.

**Solicitación** — Fuerza interna (axial, cortante, momento flector o tracción) que actúa en una sección determinada de un elemento o componente estructural. También se entenderá, como los esfuerzos asociados a cada una de las fuerzas internas que actúen en una sección determinada de un elemento o componente estructural y que se calculan a partir de la teoría de la elasticidad.

**Tirante** — Elemento de un sistema estructural que trabaja a tracción bajo cargas de servicio.

**Tuerca** — Complemento metálico, generalmente hexagonal, provisto de cabeza y rosca helicoidal incorporada.

**Varilla roscada** — Elemento cilíndrico de acero con rosca helicoidal en toda su longitud para unión entre guadas.

**Varillón** — Segmento terminal del culmo de guadua, localizado a continuación de la sobrebasa, con longitudes hasta de 4 m. Se utiliza tradicionalmente en cubiertas como soporte de tejas de barro.

**Viga** — Pieza cuyo trabajo principal es la flexión.

**Viga de sección compuesta** — Viga conformada por dos o más guadas conectadas de tal forma que se garantice el trabajo en conjunto.

**Vigueta** — Pieza cuyo trabajo principal es la flexión, pero que hace parte de un conjunto de elementos que trabajan juntos.

**Zuncho** — Abrazadera metálica que envuelve la circunferencia de la guadua

**G.12.2.2 — NOMENCLATURA** — Los símbolos aplicados en este Capítulo se describen a continuación:

- $D_e$  = diámetro exterior de la guadua
- $f_{0.05i}$  = esfuerzo del percentil 5 en la solicitación  $i$
- $f_{ki}$  = valor característico en la solicitación  $i$
- $m$  = promedio de una muestra estadística
- $n$  = numero de probetas de una muestra estadística
- $s$  = desviación estándar de una muestra estadística
- $t$  = espesor de la pared de la guadua

El resto de la nomenclatura utilizado en este Capítulo coincide con la utilizada en los capítulos de estructuras de madera del presente Título.

### **G.12.3 — MATERIALES**

**G.12.3.1 — REQUISITOS DE CALIDAD PARA GUADUA ESTRUCTURAL** — La guadua rolliza utilizada como elemento de soporte estructural en forma de columna, viga, vigueta, pie derecho, entramados, entrepisos etc., debe cumplir con los siguientes requisitos:

- (a) La guadua debe ser de la especie *Guadua angustifolia* Kunth. El presente capítulo no contempla la posibilidad de utilizar otras especies de bambúes como elemento estructural.
- (b) La edad de cosecha para guadua estructural debe estar entre los 4 y los 6 años.
- (c) El contenido de humedad de la guadua debe corresponder con el contenido de humedad de equilibrio del lugar. Cuando las edificaciones se construyan con guadua en estado verde se deben tener en cuenta todas las precauciones posibles para garantizar que las piezas al secarse tengan el dimensionamiento previsto en el diseño.
- (d) La guadua estructural debe tener una buena durabilidad natural o estar adecuadamente preservada. Además se deben aplicar todos los recursos para protegerla mediante el diseño del contacto con la humedad, la radiación solar, los insectos y los hongos.

### **G.12.3.2 — CLASIFICACIÓN VISUAL POR DEFECTOS**

**G.12.3.2.1** — Las piezas de guadua estructural no pueden presentar una deformación inicial del eje mayor al 0.33% de la longitud del elemento. Esta deformación se reconoce al colocar la pieza sobre una superficie plana y observar si existe separación entre la superficie de apoyo y la pieza.

**G.12.4.2.2** — Las piezas de guadua estructural no deben presentar una conicidad superior al 1.0%

**G.12.3.2.3** — Las piezas de guadua estructural no pueden presentar fisuras perimetrales en los nudos ni fisuras longitudinales a lo largo del eje neutro del elemento. En caso de tener elementos con fisuras, estas deben estar ubicadas en la fibra externa superior o en la fibra externa inferior.

**G.12.3.2.4** — Piezas de guadua con agrietamientos superiores o iguales al 20% de la longitud del culmo no serán consideradas como aptas para uso estructural.

**G.12.3.2.5** — Las piezas de guadua estructural no deben presentar perforaciones causadas por ataque de insectos xilófagos antes de ser utilizadas.

**G.12.3.2.6** — No se aceptan guaduas que presenten algún grado de pudrición.

**G.12.3.2.7** — Todo proceso de preservación y secado de piezas de guadua rolliza debe seguir lo estipulado en la norma NTC 5301.

**G.12.3.4 — CLASIFICACIÓN MECÁNICA** — La clasificación mecánica de la guadua se ha realizado según lo estipulado en la norma NTC 5525, en relación con su capacidad a resistir cargas de compresión paralela, corte paralelo, flexión y tracción, así como, en su módulo de elasticidad. Las propiedades de la guadua se relacionan en la tabla G.12.7-1 y G.12.7-2

**G.12.3.4.1** — Para calcular el peso propio de la estructura se recomienda usar una masa específica  $800 \text{ kg/m}^3$  para la guadua *angustifolia* kunth. Esta masa específica también se puede calcular siguiendo los procedimientos de la norma NTC 5525. Véase B.3.2.

### **G.12.4 — OBTENCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN**

La obtención y comercialización de la guadua estructural debe cumplir con las disposiciones emanadas por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y por la autoridad ambiental local.

## G.12.5 — MATERIALES COMPLEMENTARIOS

El diseño de estructuras de guadua debe tener en cuenta las características de los materiales complementarios tales como clavos, pernos, conectores, adhesivos, soportes y tableros, según las recomendaciones de los fabricantes. Se deben tomar todas las medidas apropiadas de protección de estos materiales contra la humedad, la corrosión o cualquier agente que degrade su integridad estructural.

## G.12.6 — BASES PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL

**G.12.6.1 — REQUISITOS DE DISEÑO** — Una estructura en guadua debe ser diseñada y construida teniendo en cuenta los siguientes requisitos

**G.12.6.1.1** — Todos los elementos de guadua de una estructura deben ser diseñados, contruidos y empalmados para resistir los esfuerzos producidos por las combinaciones de de las cargas de servicio consignadas en B.2.3.1 del presente Reglamento y las limitaciones de deflexión estipuladas en G.12.8.9

**G.12.6.1.2** — Toda construcción de guadua debe tener un sistema estructural que se ajuste a uno de los tipos definidos en A.3.2 del presente Reglamento.

**G.12.6.1.3** — El diseño estructural debe reflejar todas las posibles cargas actuantes sobre la estructura durante las etapas de construcción y servicio; además de las condiciones ambientales que puedan genera cambios en las suposiciones de diseño o que pueden afectar la integridad de otros componentes estructurales.

**G.12.6.1.4** — El análisis y diseño de estructuras de guadua debe basarse en los principios de la mecánica estructural, los requisitos básicos descritos en A.3.1 del presente Reglamento y los requisitos particulares que se encuentran relacionados en el presente capítulo G.12

**G.12.6.1.5** — Los elementos se consideraran homogéneos y lineales para el cálculo de los esfuerzos producidos por las cargas aplicadas.

**G.12.6.1.6** — El Coeficiente de capacidad de disipación de energía básico para estructuras de guadua, cuyo sistema de resistencia sísmica sea el de pórticos con diagonales será de  $R_0 = 2.0$ . En el caso, en que el sistema de resistencia sísmica sea proporcionado por muros de madera laminada o muros de bahareque encementado, se debe tomar el valor correspondiente de  $R_0$ , para el sistema elegido.

**G.12.6.2 — REQUISITOS DE CALIDAD PARA LAS ESTRUCTURAS EN GUADUA** — Para garantizar el correcto funcionamiento de la estructura en guadua durante toda su vida útil se debe tener en cuenta lo siguiente.

**G.12.6.2.1** — Las estructuras sean diseñadas por un profesional que cumpla los requisitos al respecto de la Ley 400 de 1997.

**G.12.6.2.2** — La construcción de la edificación debe realizarse por personal debidamente entrenado para tal fin y bajo la dirección de un profesional según lo prescrito por la Ley 400 de 1997, la Ley 1229 de 2008 y sus decretos reglamentarios.

**G.12.6.2.3** — Los materiales y productos que sean usados en la construcción deben emplearse como se especifica en este Reglamento y siguiendo las especificaciones de uso dadas por el fabricante.

**G.12.6.2.4** — Las estructuras de guadua por estar fabricadas con un material de origen natural deben tener un adecuado mantenimiento preventivo, que garantice, que los elementos no sean atacados por insectos u hongos durante su vida útil.

**G.12.6.2.5** — La estructura debe tener durante toda su vida útil el mismo uso para el cual fue diseñada.

**G.12.6.2.6** — Cuando la estructura de guadua se utilice como cubierta de piscinas de natación en donde se utiliza cloro, debe establecerse en el diseño y construcción que no se producirá ataque del cloro a la guadua y que se han tomado todas las precauciones para evitar un deterioro de la guadua y una disminución de su resistencia estructural por esta causa.

**G.12.6.6** — Para la determinación del diámetro y del espesor real de la pared del culmo se debe seguir los siguientes procedimientos:

- Diámetro** — Medir en cada segmento del culmo el diámetro en ambos extremos y en dos direcciones perpendiculares entre sí. El diámetro real corresponde al promedio de las cuatro (4) mediciones.
- Espesor** — Tomar cuatro (4) mediciones en cada sección transversal del culmo, y medir además, el espesor en los mismos sitios en que se midió el diámetro. El espesor real corresponde al promedio de las ocho (8) mediciones, véase figura G.12.6-1

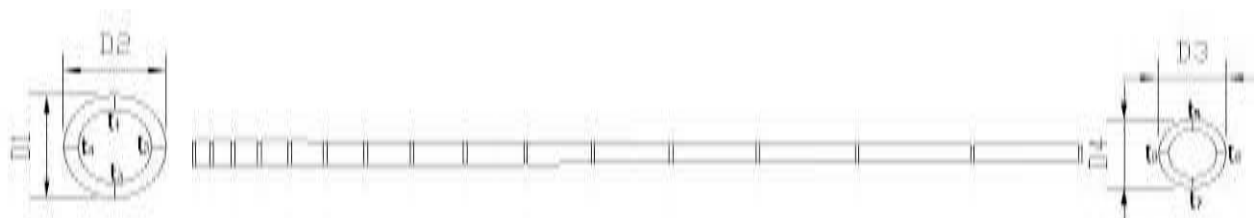


Figura G.12.6-1

**G.12.6.7** — En ningún caso se debe utilizar estructuras de guadua cuando la temperatura a la cual van a estar sometidas exceda 65° C.

## G.12.7 — MÉTODO DE DISEÑO ESTRUCTURAL

**G.12.7.1** — Todos los elementos deben ser diseñados por el método de los esfuerzos admisibles como se define el Título B del presente Reglamento.

**G.12.7.2** — Todas las uniones de la estructura se consideran articuladas y no habrá transmisión de momentos entre los diferentes elementos que conformen una unión, salvo si uno de los elementos es continuo, en este caso habrá transmisión solo en el elemento continuo.

**G.12.7.3 — ESFUERZOS ADMISIBLES Y MÓDULOS DE ELASTICIDAD** — Toda guadua que cumpla con los requisitos de calidad establecidos en los numerales G.12.3.1 y G.12.3.2, debe utilizar para efectos de cálculo los valores de esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad consignados en las tablas G.12.7-1 y G.12.7-2 respectivamente, y que fueron obtenidos según lo estipulado en G.12.7.4 del presente Capítulo.

Tabla G.12.7-1  
Esfuerzos admisibles  $F_i$  (MPa), CH=12%

$F_b$ Flexión	$F_t$ Tracción	$F_c$ Compresión	$F_{p^*}$ Compresión ⊥	$F_v$ Corte
15	18	14	1.4	1.2

|| = compresión paralela al eje longitudinal.

⊥ = compresión perpendicular al eje longitudinal.

\*La resistencia a la compresión perpendicular está calculada para entrenudos rellenos con mortero de cemento.

Tabla G.12.7-2  
Módulos de elasticidad,  $E_i$  (MPa), CH=12%

Módulo promedio $E_{0.5}$	Módulo percentil 5 $E_{0.05}$	Módulo mínimo $E_{min}$
9.500	7.500	4.000

Para el análisis de elementos estructurales se debe utilizar  $E_{0.5}$ , como modulo de elasticidad del material. El  $E_{min}$  se debe utilizar para calcular los coeficientes de estabilidad de vigas ( $C_L$ ) y de Columnas ( $C_p$ ). El  $E_{0.05}$  se debe utilizar para calcular las deflexiones cuando las condiciones de servicio sean críticas o requieran un nivel de seguridad superior al promedio. En todo caso, la escogencia del módulo de elasticidad indicado dependerá del criterio del ingeniero calculista.

**G.12.7.4 — Esfuerzos Admisibles** — Los valores de esfuerzos admisibles se determinan a partir del valor característico, el cual se obtiene con la siguiente ecuación:

$$f_{ki} = f_{0.05i} \left[ 1 - \frac{2.7 \frac{s}{m}}{\sqrt{n}} \right] \quad (G.12.7-1)$$

Donde:

- $f_{ki}$  = valor característico en la sollicitación  $i$
- $f_{0.05i}$  = valor correspondiente al percentil 5 de los datos de las pruebas de laboratorio en la sollicitación  $i$
- $m$  = valor promedio de los datos de las pruebas de laboratorio
- $s$  = desviación estándar de los datos de las pruebas de laboratorio
- $n$  = numero de ensayos (por lo menos 20)
- $i$  = subíndice que depende del tipo de sollicitación (**b** para flexión, **t** para tracción paralela a las fibras, **c** para compresión paralela a las fibras, **p** para compresión perpendicular a las fibras, **v** para cortante paralelo a las fibras)

Los valores experimentales utilizados en el diseño deben estar apropiadamente relacionados en la memoria de cálculo estructural que se radique para solicitar la licencia de construcción, indicando el nombre del laboratorio, fecha de realización de los ensayos, descripción de los equipos utilizados en las pruebas, número de pruebas realizadas y profesional que dirigió los ensayos.

Una vez determinado el valor característico para cada sollicitación, se procede con el cálculo de los esfuerzos admisibles con la siguiente formula.

$$F_i = \frac{FC}{F_s \cdot FDC} f_{ki} \quad (G.12.7-2)$$

Donde:

- $F_i$  = esfuerzo admisible en la sollicitación  $i$
- $f_{ki}$  = valor característico del esfuerzo en la sollicitación  $i$
- FC** = factor de reducción por diferencias entre las condiciones de los ensayos en el laboratorio y las condiciones reales de aplicación de las cargas en la estructura (véase tabla G.12.7-3)
- $F_s$  = factor de Seguridad (véase tabla G.12.7-3)
- FDC** = factor de duración de carga (véase tabla G.12.7-3)
- $i$  = subíndice que depende del tipo de sollicitación (**b** para flexión, **t** para tracción paralela a las fibras, **c** para compresión paralela a las fibras, **p** para compresión perpendicular a las fibras, **v** para cortante paralelo a las fibras)

**Tabla G.12.7-3**  
**Factores de reducción**

<b>Factor</b>	<b>Flexión</b>	<b>Tracción</b>	<b>Compresión   </b>	<b>Compresión ⊥</b>	<b>Corte</b>
<b>FC</b>	-	0.5	-	-	0.6
<b>F<sub>s</sub></b>	2.0	2.0	1.5	1.8	1.8
<b>FDC</b>	1.5	1.5	1.2	1.2	1.1

**G.12.7.5 — COEFICIENTES DE MODIFICACIÓN** — Con base en los valores de esfuerzos admisibles de la tabla G.12.7-1 y los módulos de elasticidad de la tabla G.12.7-2, afectados por los coeficientes de modificación a que haya lugar por razón del tamaño, nudos, grietas, contenido de humedad, duración de carga, esbeltez y cualquier otra condición modificatoria, se determinan las solicitaciones admisibles de todo miembro estructural, según las prescripciones de los numerales siguientes, con los esfuerzos admisibles modificados de acuerdo con la formula general:

$$F'_i = F_i C_D C_m C_t C_L C_F C_r C_p C_c \quad (\text{G.12.7-3})$$

Donde

- $i$  = tiene el mismo significado que en el numeral anterior
- $C_D$  = coeficiente de modificación por duración de carga
- $C_m$  = coeficiente de modificación por contenido de humedad
- $C_t$  = coeficiente de modificación por temperatura
- $C_L$  = coeficiente de modificación por estabilidad lateral de vigas
- $C_F$  = coeficiente de modificación por forma
- $C_r$  = coeficiente de modificación por redistribución de cargas, acción conjunta
- $C_p$  = coeficiente de modificación por estabilidad de columnas
- $C_c$  = coeficiente de modificación por cortante
- $F_i$  = esfuerzo admisible en la solicitación  $i$
- $F'_i$  = esfuerzo admisible modificado para la solicitación  $i$

Los coeficientes de modificación de aplicación general se indican en los numerales siguientes; los que dependen de la clase de solicitación se estipulan en las secciones del Capítulo G.12 correspondientes.

**G.12.7.6 — POR DURACIÓN DE LA CARGA (CD)** — Se considera que la duración normal de una carga son 10 años, cuando un elemento estructural está sometido a duraciones de carga diferentes, se debe multiplicar los valores de la tabla G.12.7-1 por los valores de la tabla G.12.7-4

**Tabla G.12.7-4**  
**Coeficientes de modificación por duración de carga**

Duración de carga	Flexión	Tracción	Compresión	Compresión ⊥	Corte	Carga de diseño
Permanente	0.90	0.90	0.9	0.9	0.90	Muerta
Diez años	1.00	1.00	1.0	0.9	1.00	Viva
Dos meses	1.15	1.15	1.15	0.9	1.15	Construcción
7 días	1.25	1.25	1.25	0.9	1.25	
Diez minutos	1.60	1.60	1.6	0.9	1.60	Viento y Sismo
impacto	2.00	2.00	2.0	0.9	2.00	Impacto

Los incrementos anteriores no son acumulables. Cuando hay combinación de cargas, el dimensionamiento de los elementos debe hacerse para la condición más desfavorable.

**G.12.7.7 — POR CONTENIDO DE HUMEDAD ( $C_m$ )** — La guadua al igual que la madera pierde resistencia y rigidez, a medida que aumenta su contenido de humedad. Los valores de esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad reportados en las tablas G.12.7-1 y G.12.7-2 fueron calculados para un contenido de humedad de la guadua de CH=12%. Si las condiciones medioambientales en el sitio de construcción hacen variar el contenido de humedad de la guadua por encima del 12%, se deben ajustar los valores de las tablas G.12.7-1 y G.12.7-2, multiplicándolos por los valores de la tabla G.12.7-5

**Tabla G.12.7-5**  
**Coefficientes de modificación por contenido de humedad ( $C_m$ )**

Esfuerzos		CH ≤ 12%	CH = 13%	CH = 14%	CH = 15%	CH = 16%	CH = 17%	CH = 18%	CH ≥ 19%
Flexión	$F_b$	1.0	0.96	0.91	0.87	0.83	0.79	0.74	0.70
Tracción	$F_t$	1.0	0.97	0.94	0.91	0.89	0.86	0.83	0.80
Compresión paralela	$F_c$	1.0	0.96	0.91	0.87	0.83	0.79	0.74	0.70
Compresión perpendicular	$F_p$	1.0	0.97	0.94	0.91	0.89	0.86	0.83	0.80
Corte	$F_y$	1.0	0.97	0.94	0.91	0.89	0.86	0.83	0.80
Modulo de elasticidad	$E_{0.5}$	1.0	0.99	0.97	0.96	0.94	0.93	0.91	0.90
	$E_{0.05}$								
	$E_{min}$								

La guadua una vez ha sido cosechada tiende a secarse hasta alcanzar un contenido de humedad de equilibrio con el sitio en donde se encuentra. Si el secado es mecánico y se logra bajar el contenido de humedad de la guadua por debajo del 12%, esta podrá ganar humedad si el sitio final de la edificación tiene una humedad relativa del ambiente muy alta acompañada de una temperatura baja.

En la tabla G-D.1 del apéndice G-D del presente Titulo se muestran los contenidos de humedad de equilibrio para algunas de las principales ciudades de Colombia.

**G.12.7.8 — POR TEMPERATURA ( $C_t$ )** — Cuando los elementos estructurales de guadua estén sometidos a altas temperaturas, los valores de esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad de las tablas G.12.7-1 y G.12.7-2 respectivamente, deben ser multiplicados por los valores de la tabla G.12.7-6, para la condición de temperatura a la cual estén expuestos.

**Tabla G.12.7-6.**  
**Coefficientes de modificación por temperatura ( $C_t$ )**

Esfuerzos		Condiciones de servicio	$(C_t)$		
			$T \leq 37^\circ C$	$37^\circ C \leq T \leq 52^\circ C$	$52^\circ C \leq T \leq 65^\circ C$
Flexión	$F_b$	Húmedo	1.0	0.60	0.40
		Seco		0.85	0.60
Tracción	$F_t$	Húmedo		0.85	0.80
		Seco		0.90	
Compresión paralela	$F_c$	Húmedo		0.65	0.40
		Seco		0.80	0.60
Compresión perpendicular	$F_p$	Húmedo		0.80	0.50
		Seco		0.90	0.70
Corte	$F_y$	Húmedo		0.65	0.40
		Seco		0.80	0.60
Modulo de elasticidad	E	Húmedo		0.80	0.80
		Seco		0.90	

**G.12.7.9 — POR ACCIÓN CONJUNTA ( $C_r$ )** — Los esfuerzos admisibles podrán incrementarse en un 10% cuando exista una acción de conjunto garantizada de cuatro o más elementos de igual rigidez, como en el caso de viguetas y pies derechos en entramados ( $C_r = 1.1$ ), siempre y cuando la separación entre elementos no sea superior a 0.6 m



## G.12.8 — DISEÑO DE ELEMENTO SOMETIDOS A FLEXIÓN

**G.12.8.1** — El diseño de elementos a flexión en guadua rolliza seguirá los mismos procedimientos básicos usados en el diseño de vigas de otros materiales estructurales. Debido a que la guadua angustifolia kunth presenta una relación **MOR/MOE** muy alta, lo que la convierte en un material muy flexible, el análisis a flexión estará regido por el control de las deflexiones admisibles, salvo en algunas excepciones, no obstante, siempre se debe comprobar la resistencia a la flexión, corte y aplastamiento.

**G.12.8.2** — En el diseño de miembros o elementos de guadua sometidos a flexión se deben verificar los siguientes efectos y en ningún caso pueden sobrepasar los esfuerzos admisibles modificados para cada solicitación.

- (a) Deflexiones
- (b) Flexión, incluyendo estabilidad lateral en vigas compuestas.
- (c) Cortante paralelo a la fibra.
- (d) Aplastamiento (compresión perpendicular a la fibra)

**G.12.8.3** — Se debe garantizar que los apoyos de un elemento de guadua rolliza sometido a flexión no fallen por aplastamiento (compresión perpendicular), en la medida de lo posible estos deben terminar en nudos, si esto no ocurre o los nudos no proveen la suficiente resistencia, se deben rellenar los entrenudos (cañutos) de los apoyos con mortero de cemento.

**G.12.8.4** — Cuando exista una carga concentrada sobre un elemento, ésta debe estar aplicada sobre un nudo; en todo caso se deben tomar las medidas necesarias para evitar una falla por corte paralelo a la fibra, y/o aplastamiento en el punto de aplicación. En estos casos se recomienda rellenar los entrenudos adyacentes a la carga con mortero de cemento.

**G.12.8.5** — Cuando en la construcción de vigas se utiliza más de un culmo (vigas de sección compuesta), estos deben estar unidos entre sí con pernos o varilla roscada y cintas metálicas (zunchos), que garanticen el trabajo en conjunto. Estos conectores deben diseñarse para resistir las fuerzas que se generan en la unión.

**G.12.8.6 — PERFORACIONES** — Debe evitarse practicar perforaciones en las vigas; de requerirse, deben encontrarse consignadas en los planos y cumplir con las siguientes limitaciones:

**G.12.8.6.1** — No son permitidas perforaciones a la altura del eje neutro en secciones donde se tengan cargas puntuales o cerca de los apoyos.

**G.12.8.6.2** — En casos diferentes al anterior, las perforaciones deben localizarse a la altura del eje neutro y en ningún caso serán permitidas en la zona de tensión de los elementos.

**G.12.8.6.3** — El tamaño máximo de la perforación será de 3.81 mm.

**G.12.8.6.4** — En los apoyos y los puntos de aplicación de cargas puntuales se permiten las perforaciones, siempre y cuando estas sean para poder rellenar los entrenudos con mortero de cemento.

**G.12.8.7 — ÁREA NETA** — El área de la sección transversal constituida por un (1) solo culmo será calculada con la siguiente ecuación:

$$A = \frac{\pi}{4} \left( D_e^2 - (D_e - 2t)^2 \right) \quad (\text{G.12.8-1})$$

Donde:

- A** = área neta de la sección transversal de guadua, mm<sup>2</sup>
- D<sub>e</sub>** = diámetro exterior de la guadua, mm
- t** = espesor de la pared de la guadua, mm

En el proceso de construcción de la estructura se deben respetar los parámetros de diseño en especial los referentes al diámetro exterior y el espesor mínimo de pared, los elementos utilizado en obra debe tener mínimo las mismas medidas del diseño en su parte superior (parte más estrecha de la guadua)

**G.12.8.8 — LUZ DE DISEÑO** — La luz de diseño considerada para vigas con apoyo simple, o en voladizo, será la luz libre entre caras de soporte más la mitad de la longitud del apoyo en cada extremo. En el caso de vigas continuas la luz de diseño considerada será la distancia centro a centro de apoyos.

**G.12.8.9 — DEFLEXIONES**

**G.12.8.9.1** — La guadua angustifolia kunth presenta una relación **MOR/MOE** muy alta, lo que obliga a que el diseño de elementos a flexión este regido por las deflexiones admisibles. En este subcapítulo se establecen los requisitos y limitaciones de las deflexiones admisibles, obtención de la sección requerida y deflexiones inmediatas y diferidas.

**G.12.8.9.2** — Las deflexiones en elementos de guadua se deben calcular de acuerdo a las formulas de la teoría elástica tradicional, se debe considerar la deflexión producida por la flexión y si el caso de análisis lo amerita se debe realizar una corrección del modulo de elasticidad  $E'_{0.5}$  por cortante (**G**).

**G.12.8.9.3** — Para el cálculo de la deflexión en vigas simplemente apoyadas se utilizaran las formulas de la tabla G.12.8-1

**Tabla G.12.8-1**  
**Formulas para el cálculo de deflexiones**

Condición de carga	Deflexión
Carga Puntual en el centro de la luz	$\Delta = \frac{Pl^3}{48EI} K$ (G.12.8-2)
Carga distribuida	$\Delta = \frac{5}{384} \frac{\omega l^4}{EI} K$ (G.12.8-3)

Para otras condiciones de carga se deben utilizar las formulas de la teoría de la elasticidad. En las formulas de la tabla G.12.8-1, **K** corresponde a un factor tabulado de deflexión el cual se puede obtener en la tabla G.12.8-2

**G.12.8.9.4** — Las deflexiones admisibles estarán limitadas a los valores de la tabla G.12.8-2

**Tabla G.12.8-2**  
**Deflexiones admisibles  $\delta$  (mm), nota3**

Condición de servicio	Cargas vivas (1/k)	Viento o Granizo (1/k)	Cargas totales (1/k) Nota 2
<b>Elementos de techo / Cubiertas</b>			
<b>Cubiertas inclinadas</b>			
Cielo rasos de pañete o yeso	1/360	1/360	1/240
Otros cielo rasos	1/240	1/240	1/180
Sin cielo raso	1/240	1/240	1/180
Techos planos	Nota 1	Nota 1	1/300
Techos industriales	-	-	1/200
<b>Entrepisos</b>			
Elementos de entepiso	1/360	-	1/240
Entrepisos rígidos	-	-	1/360
<b>Muros exteriores</b>			
Con acabados frágiles	-	1/240	-
Con acabados flexibles	-	1/120	-

Notas:

- Dependiendo del tipo de cielo raso
- Por evaluación de cargas totales, a largo plazo estas no deben invertir pendientes de drenaje en techos.
- Considerando únicamente la deflexión inicial G.12.8.9.7

**G.12.8.9.5** — Las deflexiones de vigas, viguetas, entablados, pies derechos, se calcularán con el módulo de elasticidad promedio  $E'_{0.5}$ , no obstante, si las condiciones de servicio son severas o el nivel de seguridad requerido es muy alto, se podrá utilizar el módulo de elasticidad del percentil 0.05,  $E'_{0.05}$ , o el módulo de elasticidad mínimo,  $E_{mn}$ , en todo caso la escogencia del módulo dependerá del criterio del ingeniero diseñador estructural.

**G.12.8.9.6 — EFECTO DEL CORTANTE** — Para los elementos con relación de  $I/D_e \leq 15$ , se debe realizar una corrección por cortante ( $C_c$ ), en la tabla G.12.8-3 se relacionan los valores de  $C_c$  para el módulo de elasticidad promedio  $E_{0.5}$ .

**Tabla G.12.8-3**  
**Valores de  $C_c$**

$I/D_e$	$C_c$
5	0.70
7	0.75
9	0.81
11	0.86
13	0.91
15	0.93

Nota: La guadua angustifolia kunth tiene una relación de  $E/G = 28$

**G.12.8.9.7 — CARGAS PARA CÁLCULO DE SECCIÓN Y DEFLEXIONES** — Para efecto de calcular la sección transversal mínima requerida y solo para ese caso, se debe igualar la deflexión calculada con las cargas de la tabla G.12.8-4, con la deflexión admisible de la tabla G.12.8-2 y determinar el momento de inercia  $I$  requerido. Igualmente en la tabla G.12.8-4 se presentan las combinaciones de carga para el cálculo de las deflexiones inmediatas y diferidas a 30 años

**Tabla G.12.8-4**  
**Cargas  $w$  para cálculo de sección y deflexiones**

Condición	$CH \leq 19\%$ $t \leq 37^\circ C$ Clima constante	$CH \geq 19\%$ $t \leq 37^\circ C$ Clima variable
Calculo de sección ( $w$ )	2.0 D + L	2.0 D + L
Deflexiones inmediatas ( $W_i$ )	D + L	D + L
Deflexiones diferidas ( $W_f$ )	2.8 D + 1.3 L	3.8 D + 1.4 L

#### **G.12.8.10 — FLEXIÓN**

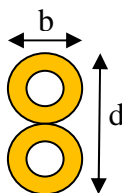
**G.12.8.10.1** — Los esfuerzos máximos de tensión y compresión producidos por flexión serán calculados para la sección de máximo momento. Estos esfuerzos no deben exceder al máximo esfuerzo admisible por flexión  $F_b$  de la tabla G.12.7-1, establecida para los culmos de guadua rolliza, modificado por los coeficientes de duración de carga y redistribución de carga, según el caso.

**G.12.8.10.2** — Los coeficientes de modificación particulares para flexión son los que se indican a continuación.

**G.12.8.10.3 — ESTABILIDAD LATERAL Y COEFICIENTE DE MODIFICACIÓN ( $C_L$ )** — En vigas o viguetas conformadas por una sola guadua el coeficiente modificación será  $C_L = 1$ . Cuando una viga está conformada por dos o más guaduas (viga de sección compuesta), se debe verificar si esta requiere o no de soporte lateral en la zona comprimida. El coeficiente de modificación por estabilidad lateral ( $C_L$ ), tiene en cuenta la reducción de la capacidad de carga de un elemento sometido a flexión por causa de la inestabilidad lateral o pandeo, que sucede cuando la zona a compresión de una viga se comporta como una columna.

**G.12.8.10.4** — Cuando una viga de sección compuesta esta soportada en toda la longitud de la zona a compresión y además está restringida en los apoyos a la rotación el coeficiente de modificación por estabilidad lateral será  $C_L = 1$ .

**G.12.8.10.5** — En el caso de vigas de sección compuesta (dos o más guaduas), cuya relación alto ( $d$ ) ancho ( $b$ ) sea mayor que  $1(d/b > 1)$ , deben incluirse soportes laterales para prevenir el pandeo o la rotación



**Figura G.12.8-1 — Ejemplo de sección compuesta**

**G.12.8.10.6 — ESTABILIDAD LATERAL DE VIGAS COMPUESTAS** — Para vigas de sección compuesta por dos o más guaduas se debe reducir el esfuerzo admisible a flexión ( $F_b$ ), por el valor de  $C_L$  de la tabla G.12.8-5

**Tabla G.12.8-5**  
**Coeficientes  $C_L$  para diferentes relaciones  $d/b$**

$d/b$	$C_L$
1	1.00
2	0.98
3	0.95
4	0.91
5	0.87

**G.12.8.10.7 — ESTABILIDAD LATERAL** — En vigas compuestas por más de una guadua y cuya altura sea mayor que su ancho debe investigarse la necesidad de proveer soporte lateral a la zona comprimida del elemento, según las siguientes recomendaciones:

- (a) Si  $d/b = 2$  no se requerirá soporte lateral
- (b) Si  $d/b = 3$  se debe restringir el desplazamiento lateral de los apoyos.
- (c) Si  $d/b = 4$  se debe restringir el desplazamiento lateral de los apoyos y del borde en compresión mediante correas o viguetas.
- (d) Si  $d/b = 5$  se debe restringir el desplazamiento lateral de los apoyos y proveer soporte continuo del borde en compresión mediante un entablado.

**G.12.8.10.8 — MOMENTO RESISTENTE** — El esfuerzo a flexión actuante ( $f_b$ ) sobre cualquier sección de guadua rolliza, no debe exceder el valor del esfuerzo a flexión admisible ( $F'_b$ ) modificado por los coeficientes correspondientes, de acuerdo a la formula G.12.8-4

$$f_b = \frac{M}{S} \leq F'_b \quad (\text{G.12.8-4})$$

En donde:

- $f_b$  = esfuerzo a flexión actuante, en MPa
- $M$  = momento actuante sobre el elemento en N·mm
- $F'_b$  = esfuerzo admisible modificado, en MPa
- $S$  = modulo de sección en  $\text{mm}^3$

El modulo de sección  $S$ , para una guadua se expresa con la siguiente ecuación:



$$S = \frac{\pi \left( D_e^4 - [D_e - 2t]^4 \right)}{32 D_e} \quad (\text{G.12.8-5})$$

En donde:

- $S$  = modulo de sección en  $\text{mm}^3$   
 $D_e$  = diámetro promedio exterior del culmo en mm  
 $t$  = espesor promedio de la pared del culmo en mm

**G.12.8.10.9** — Para verificar la resistencia a la flexión de secciones compuestas de 2 o más culmos de guadua, se debe calcular el modulo de sección para cada condición particular. En la tabla G.12.8-6 se presentan algunos módulos de sección para secciones compuestas.

**Tabla G.12.8-6**  
**Módulos de sección para algunas vigas compuestas**

Sección	$S \text{ (mm}^3\text{)}$
	$\frac{\pi \left( 5D_e^4 - 4D_e^2 [D_e - 2t]^2 - [D_e - 2t]^4 \right)}{32D_e} \quad (\text{G.12.8-6})$
	$\frac{\pi \left( 35D_e^4 - 4D_e^2 [D_e - 2t]^2 - [D_e - 2t]^4 \right)}{96D_e} \quad (\text{G.12.8-7})$

**G.12.8.10.10** — Cuando se empleen varios culmos para conformar un elemento a flexión, la inercia del conjunto se calcula como la suma las inercias individuales de cada uno de los culmos ( $I = \sum I_i$ ). Si el constructor garantiza un trabajo en conjunto la inercia podrá ser calculada con el teorema de los ejes paralelos:

$$I = \sum (A_i d_i^2) + \sum I_i \quad (\text{G.12.8-8})$$

Donde:

- $I$  = inercia de la sección compuesta, en  $\text{mm}^4$   
 $A_i$  = área para el i-esimo culmo, en  $\text{mm}^2$   
 $d_i$  = distancia entre el centroide del conjunto de culmos y el centroide del i-esimo culmo, en mm  
 $I_i$  = la inercia individual de cada culmo referida a su propio centroide, en  $\text{mm}^4$ .

**G.12.8.11 — CORTANTE**

**G.12.8.11.1** — Los esfuerzos máximos de corte serán calculados a una distancia del apoyo igual a la altura ( $h$ ) del elemento. Para vigas conformadas por una sola guadua dicha altura será igual al diámetro exterior ( $D_e$ ) de la misma, exceptuando en voladizos donde el esfuerzo máximo de corte será calculado en la cara del apoyo. Para vigas conformadas por 2 la altura ( $h$ ) corresponde a la altura real del elemento. El máximo esfuerzo cortante debe ser determinado teniendo en cuenta la distribución no uniforme de los esfuerzos en la sección y debe ser inferior al máximo esfuerzo admisible para corte paralelo a las fibras  $F'_v$  establecido para los culmos de guadua rolliza tabla G.12.7-1, modificado por los coeficientes a que haya lugar.

**G.12.8.11.2** — **Esfuerzo cortante paralelo a las fibras** – El esfuerzo cortante paralelo a las fibras actuante ( $f'_v$ ) sobre cualquier sección de guadua rolliza, no debe exceder el valor del esfuerzo cortante paralelo a las fibras admisible ( $F'_v$ ), modificado por los coeficientes correspondientes, de acuerdo a la formula G.12-8-9.

$$f_v = \frac{2V}{3A} \left( \frac{3D_e^2 - 4D_e t + 4t^2}{D_e^2 - 2D_e t + 2t^2} \right) \leq F'_v \quad (\text{G.12.8-9})$$

Donde:

- $f_v$  = esfuerzo cortante paralelo a las fibras actuante, en MPa
- $A$  = área de la sección transversal del elemento de guadua rolliza, en  $\text{mm}^2$
- $D_e$  = diámetro externo promedio de la sección de guadua rolliza, en mm
- $t$  = espesor promedio de la sección de guadua rolliza, en mm
- $F'_v$  = esfuerzo admisible para corte paralelo a las fibras, modificado por los coeficientes a que haya lugar, en MPa
- $v$  = fuerza cortante en la sección considerada, en N

**G.12.8.11.3 — DISTRIBUCIÓN DE CONECTORES EN VIGAS DE SECCIÓN COMPUESTA** — Cuando se construyen vigas con dos o más culmos de guadua se debe garantizar su estabilidad por medio de conectores transversales de acero, que garanticen el trabajo en conjunto. El máximo espaciamiento de los conectores no puede exceder el menor valor de 3 veces el alto de la viga ( $3h$ ), un cuarto de la luz ( $l/4$ ) o el resultado de la formula G.12.8-10

$$j = \frac{7 \cdot \ell}{V} \quad (\text{G.12.8-10})$$

Donde:

- $j$  = espaciamiento entre conectores de vigas compuestas en mm
- $\ell$  = luz de la viga en mm
- $V$  = máximo cortante en la viga en kN

**G.12.8.11.4** — Todos los cañutos por los que atraviese un conector en vigas de sección compuesta, deben estar rellenos de mortero de cemento véase la figura G.12.8-2. El primer conector se debe ubicar a una distancia igual a 50mm, medidos desde la cara del apoyo.

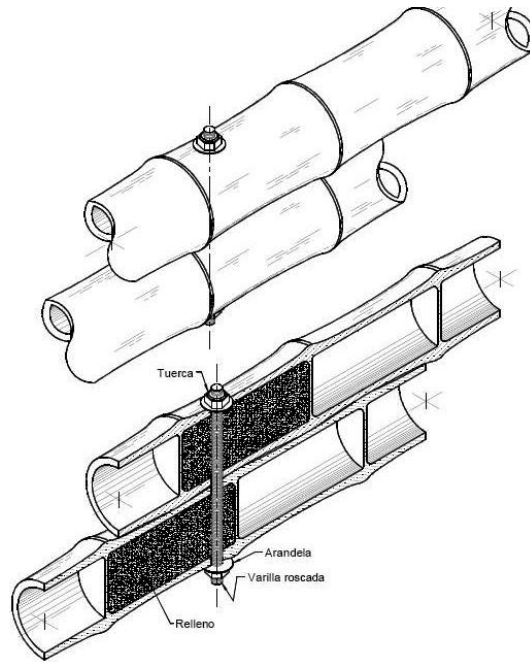


Figura G.12.8-2 - Detalle conectores secciones compuestas

#### G.12.8.12 — APLASTAMIENTO

**G.12.8.12.1** — Los esfuerzos de compresión perpendicular a las fibras ( $f_p$ ), deben verificarse especialmente en los apoyos y lugares en los que haya cargas concentradas en áreas pequeñas. El esfuerzo de compresión perpendicular a las fibras actuante no debe exceder al esfuerzo admisible de compresión perpendicular modificado por los coeficientes a que haya lugar.

**G.12.8.12.2** — El esfuerzo a compresión perpendicular a la fibra actuante se calcula con la formula G.12.8-11

$$f_p = \frac{3RD_e}{2t^2l} \leq F'_p \quad (\text{G.12.8-11})$$

En donde:

- $F'_p$  = esfuerzo admisible en compresión perpendicular a la fibra, modificado por los coeficientes a que haya lugar, en MPa
- $f_p$  = esfuerzo actuante en compresión perpendicular a la fibra, en MPa
- $D_e$  = diámetro externo promedio de la sección de guadua rolliza, en mm
- $t$  = espesor promedio de la sección de guadua rolliza, en mm
- $l$  = longitud de apoyo, en mm
- $R$  = Fuerza aplicada en el sentido perpendicular a las fibras, en N

**G.12.8.12.3** — Todos los cañutos que estén sometidos a esfuerzos de compresión perpendicular a la fibra, deben estar rellenos de mortero de cemento, en el caso en que esto no se cumpla el valor del esfuerzo admisible  $F'_p$  se debe reducir a la 4 parte ( $F'_p/4$ ).

#### G.12.9 — DISEÑO DE ELEMENTOS SOLICITADOS POR FUERZA AXIAL

**G.12.9.1 — GENERAL** — Los elementos que serán diseñados por fuerza axial son aquellos solicitados en la misma dirección que el eje longitudinal que pasa por el centroide de su sección transversal.

**G.12.9.1.1 — Elementos solicitados a tensión axial** — El esfuerzo de tensión axial actuante ( $f_t$ ) para cualquier sección de guadua rolliza, no debe exceder el valor del esfuerzo admisible a tensión axial ( $F'_t$ ) modificado por los coeficientes de modificación correspondientes, de acuerdo a la formula G.12.9-1

$$f_t = \frac{T}{A_n} \leq F'_t \quad (\text{G.12.9-1})$$

En donde:

- $f_t$  = esfuerzo a tensión actuante, en MPa
- $T$  = fuerza de tensión axial aplicada, en N
- $F'_t$  = esfuerzo de tensión admisible, modificado por los coeficientes a que haya lugar, en MPa
- $A_n$  = área neta del elemento, en  $\text{mm}^2$

**G.12.9.1.2** — Todos los elementos que están solicitados por tensión axial y momento flector deben ser diseñados de acuerdo con lo estipulado en G.12.10.

**G.12.9.1.3 — Tensión perpendicular a la fibra** — En lo posible se deben evitar los diseños, en los cuales los elementos estructurales de guadua angustifolia estén sometidos a esfuerzos de tensión perpendicular a la fibra debido a su baja resistencia en esta sollicitación, no obstante, si se presentan estos esfuerzos se debe garantizar la resistencia del elemento proporcionando refuerzo en la zona comprometida, a través de zunchos metálicos o platinas.

## G.12.9.2 — ELEMENTOS SOLICITADOS A COMPRESIÓN AXIAL

**G.12.9.2.1 — Longitud efectiva** — La longitud efectiva es la longitud teórica de una columna equivalente con articulaciones en sus extremos. La longitud efectiva de una columna puede calcularse con la formula G.12.9-2.

$$\ell_e = \ell_u k \quad (\text{G.12.9-2})$$

Donde:

- $\ell_u$  = longitud no soportada lateralmente del elemento, en mm
- $k$  = coeficiente de longitud efectiva, según las restricciones en los apoyos tabla G.12.9-1
- $\ell_e$  = longitud efectiva, en mm

**Tabla G. 12.9-1**  
**Coeficiente de longitud efectiva (\*)**

Condición de los apoyos	k
Ambos extremos articulados (Ambos extremos del elemento deben estar restringidos al desplazamiento perpendicular a su eje longitudinal)	1.0
Un extremo con restricción a la rotación y al desplazamiento y el otro libre	2.1

\* Cuando se justifique apropiadamente, se pueden utilizar valores de **k** de la tabla G.4.3-1

**G.12.9.2.2 — Esbeltez** — En columnas constituidas por un culmo de guadua, la medida de esbeltez está dada por la formula G.12-9-3

$$\lambda = \frac{\ell_e}{r} \quad (\text{G.12.9-3})$$

En donde:

- $\lambda$  = relación esbeltez del elemento



$l_e$  = longitud efectiva del elemento, en mm  
 $r$  = radio de giro de la sección, en mm

**G.12.9.2.3** — El radio de giro de la sección constituido por un (1) solo culmo será calculado con la siguiente ecuación:

$$r = \frac{\sqrt{(D_e^2 + (D_e - 2t)^2)}}{4} \quad (\text{G.12.9-4})$$

En donde:

$D_e$  = diámetro externo promedio de la sección de guadua rolliza, en mm  
 $t$  = espesor promedio de la sección de guadua rolliza, en mm  
 $r$  = radio de giro de la sección

**G.12.9.2.4 — Elementos constituidos por dos (2) o más culmos** — En el diseño de elementos solicitados a compresión constituidos por dos (2) o más culmos la medida de esbeltez será calculada usando la ecuación G.12-9-3, con el radio de giro  $r$  calculado con la siguiente expresión:

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (\text{G.12.9-5})$$

En donde:

$I$  = inercia de la sección calculada de acuerdo con el numeral G.12.9.2.5, en  $\text{mm}^4$   
 $A$  = área de la sección transversal, en  $\text{mm}^2$   
 $r$  = Radio de giro de la sección

**G.12.9.2.5** — Cuando se empleen varios culmos para conformar un elemento a compresión, la inercia del conjunto se calcula como la suma las inercias individuales de cada uno de los culmos ( $I = \sum I_i$ ). Si el constructor garantiza un trabajo en conjunto la inercia podrá ser calculada con las siguientes expresiones:

- (a) Para elementos en compresión tipo celosía, la inercia será calculada como  $I = \sum (A_i d_i^2)$ , siendo  $A_i$  el área para el i-esimo culmo y  $d_i$  la distancia entre el centroide del conjunto de culmos y el centroide del i-esimo culmo.
- (b) Para elementos en compresión unidos en toda su longitud, la inercia será calculada como  $I = \sum (A_i d_i^2) + \sum I_i$ , siendo  $I_i$  la inercia individual de cada culmo referida a su propio centroide.

**G.12.9.2.6 — Clasificación de columnas** — Según su relación de esbeltez, las columnas de guadua rolliza se clasifican en cortas, intermedias o largas.

**Tabla G.12.9-2**  
**Clasificación de Columnas por esbeltez**

Columna	Esbeltez
Corta	$\lambda < 30$
Intermedia	$30 < \lambda < C_k$
Larga	$C_k < \lambda < 150$

La esbeltez  $C_k$  es el límite entre las columnas intermedias y las columnas largas y esta dado por la siguiente formula.

$$C_k = 2.565 \sqrt{\frac{E_{0.05}}{F'_c}} \quad (\text{G.12.9-6})$$

Donde

$F'_c$  = esfuerzo admisible en compresión paralela a las fibras, modificado, en MPa

$E_{0.05}$  = módulo de elasticidad percentil 5, en MPa

Bajo ninguna circunstancia es aceptable trabajar con elementos de columna que tengan esbeltez mayor de 150.

#### G.12.9.2.7 — Esfuerzos máximos

**G.12.9.2.7.1 — Columnas cortas ( $\lambda < 30$ )** — El esfuerzo máximo de compresión paralela a la fibra actuante ( $f_c$ ) sobre cualquier sección de guadua rolliza en columnas cortas, no debe exceder el valor del esfuerzo de compresión paralela a las fibras admisibles ( $F'_c$ ) modificado por los factores correspondientes, de acuerdo a la ecuación G.12.9-7

$$f_c = \frac{N}{A_n} \leq F'_c \quad (\text{G.12.9-7})$$

Donde

$f_c$  = esfuerzo de compresión paralela a la fibra actuante, en MPa

$N$  = fuerza de compresión paralela a la fibra actuante, en N

$A_n$  = área neta de la sección transversal, en mm<sup>2</sup>

$F'_c$  = esfuerzo de compresión paralela al fibra admisible, modificado, en MPa

**G.12.9.2.7.2 — Columnas intermedias ( $30 < \lambda < C_k$ )** — El esfuerzo máximo de compresión paralela a la fibra actuante ( $f_c$ ) sobre cualquier sección de guadua rolliza en columnas intermedias, no debe exceder el valor del esfuerzo de compresión paralela a las fibras admisibles ( $F'_c$ ) modificado por los factores correspondientes, de acuerdo a la ecuación G.12.9-8

$$f_c = \frac{N}{A_n \left( 1 - \frac{2}{5} \left[ \frac{\lambda}{C_k} \right]^3 \right)} \leq F'_c \quad (\text{G.12.9-8})$$

Donde:

$f_c$  = esfuerzo de compresión paralela a la fibra actuante, en MPa

$N$  = fuerza de compresión paralela a la fibra actuante, en N

$A_n$  = área neta de la sección transversal, en mm<sup>2</sup>

$F'_c$  = esfuerzo de compresión paralela al fibra admisible, modificado, en MPa

$\lambda$  = esbeltez, formula G.12.9-3

$C_k$  = esbeltez que marca el límite entre columnas intermedias y largas, formula G.12.9-6

**G.12.9.2.7.3 — Columnas largas ( $C_k < \lambda < 150$ )** — El esfuerzo máximo de compresión paralela a la fibra actuante ( $f_c$ ) sobre cualquier sección de guadua rolliza en columnas largas, no debe exceder el valor del esfuerzo de compresión paralela a las fibras admisibles ( $F'_c$ ) modificado por los factores correspondientes, de acuerdo a la ecuación G.12.9-9

$$f_c = 3.3 \frac{E_{0.05}}{\lambda^2} \leq F'_c \quad (\text{G.12.9-9})$$

Donde:

- $f_c$  = esfuerzo de compresión paralela a la fibra actuante, en MPa
- $F'_c$  = esfuerzo de compresión paralela al fibra admisible, modificado, en MPa
- $\lambda$  = esbeltez, formula G.12.9-3
- $E_{0.05}$  = módulo de elasticidad del percentil 5, en MPa

No se permiten columnas con esbeltez superior a 150

**G.12.9.2.8** — Todos los elementos que además de estar solicitados por compresión axial se encuentran solicitados por momento flector deben ser diseñados de acuerdo a lo estipulados en G.12.10

## G.12.10 — DISEÑO DE ELEMENTOS SOLICITADOS POR FLEXIÓN Y CARGA AXIAL

**G.12.10.1 — ELEMENTOS SOLICITADOS A FLEXIÓN CON TENSIÓN AXIAL** — Los elementos de la estructura que se encuentren sometidos simultáneamente a fuerzas de tensión axial y flexión deben ser diseñados para cumplir la siguiente ecuación:

$$\frac{f_t}{F'_t} + \frac{f_b}{F'_b} \leq 1.0 \quad (\text{G.12.10-1})$$

Donde:

- $f_t$  = esfuerzo a tensión actuante, en MPa
- $F'_t$  = esfuerzo de tensión admisible, modificado por los coeficientes a que haya lugar, en MPa
- $f_b$  = esfuerzo a flexión actuante, en MPa
- $F'_b$  = esfuerzo a flexión admisible modificado, en MPa

**G.12.10.2 — ELEMENTOS SOLICITADOS A FLEXO-COMPRESIÓN** — Los elementos de la estructura que se encuentren sometidos simultáneamente a fuerzas de compresión y flexión deben ser diseñados para cumplir la siguiente ecuación:

$$\frac{f_c}{F'_c} + \frac{k_m f_b}{F'_b} \leq 1.0 \quad (\text{G.12.10-2})$$

Donde:

- $f_c$  = esfuerzo de compresión paralela a la fibra actuante, en MPa
- $F'_c$  = esfuerzo de compresión paralela al fibra admisible, modificado, en MPa
- $f_b$  = esfuerzo a flexión actuante, en MPa
- $F'_b$  = esfuerzo a flexión admisible modificado, en MPa
- $K_m$  = coeficiente de magnificación de momentos, calculado con la formula G.12.10-3:

$$k_m = \frac{1}{1 - 1.5(N_a/N_{cr})} \quad (\text{G.12.10-3})$$

Donde:

- $K_m$  = coeficiente de magnificación de momentos

$N_a$  = carga de compresión actuante, en N

$N_{cr}$  = carga crítica de Euler, calculada con la formula G.12.10-4

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 E_{0.05} I}{\ell_e^2} \quad (G.12.10-4)$$

Donde:

$N_{cr}$  = carga crítica de Euler, en N

$E_{0.05}$  = módulo de elasticidad del percentil 5, en MPa

$I$  = momento de inercia de la sección, en mm<sup>4</sup>

$\ell_e$  = longitud efectiva del elemento, en mm

## G.12.11 — UNIONES

**G.12.11.1 — GENERALIDADES** — Estas disposiciones son aplicables a las uniones contenidas en la NTC 5407 “Uniones de estructuras con Guadua Angustifolia Kunth”. Todo elemento constituyente de una unión debe diseñarse para que no falle por tensión perpendicular a la fibra y corte paralelo a la fibra. En el caso de usar cortes especiales en la guadua se deben tomar las medidas necesarias para evitar que estos induzcan la falla de la unión.

**G.12.11.1.1** — En ningún caso se permitirán uniones clavadas, ya que los clavos inducen grietas longitudinales debido a la disposición de las fibras de la guadua.

**G.12.11.2 — TIPOS DE CORTES** — Los tres tipos de cortes más utilizados para la fabricación de uniones con elementos de guadua, son: corte recto, corte boca de pescado y corte pico de flauta.

**G.12.11.2.1 — Corte recto** — Corte plano perpendicular al eje de la guadua

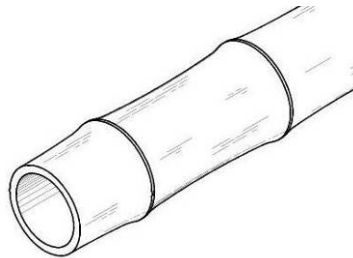


Figura G.12.11-1 - Corte Recto

**G.12.11.2.2 — Corte boca de pescado** — Corte cóncavo transversal al eje de la guadua, generalmente se utiliza para acoplar dos elementos de guadua.

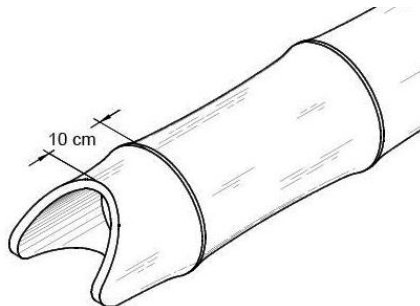
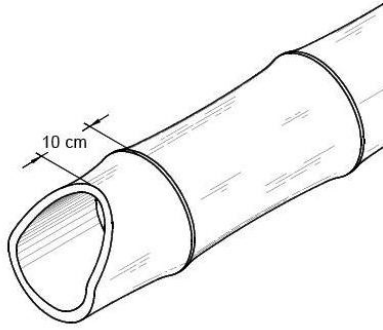


Figura G.12.11-2 - Corte Boca de pescado

**G.12.11.2.3 — Corte pico de flauta** — Este corte se utiliza para acoplar guaduas que llegan en ángulos diferentes a  $0^\circ$  y  $90^\circ$ , se puede hacer como una boca de pescado inclinado o con dos cortes rectos.



**Figura G.12.11-3 - Corte Pico de flauta**

**G.12.11.3 — UNIONES EMPERNADAS** — Estas disposiciones son aplicables a uniones empernadas de dos o más elementos de guadua o a uniones de elementos de guadua con platinas metálicas o para la fijación de guadua a elementos de concreto por medio de platinas y anclas. Las uniones empernadas se utilizan generalmente cuando las solicitudes sobre una conexión son relativamente grandes, requiriendo por lo tanto el uso de pernos, normalmente acompañados de platinas de acero.

**G.12.11.3.1** — Los pernos y platinas usados en las conexiones empernadas deben ser de acero estructural con esfuerzo de fluencia no menor de 240 MPa; el diámetro mínimo permitido para los pernos es de 9.5 mm (#3) y el espesor mínimo de las pletinas será de 4.8 mm. (3/16"). Todos los elementos metálicos de las uniones deben ser diseñados según lo estipulado por el Título F de la presente norma.

**G.12.11.3.2** — Las perforaciones hechas para la colocación de un perno deben estar bien alineadas respecto al eje del mismo y tener un diámetro mayor al diámetro del perno de 1.5mm. (1/16"). Las perforaciones hechas para el relleno de los entrenudos deben tener un diámetro máximo de 26mm, y deben ser debidamente tapadas con el mismo mortero de relleno, para que se garantice la continuidad estructural del elemento. En caso de una unión empernada longitudinalmente respecto al eje de la guadua, se debe garantizar que no se presente la falla de los tabiques involucrados en la conexión.

**G.12.11.3.3** — Todos los pernos y demás elementos metálicos de la unión deben estar diseñados de acuerdo a los requisitos estipulados en el Título F de la presente norma y en el caso en que la unión sea entre un elemento de guadua y otro de concreto, la longitud e anclaje debe ser tal que cumpla con las exigencias del Título C de la misma norma. Todos los elementos metálicos usados en uniones empernadas que estarán expuestas a condiciones ambientales desfavorables deben tener algún tipo de tratamiento anticorrosivo.

**G.12.11.3.4** — Es permitido el uso de abrazaderas o zunchos metálicos dentro del diseño de las conexiones, siempre y cuando se tomen las precauciones pertinentes para evitar el aplastamiento y la falla por compresión perpendicular a la fibra en elementos individuales, así como la separación y el deslizamiento entre elementos conectados.

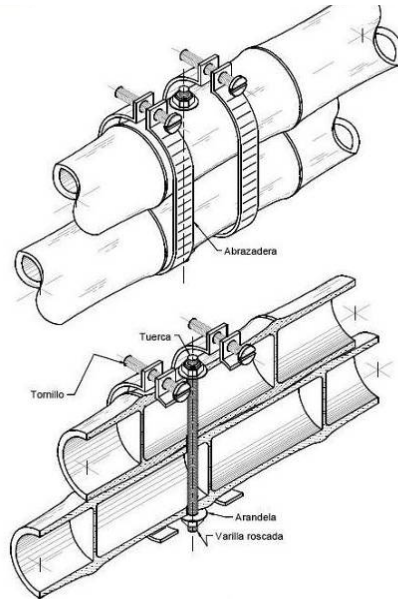


Figura G.12.11-4 - Zunchos

**G.12.11.3.5** — En el caso de uniones en las cuales los culmos de guadua estén sometidos a cargas de aplastamiento, se hace necesario rellenar los entrenudos adyacentes a la unión y por donde pasen pernos con una mezcla de mortero de cemento en relación 1 a 3, preferiblemente con un aditivo plastificante que garantice la fluidez de la mezcla. El mortero usado para relleno de entrenudos debe ser tipo M o S, de acuerdo a la clasificación de morteros estipulada en el Título D de la presente Norma.

**G.12.11.3.6** — En toda unión empernada que carezca de platinas, se deben utilizar arandelas metálicas entre la tuerca y la guadua o entre la cabeza del perno y la guadua, de acuerdo con la tabla G.12.11-1.

**Tabla G.12.11-1**  
Dimensiones mínimas de arandelas para uniones empernadas

Diámetro del perno (mm)	9.5	12.7	15.9
Espesor de la arandela (mm)	4	5	6
Diámetro externo arandelas (mm)	45	50	65

**G.12.11.3.7** — Todos los elementos metálicos utilizados en uniones empernadas, construidas con elementos de guadua húmeda ( $CH > 30\%$ ), o sometidos a ambientes húmedos o con alto contenido de salinidad deben tener un tratamiento anticorrosivo.

**G.12.11.3.8** — Las cargas admisibles para uniones empernadas sometidas a cizallamiento doble se determinarán a partir de los valores **P**, **Q** y **T** dados en la tabla G.12.11-2, en función del diámetro exterior de la guadua ( $D_e$ ) y del diámetro del perno ( $d$ ).

Los valores de **P** indicados serán utilizados cuando la fuerza en la unión sea paralela a las fibras, tanto del elemento central como de los elementos laterales si los hubiese.

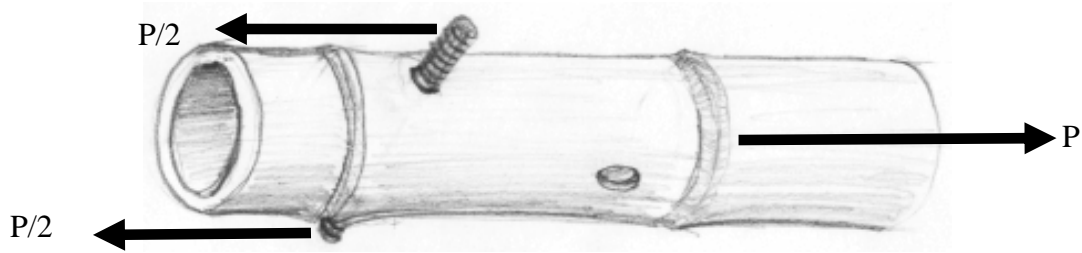


Figura G.12.11-5

### Carga P

Las cargas admisibles cuando la fuerza es paralela a las fibras del elemento central pero perpendicular a las fibras de los elementos laterales, o viceversa, se indican como  $Q$ , siempre y cuando el elemento central y los elementos laterales se encuentren en planos paralelos.

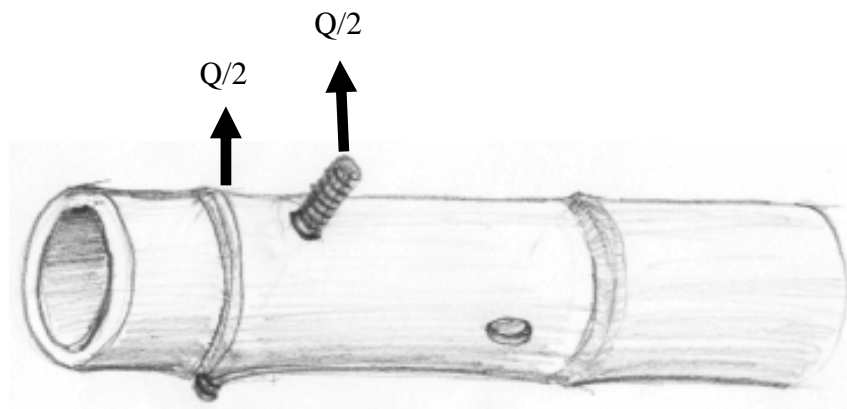


Figura 12.11-6 - Carga Q

Las cargas admisibles cuando la fuerza es perpendicular a las fibras de uno de los elementos y paralela a las fibras en el otro se indican como  $T$ , siempre y cuando los elementos de guadua estén en el mismo plano.

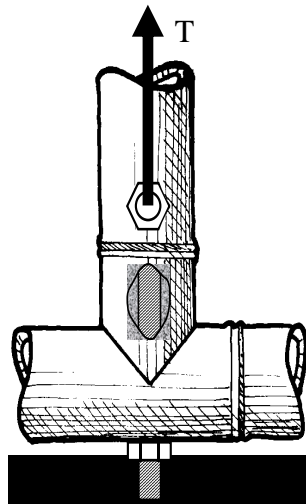


Figura G.12.11-7 - Carga T

Las cargas admisibles  $P$  y  $Q$  corresponden a dos situaciones límites. Si la fuerza en la unión sigue la dirección del elemento central pero forma un ángulo  $\alpha$  con la dirección de las fibras de los elementos laterales, o viceversa, la carga admisible se determinará mediante la ecuación de Hankinson:

$$N = \frac{PQ}{P \sin^2 \alpha + Q \cos^2 \alpha} \quad (\text{G.12.11-1})$$

**G.12.11.3.9** — Los valores de la tabla G.12.16, corresponden a uniones con un solo entrenudo entre el perno y el extremo del elemento. Si hay dos o más entrenudos entre el perno y el extremo del elemento, los valores de la tabla G.12.11-2 se podrán incrementar en un 30%, es decir el coeficiente de modificación por este concepto es de 1.3. Los valores de **Q** y **T** no se pueden modificar.

**G.12.11.3.10** — Las cargas admisibles dadas en la tabla G.12.11-2 son representativas de guaduas con un contenido de humedad inferior al 19% y que se mantendrán secas durante su tiempo de servicio. En conexiones de 4 o más miembros cada plano de corte será evaluado como una conexión de cizallamiento simple. El valor de la conexión se calculará con el valor nominal más bajo así obtenido, multiplicado por el número de planos de corte.

**Tabla G.12.11-2**  
**Cargas admisibles para uniones empernadas con doble cizallamiento**

Perno	De (mm)	P (N)	Q (N)	T (N)
#3	80	7212	2885	2000
	90	8008	3203	2100
	100	8804	3522	2200
	110	9601	3840	2300
	115	10041	4016	2400
	120	10481	4193	2500
	125	10922	4369	2600
	130	11362	4545	2700
	135	11802	4721	2800
	140	12242	4897	2900
	150	13039	5216	3000
#4	80	9710	3884	2000
	90	9916	3966	2100
	100	10943	4377	2200
	110	11970	4788	2300
	115	12521	5009	2400
	120	13072	5229	2500
	125	13623	5449	2600
	130	14174	5670	2700
	135	14725	5890	2800
	140	15276	6110	2900
	150	16303	6521	3000
#5	80	11540	4616	2000
	90	12806	5122	2100
	100	13250	5300	2200
	110	14515	5806	2300
	115	15185	6074	2400
	120	15855	6342	2500
	125	16525	6610	2600
	130	17195	6878	2700
	135	17865	7146	2800
	140	18535	7414	2900
	150	19800	7920	3000

**G.12.11.3.11** — Las cargas admisibles de la tabla G.12.11-2 corresponden a uniones con un solo perno. Cuando una unión requiera más de dos pernos en línea paralela a la dirección de la carga, la carga admisible de la unión se obtendrá multiplicando los valores admisibles por perno obtenidos de dicha tabla, por el número de pernos y por un coeficiente de reducción por grupo,  $C_g$ , de acuerdo a la tabla G.12.11-3



**Tabla G.12.11-3**  
**Coeficiente de reducción por grupo  $C_g$**

Clase de unión	Numero de pernos				
	2	3	4	5	6
Uniones con elementos de guadua	1.0	0.97	0.93	0.89	0.82
Uniones con elementos de acero	1.0	0.98	0.95	0.92	0.90

El coeficiente de reducción por grupo solo puede aplicarse a la carga **P**, la carga **Q** y **T** no se pueden modificar.

**G.12.11.3.12** — Si se utilizan arandelas de forma cóncava que permitan una mejor distribución de la carga en las paredes de la guadua y siempre y cuando los cañutos donde estas estén ubicadas estén rellenos de mortero de cemento se podrán incrementar las cargas de la tabla G.12.16 en un 25%, los valores de **Q** no se pueden incrementar.

**G.12.11.3.13** — El espaciamiento entre los pernos no debe ser inferior a 150 mm ni superior a 250 mm, en todo caso debe existir un entrenudo entre cada perno. La distancia desde el perno hasta el extremo libre del elemento debe ser superior a 150 mm en uniones sometidas a tracción y 100 mm en uniones sometidas a compresión.

**G.12.11.4 — OTRAS UNIONES** — Se permitirán otros tipos de uniones, siempre y cuando estas sean verificadas por un estudio científico con no menos de 30 ensayos, que permita verificar que la capacidad de la unión propuesta es equivalente o superior a las expuestas en la presente norma.

## **G.12.12 — PREPARACIÓN, FABRICACIÓN, CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y MANTENIMIENTO**

**G.12.12.1 — GENERALIDADES** — Todas las labores relativas a la preparación del material, fabricación, construcción, montaje y mantenimiento de estructuras de guadua, debe regirse por las practicas normalmente aceptadas por la ingeniería y la arquitectura y por los requerimientos de este Reglamento.

### **G.12.12.2 — PROCESO DE PREPARACIÓN**

**G.12.12.2.1 — Secado de la guadua** — Toda guadua destinada a la construcción de estructuras debe ser secada hasta un contenido de humedad (CH%), lo más cercano posible al contenido de humedad de equilibrio (CHE) con el medio ambiente de la zona en donde va a quedar instalada.

- Como regla general, las guaduas para uso estructural deben estar secas al momento de fabricación por debajo del 19% CH.
- El secado natural o al aire se realizara mediante la exposición de la guadua al medio ambiente. Este proceso se debe realizar en patios cubiertos con circulación de aire. Se recomienda que las guaduas se acomoden en tasajeras verticales, de no ser posible se pueden apilar de forma horizontal, pero garantizando que no se presenten curvaturas exageradas en el proceso de secado. Durante el proceso se debe evitar el deterioro del material por la acción del clima, agentes biológicos u otras causas.
- Cuando el contenido de humedad requerido es inferior al contenido de humedad de equilibrio del medio ambiente del lugar o cuando se desee guadua seca en el menor tiempo posible, se podrán utilizar métodos artificiales de secado.
- Durante el proceso de secado artificial debe garantizarse la integridad de la pieza de guadua, previniendo rajaduras excesivas o aplastamientos.

**G.12.12.2.2 — Preservación de la guadua** — Es el proceso mediante al cual se aplica a la guadua un producto químico capaz de protegerla contra el ataque de hongos u insectos.

- Cualquier guadua que vaya a ser usada como elemento estructural debe tener como mínimo un tipo tratamiento de los estipulados en la norma NTC 5301.

- (b) Si el proceso de preservación se va a realizar por inmersión, se debe garantizar que las perforaciones de los tabique longitudinales no sobre pase 130 mm.
- (c) En los procedimientos de aplicación manual debe suministrarse al cliente el catalogo u hoja técnica del producto inmunizante. Durante el proceso de aplicación del perseverante se deben seguir todas las normas de seguridad industrial suministradas por el fabricante del producto.
- (d) En ningún caso se deben instalar elementos de guadua sin inmunizar.

#### G.12.12.3 — FABRICACIÓN

**G.12.12.3.1 — Materiales** — Las guaduas que serán utilizadas como elementos estructurales deben estar libres de insectos y hongos. De igual forma no deben presentar rajaduras que puedan llegar a disminuir su resistencia.

- (a) Los culmos usados en la construcción de estructuras deben corresponder a guaduas maduras, es decir que no deben tener una edad inferior de 4 años ni superior a 6 años.
- (b) El contenido de humedad de las guaduas usadas para construcción de estructuras no debe sobrepasar el 19%CH ni estar por debajo del 10% CH. Su valor debe ser cercano a la humedad de equilibrio ambiental de la zona donde será instalada (CHE).
- (c) Para el lavado de la guadua deben usarse materiales poco abrasivos y procesos adecuados que no deterioren la superficie del material.
- (d) Los elementos metálicos usados en uniones que estarán expuestos a condiciones ambientales desfavorables deben ser resistentes a la corrosión o tener algún tipo de tratamiento anticorrosivo.

**G.12.12.3.2 — Dimensiones** — Todas las piezas de guadua deben cumplir con las especificaciones de longitudes y secciones mínimas de los planos de diseño.

**G.12.12.3.3 — Tolerancias** — Las imperfecciones en el corte, ensamblaje y secciones transversales de piezas de guadua no deben ser mayores al 2% del valor especificado en los planos de los diseños.

**G.12.12.3.4 — Identificación** — Todo elemento estructural debe llevar una identificación visible y permanente que coincida con la señalada en los planos de los diseños.

**G.12.12.3.5 — Transporte y almacenamiento** — Para el transporte de las guaduas deben emplearse vehículos con la capacidad y dimensiones apropiadas, estos deben estar carpados, garantizando la protección contra la acción directa de la lluvia y los rayos solares. Además, dispondrán de carrocería y estacas de fijación que impidan el movimiento de la carga durante el viaje.

- (a) Debe evitarse sobrecargar los miembros estructurales durante el transporte y almacenamiento. El número máximo de culmos apilados uno sobre el otro será de siete (7).
- (b) La guadua es un material higroscópico y poroso que absorbe el agua presente en el ambiente en forma de vapor o de líquido. Si la humedad de la guadua se incrementa se hará más vulnerable al ataque biológico, por lo tanto, el almacenamiento de las piezas de guadua debe hacerse en un lugar seco, bajo cubierta, con buena ventilación, y buen drenaje. Preferiblemente deben ser almacenados en posición vertical, aislados del piso sin estar en contacto con material orgánico.
- (c) Se evitara que los elementos de guadua sobre salgan de la carrocería del vehículo, de no ser posible, lo elementos deben ser zunchados de manera adecuada. Adicionalmente se deben cumplir con todos los requisitos establecidos para el transporte de carga de la Ley 769 de 2002, Código Nacional de Tránsito Terrestre y sus decretos reglamentarios.

#### G.12.12.4 — CONSTRUCCIÓN

**G.12.12.4.1 — Objetivos** — Esta sección tiene como objetivo dar recomendaciones de construcciones en guadua y fijar requisitos para garantizar el buen comportamiento de las estructuras.

**G.12.12.4.2 — Limpieza del terreno** — El terreno debe limpiarse de todo material vegetal y deben realizarse todas las obras de drenaje necesarias para asegurar la menor incidencia de la humedad. Cuando se construyan edificaciones con entepiso elevado, se deben tomar las medidas necesarias que impidan el crecimiento de vegetación y anidamiento de animales bajo el piso.

**G.12.12.4.3 — Cimentación** — Las obras de cimentación deben realizarse de acuerdo con las pautas estructurales y según las características de resistencia del suelo que deben estar establecidas en el estudio de suelos.

**G.12.12.4.4 — Protección contra la humedad** — La guadua es un material higroscópico y poroso que absorbe el agua presente en el ambiente en forma de vapor o de líquido. Si la humedad de la guadua se incrementa sus propiedades mecánicas se disminuirán, comenzará a hincharse, transmitirá con mayor facilidad el calor, la electricidad y se hará más vulnerable al ataque biológico.

- (a) Se recomienda que los elementos de guadua nunca estén en contacto directo con el suelo, se deben construir zócalos o pedestales que alejen la guadua del suelo.
- (b) No se permiten elementos de guadua expuestos a la intemperie.
- (c) Para prevenir el fenómeno de condensación del agua, deben evitarse los espacios poco ventilados. En ambientes que por su uso estén expuestos a vapor, como cocinas y baños, además de buena ventilación, deben protegerse las superficies expuestas con recubrimientos impermeables.

**G.12.12.4.5 — Protección contra hongos e insectos** — La guadua en general es susceptible al ataque de hongos e insectos; los primeros atacan guadas con altos contenidos de humedad, comenzando su acción desde el interior del culmo debido al alto contenido de parénquima, y los insectos, especialmente las termitas, gorgojos y comejenes atacan guadas desde el momento del corte en el guadua, en busca de nutrientes contenidos en el material. La protección del material contra el ataque de hongos e insectos debe comenzar desde el momento del aprovechamiento en el guadua.

- (a) Debe garantizarse que la guadua se almacene en condiciones de humedad mínima y que ha sido tratado con fumigantes durante el apilado.
- (b) Bajo ningún motivo deben ser usadas guadas que presenten muestras de áreas atacadas por hongos ni insectos.
- (c) Para evitar el ataque de hongos, el contenido máximo de humedad de las guadas usadas como elementos estructurales debe ser de 20%.

**G.12.12.4.6 — PROTECCIÓN CONTRA EL FUEGO** — Para el diseño debe tenerse en cuenta que la guadua es un material combustible y que se inflama con facilidad., aunque algunas sustancias impregnantes o de recubrimiento pueden acelerar o retardar el proceso, véase Título J del presente Reglamento. Las siguientes medidas contribuyen a proteger las estructuras de guadua contra el fuego:

- (a) Deben evitarse elementos de calefacción que aumenten peligrosamente la temperatura de los ambientes.
- (b) Las paredes y elementos estructurales próximos a fuentes de calor como chimeneas, hornos, estufas, etc. Deben aislarse con materiales incombustibles.
- (c) En ningún caso se debe utilizar estructuras en guadua cuando la temperatura a la que estarán sometidas durante toda su vida útil exceda los 65° C .
- (d) Los depósitos destinados para el almacenamiento de combustibles deben localizarse fuera de las edificaciones de guadua y estar rodeados de materiales incombustibles.
- (e) Es recomendable limitar el uso de acabados como barnices, lacas, pinturas oleosolubles y cualquier otra sustancia que acelere el desarrollo del fuego.
- (f) Las estructuras adyacentes de guadua deben estar separadas como mínimo 1.20 m; caso contrario los elementos deben contar con coberturas de materiales incombustibles con resistencia mínima de 1 hora de exposición. En el caso que dos estructuras estén unidas, el paramento común debe estar separado con un muro cortafuego que debe sobresalir en la parte superior como mínimo 0.50 m y en los extremos 1.00 m, medidos a partir de la parte más sobresaliente de las estructuras colindantes. Este muro debe estar diseñado para continuar estable aun con el colapso de la estructura incendiada.
- (g) En las edificaciones de uso comunitario como escuelas, centros de salud, comercio, etc., se deben considerar las siguientes recomendaciones:
  - Debe existir un acceso rápido y señalizado a las fuentes más probables de incendio.
  - La distribución de extintores, aspersores y mangueras contra incendios debe seguir las recomendaciones dadas por expertos.
  - La estructura debe contar con suficientes salidas de emergencia de fácil acceso y claramente señalizadas.

- Deben existir mecanismos automáticos de detección de humo y/o calor.

**G.12.12.4.7 — Protección contra sismos** — Con el fin de garantizar que una estructura de guadua tenga un adecuado desempeño ante eventos sísmicos se deben seguir las siguientes recomendaciones:

- (a) Las estructuras de guadua deben cumplir con los requisitos establecidos en la presente norma.
- (b) El diseño arquitectónico cumpla con los siguientes requisitos de carácter estructural:
  - Que todos los elementos de la construcción estén debidamente unidos entre sí la estructura anclada a la cimentación.
  - Que la distribución de los muros en planta sea tal que la longitud de estos encada dirección permita resistir los esfuerzos producidos por el sismo.
  - Que la cubierta no sea muy pesada con respecto al resto de la estructura.
- (c) Las tuberías usadas para las instalaciones de agua y desagües deben estar fijas a la construcción con soportes que eviten la rotura de estos durante los movimientos sísmicos.
- (d) Construcciones de uno o más volúmenes deben tener un comportamiento independiente entre ellas
- (e) La edificación debe ser lo más regular en planta posible, si se presentan planta irregulares estas se deben dividir en varias plantas regulares, separadas por juntas de dilatación.

**G.12.12.4.8 — Protección contra viento** — Todas las estructuras de guadua deben estar diseñadas para resistir solicitaciones provenientes de cargas de viento. Este diseño debe cumplir los requisitos y parámetros establecidos en el Título B de la presente norma.

**G.12.12.4.9 — Montaje**

**G.12.12.4.9.1 — Objetivo** — Las recomendaciones dadas en el presente documento para el montaje de estructuras en guadua deben considerarse como mínimas y es permitido que el constructor aplique técnicas derivadas de su experiencia.

**G.12.12.4.9.2 — Personal** — La entidad encargada del montaje de la estructura de guadua debe garantizar que los armadores tengan la suficiente experiencia y preparación en construcción de edificaciones con este tipo de material. Estos deben contar con las herramientas y equipamiento de seguridad adecuados.

**G.12.12.4.9.3 — Planos de montaje** — Los carpinteros armadores contarán con planos que contengan las indicaciones de ensamblaje y ubicación de los elementos estructurales, arriostramiento definitivo y precauciones especiales.

**G.12.12.4.9.4 — Suministro por la obra** — El constructor dará al armador de la estructura los ejes y cotas para el montaje. También debe entregar lista la cimentación y anclajes en la estructura de concreto, suministrará energía eléctrica, andamios, espacio de almacenamiento, campamento, vigilancia y vías de acceso.

**G.12.12.4.9.5 — Transporte cargue y descargue** — Las operaciones de cargue y descargue de los elementos de guadua deben evitar daños en los culmos tales como aplastamientos, rajaduras y perforaciones. De igual forma deben evitar sobrecargas que puedan comprometer la resistencia del material.

**G.12.12.4.9.6 — Almacenamiento** — Los patios de almacenamiento del material deben estar lo más cerca posible al sitio de montaje y la obra debe contar con un área que permita la manipulación cómoda y segura de los elementos estructurales. Estos patios deben estar protegidos contra la lluvia y humedad.

**G.12.12.4.9.7 — Anclajes, arriostramiento y empalmes** — Todos los elementos estructurales deben estar anclados, arriostrados, empalmados e instalados de tal forma que garanticen la resistencia y rigidez necesarias para cumplir con los propósitos de diseño. Los carpinteros armadores deben tener la experiencia suficiente de acuerdo con la calificación establecida por el constructor responsable de la obra.

**G.12.12.4.9.7.1 — Anclajes** — El diseñador debe especificar en los planos el tipo de anclaje, sus dimensiones y espaciamiento. Los anclajes a los muros, cimentación o a la estructura de concreto deben construirse de acuerdo con el diseño estructural.

**G.12.12.4.9.7.2 — Arriostramiento temporal** — El objetivo del arriostramiento temporal es el de garantizar un adecuado soporte a los elementos estructurales en plano perpendicular, con el fin de mantenerlos en la posición señalada en los planos y que puedan resistir las cargas de viento y sismo durante la construcción. El arriostramiento temporal es responsabilidad del armador de la estructura.

**G.12.12.4.9.7.3 — Arriostramiento definitivo** — El diseñador debe especificar en los planos la clase de arriostramiento definitivo, sus dimensiones y ubicación. Estos elementos deben garantizar la estabilidad vertical y horizontal de la estructura. Así como prevenir el pandeo en elementos esbeltos.

**G.12.12.4.10 — Mantenimiento** — Toda edificación construida en guadua necesitará revisiones ajustes y reparaciones a lo largo de su vida útil. Estas reparaciones se deben muchas veces a las dilataciones que sufre el material por acomodo a la humedad y temperatura del sitio. Además, se deben ejecutar revisiones periódicas y realizar los arreglos necesarios para garantizar el correcto funcionamiento estructural.

- (a) Todos los elementos de guadua que se hayan desajustado por contracciones del material, deben ser reajustados.
- (b) Si algún elemento de la estructura presenta rotura, aplastamiento, deformación excesiva o podredumbre se debe dar aviso inmediato al constructor, para que éste haga el reemplazo de la pieza.
- (c) Se deben hacer revisiones periódicas para verificar si el material está siendo atacado por algún agente biológico.
- (d) Verificar la integridad de las instalaciones eléctricas, de suministro de agua y sanitarias. De igual forma en las estructuras donde existan sistemas especiales de protección contra incendios, se debe realizar una revisión periódica para verificar su correcto funcionamiento.

## **Notas**

## APÉNDICE G-A

### METODOLOGÍA PARA OBTENCIÓN DE ESFUERZOS ADMISIBLES

#### G.A.1 — ESFUERZOS ADMISIBLES Y MÓDULOS DE ELASTICIDAD

Los esfuerzos admisibles y los módulos de elasticidad de las tablas G-A-1, G-B-1 a G-B-6, que corresponden a los grupos de maderas ES1, ES2, ES3, ES4, ES5, y ES6 del Apéndice G-B, fueron obtenidos de acuerdo con los esfuerzos básicos de las referencias R.G.7, y R.G.32 a una humedad CH=12% y reducidos a esfuerzos admisibles de acuerdo a la siguiente metodología:

$$F_i = \frac{FC F_d}{FS FDC} F_{i0.05}$$

$$F_{i0.05} = \bar{F}_i (1 - 1.645 COV_i)$$

en donde:

<b>FC</b>	=	factor de calidad
<b>F<sub>d</sub></b>	=	factor de altura
<b>FS</b>	=	factor de seguridad
<b>FDC</b>	=	factor de duración de carga
<b>F<sub>i</sub></b>	=	esfuerzo admisible i
<b>F<sub>i0.05</sub></b>	=	esfuerzo 5° percentil i
<b><math>\bar{F}_i</math></b>	=	esfuerzo básico promedio i
<b>F<sub>R</sub>i</b>	=	factor de reducción i
<b>COV<sub>i</sub></b>	=	coeficiente de variación de esfuerzos

#### Factores de Reducción

- (a) Factor de Calidad (**FC**) — Obtenido del estudio de PADT-REFOR, 1984, comparación de ensayos de probetas y elementos a dimensión real.
- (b) Factor Altura (**C<sub>d</sub>**) — Obtenido de considerar elementos de hasta 300 mm de altura
- (c) Factor de Seguridad (**FS**) — Se consideró un factor de seguridad adecuado a la complejidad de la madera.
- (d) Factor de Duración de la Carga **FDC = 1.60** — Se consideró una reducción de resistencia del 0.625 para 10 años, con respecto al ensayo de 5 minutos.

Determinación del 5° percentil — **E<sub>0.05</sub>**, **F<sub>i0.05</sub>**, se determina estadísticamente y corresponde a un valor tal, que se esperan un 5% de valores más bajos en la distribución de esfuerzos.

**FR** = factor de reducción. Se refiere a  $\frac{FC F_d}{FS FDC}$

Determinación de esfuerzos admisibles **F<sub>i</sub>** — Se determinan a partir del **F<sub>i0.05</sub>**, esfuerzos en el 5° percentil, multiplicado por el factor de reducción **FR**.

Determinación del **E<sub>min</sub>** — Equivale al **E<sub>0.05</sub>**, multiplicado por 1.03 para ser llevado a flexión pura y dividido por **FS = 1.66**, como factor de seguridad.

$COV_i$  corresponde al coeficiente de variación estipulado en la norma NTC-301 y que estadísticamente es definido por

$$COV_i = \frac{s}{m}$$

Siendo:

$m$  = promedios del esfuerzo correspondiente  
 $s$  = desviación estándar

**Tabla G-A-1**  
**Factores de Reducción de Módulo de E y esfuerzos  $F_i$**

	MOE	Flexión ( $F_b$ )	Compresión Paralela ( $F_c$ )	Tensión ( $F_t$ )	Compresión perpendicular ( $F_p$ )	Corte ( $F_v$ )
<b>FC</b>		0.80	-	0.64	-	-
<b><math>F_d</math></b>		0.90	-	0.84	-	-
<b>FS</b>		2.00	1.6	2.00	1.6	3.0
<b>FDC</b>		1.60	1.6	1.60	-	1.6
<b><math>FR_i</math></b>		0.225	0.39	0.16875	0.625	0.2083
Norma NTC – 301 $COV_i$	0.22	0.16	0.18	0.16	0.28	0.14
<b><math>F_{0.05}</math></b>		<b>0.7368<math>F</math></b>	<b>0.7039<math>F_c</math></b>	<b>0.7368<math>F_t</math></b>	<b>0.5394<math>F_p</math></b>	<b>0.7697<math>F_v</math></b>
<b><math>F_i = F_R i F_{i0.05}</math></b>		<b>0.1660<math>F_b</math></b>	<b>0.2745<math>F_c</math></b>	<b>0.1245<math>F_t</math></b>	<b>0.3371<math>F_p</math></b>	<b>0.1600<math>F_v</math></b>
<b><math>E_{0.5} = \bar{E}</math></b>	<b><math>E_{0.5}</math></b>			<b>MOE</b> módulo de elasticidad $\bar{E} = E_{0.5}$ módulo de elasticidad longitudinal promedio		
<b><math>E_{0.05}</math></b>	<b>0.638<math>E_{0.5}</math></b>	<b><math>E_{0.05} = E_{0.5} (1 - 1.645 COV_E)</math></b>		<b><math>E_{0.05}</math></b> módulo de elasticidad longitudinal 5° percentil		
<b><math>E_{min}</math></b>	<b>0.96<math>E_{0.5}</math></b>	<b><math>E_{min} = E_{0.5} (1 - 1.645 COV_E) \frac{1.03}{F_s = 1.66}</math></b>		<b><math>E_{min}</math></b> módulo de elasticidad longitudinal mínimo		



## APÉNDICE G-B

### PARÁMETROS DE ESTRUCTURACIÓN DEL REGLAMENTO NSR-10 TÍTULO G

#### G-B.1 — CLASIFICACIÓN DE MADERAS

**G-B.1.1** — Selección de maderas en los grupos  $E_s$ , ES1, ES2, ES3, ES4, ES5, ES6, de acuerdo con los valores de módulo de elasticidad **MOE** y esfuerzos de 75 maderas estudiadas por el SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE –SENA–, Regional Antioquia – Chocó y Universidad Nacional de Colombia y 178 maderas en estudios compilados por el Profesor J. A. Lastra Rivera, U. Distrital; Libro Técnico No. 1 Asociación Colombiana de Ingenieros Forestales - ACIF. Bogotá 1986.

**G-B.1.2** — Los valores básicos fueron llevados al quinto percentil y luego reducidos de acuerdo a la metodología explicada en G.2.2.2, para obtener los esfuerzos admisibles que aparecen en los cuadros de clasificación de maderas.

**G-B.1.3** — El parámetro principal, módulo de elasticidad **MOE**, aparece prácticamente en toda la formulación, desde la escogencia de la sección para elementos a flexión, pasando por las deflexiones admisibles e interviniendo en la reducción de los esfuerzos de flexión con el factor  $C_L$  factor de estabilidad de vigas, en la reducción de la carga admisible para columnas con el factor  $C_P$  factor de estabilidad de columnas y en los esfuerzos combinados en la determinación del esfuerzo crítico de Euler. Este parámetro y el conjunto de esfuerzos reemplazan al anterior parámetro de selección **DB** densidad básica, que en realidad es un parámetro incierto y si bien da una idea de la resistencia de la madera, como dice Borg Madsen en su texto Structural Behavior of Timber "... la densidad es un pobre indicador de resistencia y no debería ser usado como estimativo de resistencia para madera" página 229, pues conlleva a múltiples errores, ya que la madera puede ser fuerte en determinados parámetros o menos fuerte o débil en otros.

**G-B.1.4** — Por el sistema escogido, se garantiza que dentro de los grupos seleccionados todas las maderas presentan características de elasticidad y resistencia superiores a los límites inferiores del grupo.

#### G-B.1.2 — PARÁMETROS DE LA FORMULACIÓN

**G-B.1.2.1** — La columna vertebral de la formulación corresponde a NDS National Design Specification for Wood Construction American Forest and Paper Association and American Wood Council, edición 2005, impresión 2008.

**G-B.1.2.2** — Se han tomado conceptos y formulación de la norma Chilena oficial NCH1198.Of2006, Instituto Nacional de Normalización, copia 2007; en lo referente a columnas espaciadas y armadas, en razón a que el sistema puede resultar similar al utilizado en nuestro medio.

**G-B.1.2.3** — Igualmente se han tomado conceptos y formulación del Profesor Madsen en lo referente al coeficiente  $C_F$  que complementa al establecido por el **NDS** en cuanto a reducción de esfuerzos por longitud del elemento, así mismo se tomaron conceptos y formulación en lo referente a deflexiones a largo plazo, deducidas por el Profesor Madsen. El concepto de deformabilidad por cargas de aplastamiento se basa en el tipo de ensayo para la deducción del esfuerzo de aplastamiento y que corresponde a la relación entre esfuerzo y deformación en elementos dentro del límite elástico.

**G-B.1.2.4** — El concepto de acortamiento por carga de compresión axial se toma de la referencia Formwork for Concrete M. K. Hurd, preparado bajo la Dirección de ACI Committee 347, Año 2004, página 6-44.

**G-B.1.2.5** — En resumen es una formulación actualizada, de alto nivel y buen respaldo.

**Tabla G-B.1**  
**Maderas Tipo “ES1” MPa**  
**CH = 12%**

No.	Nombre Científico	Nombre Vulgar	DB	$E_{0,5}$	$F_b$	$F_C$	$F_P$	$F_v$	$F_t$
1	DIPTERYX OLEIFERA	CHOIBA	0.850	23 300	29.6	24.6	7.3	2.7	22.2
2	MYROXYLON BALSAMUN	BALSAMO	0.810	19 160	29.9	26.8	7.8	3.2	22.4
3	LICANIA SP.	AMBURE PICHANGILLO	0.766	23 100	32.5	26.0	7.2	2.5	24.4
4	PLTYMISCIUM PINNATUM	GUAYACAN TREBOL	0.780	Nota 1	37.7	34.0	7.4	2.1	28.3
5	PELTOGYNE PORPHYROCORDIA	NAZARENO	0.890	19 900	29.6	26.4	7.1	3.5	22.2
6	ESCHWEILERA PITTIERI	COCO MANTECO	0.744	21 700	31.9	23.4	8.2	2.0	23.8
7	LECYTHIS SP	COCO MONO	0.751	Nota 1	34.0	25.0	7.8	Nota 1	25.5
8	TRIGONIASTRUM SP	MARFIL	0.769	Nota 1	34.2	29.1	9.7	Nota 1	25.7
9	LAGERTROEMIA SP	PUNTE CASCARILLO	Nota 1	19 000	31.2	25.6	7.8	2.3	23.4
10	XYLOPIA SP	YAYA BLANCA	0.763	Nota 1	39.7	31.3	9.0	Nota 1	29.8
VALORES DE DISEÑO ASUMIDOS				18 000	29.5	23.0	6.0	2.0	21.0

Valores de diseño asumidos

 $E_{0,5}$  18 000 $E_{0,05}$  13 250 $E_{min}$  7 130

(1) se deben efectuar ensayos previamente

**Tabla G-B.2**  
**Maderas Tipo “ES2” MPa**  
**CH = 12%**

No.	Nombre Científico	Nombre Vulgar	DB	$E_{0,5}$	$F_b$	$F_C$	$F_P$	$F_v$	$F_t$
1	CLATHROTROPIS BRACHYPETALA	SAPAN	0.820	24 600	33.3	26.8	4.5	2.2	25.0
2	TUBEBUA SERRATIFOLIA	GUAYACAN POLVILLO	0.920	22 100	29.6	25.1	5.4	2.3	22.2
3	HUMIRIA BALSAMIFERA	OLOROSO	0.680	19 500	28.7	23.7	6.1	2.4	21.5
4	GOUPIA GLABRA	PIAUNDE	0.679	22 100	29.5	25.2	5.4	2.3	22.1
5	HELICOSTYLIS TOMENTOSA	LECHE PERRA	0.714	Nota 1	32.4	27.2	5.1	Nota 1	24.3
6	MANILKARA BIDENTATA	BALATA NISPERILLO	0.870	24 300	31.8	22.5	5.5	2.8	23.9
7	HETEROSTENON VAGELERI	GUAMO ROSADO	0.719	Nota 1	31.9	24.6	5.7	2.1	23.9
8	POUTERIA SP	CAIMO	0.810	21 500	29.0	22.8	4.3	2.2	21.7
9	POUTERIA SP	PUNTE AMARILLO	0.686	Nota 1	28.6	24.7	7.8	Nota 1	21.5
10	ESCHWEILERA SP	TETE CONGO	0.728	24 500	32.8	26.5	4.9	2.2	24.6
11	POUTERIA SP	PIASTE CAIMITO	0.754	25 600	35.2	28.2	5.2	2.0	26.4
12	LICANIA SP	AMBURE CUERO SAPO	0.759	24 100	35.0	26.8	5.2	2.7	26.3
VALORES DE DISEÑO ASUMIDOS				Nota 1	18 000	28.5	22.0	4.3	2.0

Valores de diseño asumidos

 $E_{0,5}$  18 000 $E_{0,05}$  13 250 $E_{min}$  7 130

(1) se deben efectuar ensayos previamente

**Tabla G-B.3**  
**Maderas Tipo “ES3” MPa**  
**CH = 12%**

No.	Nombre Científico	Nombre Vulgar	DB	$E_{0,5}$	$F_b$	$F_C$	$F_P$	$F_v$	$F_t$
1	HYMENAEA COURMARIL L	ALGARROBO	0.77	16 300	25.2	24.3	3.9	3.2	18.9
2	ASPIDOPERMA DUGANDI STAND	CARRETO	0.77	16 800	29.0	22.4	4.9	3.0	21.8
3	AGONANDRA BRASILIENSIS	CAIMANCILLO	Nota 1	15 300	31.5	22.9	8.2	2.0	23.6
4	ANDIRA SP	CAÑABRAVO	0.657	Nota 1	25.7	20.0	5.1	Nota 1	19.3
5	ANDIRA SP	PALO PALMA	0.630	17 800	23.0	20.3	5.2	1.8	17.2
6	APULEIA SP	MAQUI	0.680	Nota 1	27.4	21.6	5.6	1.7	20.6
7	CONCEVEIBA GUIANENSE	CASACO	0.613	Nota 1	25.2	21.5	5.5	Nota 1	18.9
8	DACRYODES CANALENSIS AUBL	ANIME INCIENSO	0.594	Nota 1	25.6	21.4	6.1	Nota 1	19.2
9	EUGENIA SP	COMITURE	0.754	Nota 1	26.8	25.5	6.6	4.0	20.1
10	DIALIUM GUIANENSE	TAMARINDO	0.880	17 500	31.9	25.3	7.5	3.7	23.9
11	HUMIRIASTRUM COLOMBIANUM	ACEITUNO ROJO	0.690	Nota 1	26.1	23.3	6.0	Nota 1	19.6
12	OCOTEA SP	CASCARILLO	0.655	Nota 1	24.6	21.1	7.0	3.7	18.5
13	ORMOSIA SP	PALMILLO	0.716	20 100	30.8	22.4	5.6	1.7	23.1
14	PIPTADENIA SPECIOSA	GUACAMAYO	Nota 1	14 100	25.0	22.5	7.2	2.1	18.8
15	STERCULIA CARIBAEA	VARA DE INDIO	0.760	22 300	29.9	20.3	4.6	1.7	22.4
16	SWARTZIA SP	GUAMILLO	0.630	14 100	24.7	22.3	5.7	Nota 1	18.5
17	CHLOROPHORA TINCTORIA	DINDE PALO MORA	0.710	15 200	23.4	22.5	3.7	1.7	17.6
18	TERMINALIA SP	AGUAMIEL	0.650	19 200	26.6	20.2	Nota 1	Nota 1	20.0
19	SACOGLOTIS SPROSARA	CHANUL	0.69	18 300	24.4	21.0	3.4	1.8	18.3
20	GOUPIA GLABRA	CHAQUIRO ZAINO	0.691	15 060	21.5	18.2	4.0	Nota 1	16.1
21	PSEUDOLMEDIA SP	LECHEVIVA	0.663	16 700	23.7	20.8	4.6	1.6	17.7
22	MABEA BIGLANDULOSA	TINGUI -TINGUI	0.570	18 200	24.6	20.3	4.9	1.6	18.5
VALORES DE DISEÑO			Nota 1	14 000	23.0	19.0	3.8	1.6	17.0

Valores de diseño asumidos

 $E_{0,5}$  14 000 $E_{0,05}$  11 000 $E_{min}$  5 500

(1) se deben efectuar ensayos previamente

**Tabla G-B.4**  
**Maderas Tipo “ES4” MPa**  
**CH = 12%**

No	Nombre Científico	Nombre Vulgar	DB	$E_{0,5}$	$F_b$	$F_c$	$F_p$	$F_v$	$F_t$
1	CARINIANA PYRIFORMIS MIERS	ABARCO	0.55	13 200	17.1	14.9	3.7	1.9	12.8
2	CALOPHYLLUM MARIAE	ACEITE MARIA	0.46	16 400	19.6	18.0	2.3	1.5	14.7
3	MORA MEGISTOSPERNA	NATO ALCORNOQUE	0.63	15 500	21.0	16.6	3.2	1.5	15.8
4	TERMINALIA AMAZONIA	GUAYABO PALOPRIETO	0.65	14 000	20.2	17.9	3.5	2.6	15.2
5	MINQUARTIA GUIANENSIS AUBL	PUNTE CANDADO	0.76	17 100	26.3	19.5	2.8	1.6	19.7
6	ASTRONIUM GRAVEOLENS	DIOMATE GUSANERO	0.87	15 300	19.9	20.4	Nota 1	2.3	14.9
7	CALYCOPHYLLUM SPRUCEANUM	GUAYABO COLORADO	0.74	16 200	21.8	18.1	6.2	2.5	16.4
8	CENTROLOBIMUM PARAENSE	GUAYACAN HOBO	0.58	15 000	21.7	18.4	3.5	1.9	16.3
9	ANIBA PENUTILIS	CACHAJO COMINO	0.492	12 500	18.7	17.4	3.6	1.4	14.0
10	CLARISIA RACEMOSA	AJI	0.570	16 600	21.0	17.5	3.1	1.6	15.8
11	CHLOROPHORA TINCTORIA	MORITO	Nota 1	13 500	24.8	23.6	9.3	2.0	18.6
12	DENDROBANGIA SP	CHONTADURILLO	0.620	16 600	19.8	17.0	4.6	1.7	14.9
13	HIERONYMA CHOCOENSIS	CARGAMANTO	0.548	Nota 1	21.3	18.7	3.2	1.6	16.0
14	HIMATANTHUS ARTICULATA	PERILLO BLANCO	0.526	Nota 1	20.1	17.0	4.6	Nota 1	15.1
15	MORA MEGISTOSPERMA	NATO	0.635	15 500	21.0	16.6	3.2	1.5	15.8
16	PIPTADENIA RIGIDA	HEDIONDO	0.630	17 500	23.1	17.8	3.1	1.9	17.3
17	MATISIA SP	SARE	0.572	17 700	21.3	21.5	4.1	1.6	16.0
18	HIERONYMA SP	PANTANO	0.627	12 600	19.0	16.1	4.1	1.9	14.3
19	PROTIUM NEGLECTUM	ANIME	0.640	16 600	24.2	19.4	2.5	2.0	18.0
20	VOCHYSIA SP	PALO SANTILLO	0.680	18 000	27.2	21.4	4.5	1.4	20.4
21	XYLOPIA EMARGINATA	ESCOBILLO	0.590	21 300	27.4	21.2	2.7	1.7	20.5
22	ESCHWEILERA SP	TETE BLANCO	0.580	17 600	24.3	22.0	3.1	1.9	18.2
23	TAPURA SP	BIJO REDONDO	0.560	15 100	20.0	15.3	3.9	1.7	15.0
VALORES DE DISEÑO ASUMIDOS			Nota 1	12 500	17.0	15.0	2.8	1.5	12.0

Valores de diseño asumidos

 $E_{0,5}$  12 500 $E_{0,05}$  10 000 $E_{min}$  5 000

(1) se deben efectuar ensayos previamente

**Tabla G-B.5**  
**Maderas Tipo “ES5” MPa**  
**CH = 12%**

No	Nombre Científico	Nombre	DB	$E_{0,5}$	$F_b$	$F_C$	$F_P$	$F_v$	$F_t$
1	CLARISIA RACEMOSA	MORA AJI	0.46	11 400	15.1	14.0	2.7	1.6	11.3
2	PENTACLETHRA MACROLOBA	DORMILÓN	0.43	13 500	16.5	13.4	2.9	1.4	12.4
3	SYMPHONIA GLOBULIFERA	MACHARE	0.58	17 200	24.7	19.7	3.5	1.3	18.5
4	EUCALYPTUS GLOBULUS	EUCALIPTO	0.55	13 800	17.7	12.9	2.7	1.9	13.3
5	ERISMA UNCINATUM	FLOR MORADO MUERILLO	0.47	11 500	14.8	14.4	1.8	1.5	11.1
6	COPAIFERA OFFICINALIS	COPAIBA	0.60	12 300	15.4	14.4	3.8	2.0	11.6
7	CARAPA GUIANENSIS	GUINO TANGARE	0.49	12 700	17.3	14.0	2.5	1.5	13.0
8	HYEROMINA LAXIFLORA	CHUGUACA PANTANO	0.55	12 100	17.6	18.6	2.4	2.1	13.2
9	BEILSCHLUMIEDIA SP	ACEITUNO	0.61	12 000	22.1	13.4	2.4	1.5	16.6
10	BRASILETTIA MOLLIS	YAGUARO		11 900	23.0	19.2	6.1	1.5	17.3
11	CASEARIA SILVESTRISS OFF	GENEME ESCOBO	0.590	11 200	15.8	15.2	2.8	1.4	11.8
12	CLARISEA RACEMOSA	ARRACACHO	0.520	14 500	19.5	19.2	4.8	1.1	14.6
13	COURATARI GUIANENSIS	COCO CABUYO	0.540	14 400	19.1	15.6	2.4	1.5	14.3
14	ORMOSIA SP	ALGODONCILLO	0.518	17 800	19.2	20.8	2.0	1.5	14.4
15	PLATYMISCIUM POLYSTACHYWIL	CORAZON FINO	Nota 1	11 200	21.3	25.3	9.6	2.1	16.0
16	POUNTERIA SP	MEDIACARO	0.630	11 800	23.9	21.1	5.2	1.9	17.9
17	TABEBUIA ROSEA	ROBLE FLORMORADO	0.540	12 400	18.3	17.4	2.2	2.1	13.7
VALORES DE DISEÑO ASUMIDOS			Nota 1	11 200	15.0	13.0	2.0	1.1	11.0

Valores de diseño asumidos

 $E_{0,5}$  11 200 $E_{0,05}$  8 250 $E_{min}$  4 435

(1) se deben efectuar ensayos previamente

**Tabla G-B.6**  
**Maderas Tipo “ES6” MPa**  
**CH = 12%**

No.	Nombre Científico	Nombre	DB	$E_{0,5}$	$F_b$	$F_C$	$F_P$	$F_v$	$F_t$
1	PINUS PATULA SCHLECHT	PINO PATULA	0.43	10 000	12.6	10.2	1.7	1.6	9.5
2	TECTONA GRANDIS	TECA	0.53	10 800	16.7	12.5	2.5	1.8	12.5
3	QUARARIBEA ASTEROLEPSIS	PUNULA	0.45	10 700	12.7	11.9	2.3	1.3	9.5
4	SAMANEA SAMAN	SAMAN	0.49	9 400	13.0	9.8	2.0	1.8	9.8
5	EUCALYPTUS SALIGNA	EUCALIPTO SALINA	0.40	11 100	13.1	10.7	1.5	1.4	9.8
6	PODOCARPUS OLEIFOLIUS	PINO CHAQUIRO	0.44	8 700	13.0	10.6	2.4	1.7	9.8
7	PINUS RADIATA DON	PINO RADIATA COLOMB	0.39	11 000	13.2	11.9	2.5	1.4	9.9
8	COPAIFERA SP	CANIME	0.480	9 800	14.5	11.7	2.9	2.0	10.9
9	LONCHOCARPUS SANCTAMARTAE	MACURUTU	0.645	10 100	25.1	19.9	7.1	2.1	18.8
VALORES DE DISEÑO ASUMIDOS			Nota 1	9 000	12.5	10.0	1.5	1.3	9.0

Valores de diseño asumidos

 $E_{0,5}$  9 000 $E_{0,05}$  6 500 $E_{min}$  3 564

(1) se deben efectuar ensayos previamente

**Notas:**

## APÉNDICE G-C CONTRACCIONES

### G-C-1 — COEFICIENTE DE CONTRACCIÓN DE MADERAS COLOMBIANAS

En la tabla G-C-1, aparecen los coeficientes de contracción determinados experimentalmente para las especies de los grupos ES1, ES2, ES3, ES4, ES5, ES6 se deben utilizar para determinar los cambios en dimensiones que se presentan por los cambios en dimensiones que se presentan por cambios en el contenido de humedad CH%, siendo esta una relación lineal, para la cual se debe utilizar la siguiente formula.

$$\text{Dimensión } CH_{1T,R} = \text{Dimensión } CH_{2T,R} \left( 1 - K_{TR} \left( \frac{CH_2 - CH_1}{100} \right) \right)$$

En donde:

Dimensión  $CH_{1T,R}$  = Dimensión a la humedad  $CH_1$ , en dirección tangencial o radial

Dimensión  $CH_{2T,R}$  = Dimensión a la humedad  $CH_2$  en dirección tangencial o radial

$K_{TR}$  = Coeficiente de contracción lineal en la dirección tangencial o radial entre CH=15 y CH=0

Para los casos en que el contenido de humedad cambie, entre los periodos de construcción y servicio, se deberán tener en cuenta este cambio dimensional.

Igualmente la relación contracción volumétrica, tabla G-C-1 y contracción tangencial/contracción radial según las tablas G-C.2 a G-C.8, nos indica el grado de estabilidad dimensional de la especie.

**Tabla G-C.1**  
**Contracción volumétrica %**

	<b>Norma DIN total Verde a anhidro</b>	<b>Norma DIN parcial (CH15% a anhidro )</b>
Pequeña	Menor de 10	Menor de 4.5
Moderada	10 - 15	5.0 - 7.0
Alta	15 - 20	7.5 - 10
Muy alta	> 20	> 11

**Tabla G-C.2**  
**Relación: Contracción tangencial/contracción radial  $R = C_T/C_R$**

Muy estable	Menor de 1.5
Estable	1.5 - 1.8
Moderadamente estable	1.8 - 2.4
Inestable	Mayor de 2.5

**Tabla G-C-3**  
**Contracciones volumétricas (%)**  
**Madera Tipo “ES1”**

No.	Nombre Científico	Nombre Vulgar	Contracciones % Desde CH = 15% hasta CH = 0%				Coeficientes de contracción lineal %	
			VOLUM	TANG	RAD	R	K <sub>T</sub>	K <sub>R</sub>
1	DIPTERYX OLEIFERA	CHOIBA	8.80	5.00	3.80	1.31	0.33	0.25
2	MYROXYLON BALSAMUN	BALSAMO	3.24	1.84	1.27	1.44	0.12	0.08
3	LICANIA SP.	AMBURE PICHANGILLO	11.78	7.29	4.34	1.69	0.49	0.29
4	PLTYMISCIUM PINNATUM	GUAYACAN TREBOL	3.79	2.33	1.46	1.59	0.15	0.10
5	PELTogyNE PORPHYROCORDIA	NAZARENO	3.80	2.40	1.4	1.71	0.16	0.09
6	ESCHWEILERA PITTIERI	COCO MANTECO	8.77	5.49	3.44	1.59	0.37	0.23
7	LECYTHIS SP	COCO MONO	10.50	6.49	3.84	1.69	0.43	0.26
8	TRIGONIASTRUM SP	MARFIL	10.30	6.15	4.41	1.39	0.41	0.29
9	LAGERSTROEMIA SP	PUNTE CASCARILLO	9.43	5.86	3.70	1.58	0.39	0.25
10	XYLOPIA SP	YAYA BLANCA	10.40	7.09	3.18	2.23	0.47	0.21

**Tabla G-C-4**  
**Contracciones Volumétricas %**  
**Maderas tipo “ES2”**

No.	Nombre Científico	Nombre Vulgar	Contracciones % Desde CH = 15% hasta CH = 0%				Coeficientes de contracción lineal %	
			VOLUM	TANG	RAD.	R	K <sub>T</sub>	K <sub>R</sub>
1	CLATHROTROPIS BRACHYPETALA	SAPAN	11.90	6.69	5.02	1.30	0.45	0.335
2	TUBEBOIA SERRATIFOLIA	GUAYACAN POLVILLO	14.60	8.00	6.60	1.21	0.53	0.440
3	HUMIRIA BALSAMIFERA	OLOROSO	10.13	6.12	4.12	1.56	0.41	0.275
4	GOUPIA GLABRA	PIAUNDE	9.64	5.45	3.54	1.54	0.36	0.240
5	HELICOSTYLIS TOMENTOSA	LECHE PERRA	10.40	5.79	4.62	1.25	0.39	0.310
6	MINILKARA BIDENTATA	BALATA NISPERILLO	7.00	4.50	2.50	1.80	0.30	0.170
7	HETEROSTEMON VAGELERI	GUAMO ROSADO	10.08	6.03	4.06	1.48	0.40	0.270
8	POUTERIA SP	CAIMO	18.10	11.30	6.80	1.70	0.75	0.450
9	POUTERIA SP	PUNTE AMARILLO	9.40	5.73	3.55	1.61	0.38	0.240
10	ESCHWEILERA SP	TETE CONGO	12.45	6.46	5.38	1.20	0.43	0.360
11	POUTERIA SP	PIASTE CAIMITO	10.58	6.23	4.34	1.41	0.42	0.280
12	LICANIA SP	AMBURE CUERO SAPO	11.09	6.83	4.36	1.56	0.46	0.290



**Tabla G-C-5**  
**Contracciones Volumétricas %**  
**Maderas Tipo “ES3”**

No.	Nombre Científico	Nombre Vulgar	Contracciones % Desde CH = 15% hasta CH = 0%				Coeficientes de contracción lineal %	
			VOLUM	TANG	RAD	R	K <sub>T</sub>	K <sub>R</sub>
1	HYMENAEA COURBARIL L	ALGARROBO	4.90	3.20	1.70	1.80	0.21	0.11
2	ASPIDOPERMA DUGANDI STAND	CARRETO	7.10	5.10	2.00	2.55	0.34	0.13
3	AGONANDRA BRASILIENSIS BENTH	CAIMANCILLO	12.02	6.92	4.62	1.53	0.46	0.31
4	ANDIRA SP	CAÑABRAVO	9.70	5.83	3.63	1.61	0.39	0.24
5	ANDIRA SP	PALO PALMA	7.90	5.26	2.62	2.00	0.35	0.18
6	APULEIA SP	MAQUI	10.54	6.22	4.41	1.41	0.42	0.29
7	CONCEVEIBA GUIANENSE	CASACO	8.40	5.64	2.58	2.19	0.38	0.17
8	DACRYODES CANALENSIS AUBL	ANIME INCIENSO	8.40	4.57	4.09	1.12	0.31	0.27
9	EUGENIA SP	COMITURE	7.59	4.98	2.63	1.89	0.33	0.18
10	DIALIUM GUIANENSE	TAMARINDO	9.03	5.80	3.20	1.81	0.39	0.21
11	HUMIRIASTRUM COLOMBIANUM	ACEITUNO ROJO	9.20	5.70	3.34	1.70	0.38	0.22
12	OCOTEA SP	CASCARILLO	6.47	3.87	2.45	1.58	0.26	0.16
13	ORMOSIA SP	PALMILLO	9.64	6.00	3.47	1.75	0.40	0.23
14	PIPTADENIA SPECIOSA	GUACAMAYO	7.87	4.85	2.72	1.77	0.32	0.18
15	STERCULIA CARIBAEA	VARA DE INDIO	17.70	11.70	6.00	2.00	0.78	0.40
16	SWARTZIA SP	GUAMILLO	7.47	4.92	2.55	1.93	0.33	0.17
17	CHLOROPHORA TINCTORIA	DINDE PALO MORA	2.50	1.60	0.90	1.77	0.11	0.06
18	TERMINALIA SP	AGUAMIEL	7.35	4.47	2.89	1.55	0.30	0.19
19	SACOGLOTIS PROCERA	CHANUL	9.40	5.80	3.60	1.61	0.39	0.24
20	GOUPIA GLABRA	CHAQUIRO SAINO	6.90	4.40	2.60	1.69	0.29	0.17
21	PSEUDOLMEDIA SP	LECHEVIVA	9.11			1.70		
22	MABEA AFF. BIGLANDULOSA	TINGUI - TINGUI	8.46	5.41	3.26	1.68	0.36	0.22

**Tabla G-C-6**  
**Contracciones Volumétricas %**  
**Maderas Tipo “ES4”**

No	Nombre Científico	Nombre Vulgar	Contracciones % Desde CH = 15% hasta CH = 0%				Coeficientes de contracción lineal %	
			VOLUM	TANG	RAD	R	K <sub>T</sub>	K <sub>R</sub>
1	CARINIANA PYRIFORMIS MIERS	ABARCO	8.30	5.13	3.17	1.61	0.34	0.21
2	CALOPHYLLUM MARIAE	ACEITE MARIA	9.40	6.40	3.20	2.00	0.43	0.21
3	MORA MEGISTOSPERNA	NATO ALCORNOQUE	8.20	5.60	2.80	2.00	0.37	0.19
4	TERMINALIA AMAZONIA	GUAYABO PALOPRIETO	5.40	3.40	2.00	1.70	0.23	0.13
5	MINGUARTIA GUIANENSIS	PUNTE CANDADO	3.40	2.20	1.20	1.83	0.15	0.08
6	ASTRONIUM GRAVEOLENS	DIOMATE GUSANERO	6.63	4.80	1.83	2.62	0.32	0.12
7	CALYCOPHYLLUM APRUCEANUM	GUAYABO COLORADO	6.90	4.50	2.40	1.87	0.30	0.16
8	CENTROLOBIMUM PARAENSE	GUAYACAN HOBO	Nota 1	Nota 1	Nota 1	Nota 1	Nota 1	Nota 1
9	ANIBA PENUTILIS	CACHAJO COMINO	Nota 1	Nota 1	Nota 1	Nota 1	Nota 1	Nota 1
10	CLARISIA RACEMOSA	AJI	9.02	6.09	2.93	2.08	0.41	0.20
11	CHLOROPHORA TINCTORIA	MORITO	7.22	4.32	2.50	1.73	0.29	0.17
12	DENDROBANGIA SP	CHONTADURILLO	8.20	4.50	2.70	2.03	0.30	0.18
13	HIERONYMA CHOCOENSIS	CARGAMANTO	8.21	4.76	3.35	1.40	0.32	0.22
14	HIMATANTHUS ARTICULATA	PERILLO BLANCO	8.60	5.35	3.21	1.67	0.36	0.21
15	MORA MEGISTOSPERMA	NATO	8.20	5.14	2.97	1.77	0.34	0.20
16	PIPTADENIA RIGIDA	HEDIONDO	9.00	6.40	2.60	2.50	0.43	0.17
17	MATISIA SP	SARE	8.23	5.14	3.09	1.66	0.34	0.21
18	HIERONYMA SP	PANTANO	7.16	4.14	2.81	1.47	0.28	0.19
19	PROTIUM NEGLECTUM	ANIME	12.50	8.40	4.10	2.00	0.56	0.27
20	VOCHYSIA SP	PALO SANTILLO	Nota 1	Nota 1	Nota 1	Nota 1	Nota 1	Nota 1
21	XYLOPIA EMARGINATA	ESCOBILLO	Nota 1	Nota 1	Nota 1	Nota 1	Nota 1	Nota 1
22	ESCHWEILERA SP	TETE BLANCO	7.98	4.73	3.20	1.47	0.32	0.21
23	TAPURA SP	BIJO REDONDO	8.32	5.71	2.55	2.24	0.38	0.17

**Tabla G-C-7**  
**Contracciones Volumétricas %**  
**Maderas Tipo “ES5”**

No	Nombre Científico	Nombre Vulgar	Contracciones % Desde CH = 15% hasta CH = 0%				Coeficientes de contracción lineal %	
			VOLUM	TANG	RAD	R	K <sub>T</sub>	K <sub>R</sub>
1	CLARISIA RACEMOSA	MORA AJI	2.20	1.50	0.70	2.14	0.10	0.05
2	PENTACLETHRA MACROLOBA	DORMILÓN	7.70	5.80	1.90	3.05	0.39	0.13
3	SYMPHONIA GLOBULIFERA	MACHARE	8.02	5.40	2.80	1.92	0.36	0.19
4	EUCALYPTUS GLOBULUS	EUCALIPTO	15.20	10.80	4.40	2.45	0.72	0.29
5	ERISMA UNCINATUM	FLOR MORADO MUERILLO	6.50	4.60	1.90	2.42	0.31	0.13
6	COPAIFERA OFFICINALIS	COPAIBA	4.50	3.20	1.30	2.69	0.21	0.09
7	CARAPA GUIANENSIS	Guiño TANGARE	6.00	4.20	1.90	2.31	0.28	0.13
8	HYEROMINA LAXIFLORA	CHUGUACA PANTANO	7.30	4.80	2.50	1.92	0.32	0.17
9	BEILSCLUMEDIA	ACEITUNO	12.70	8.70	4.00	2.20	0.58	0.27
10	BRASILETTIA MOLLIS	YAGUARO	6.40	4.37	1.80	2.42	0.29	0.12
11	CASEARIA OFF SILVESTRIS	GENEME ESCOBO	3.70	2.01	1.39	1.47	0.13	0.09
12	CLARISEA RACEMOSA	ARRACACHO	8.66	5.72	2.79	2.05	0.38	0.19
13	COURATARI GUIANENSIS	COCO CABUYO	10.90	6.50	4.30	1.50	0.43	0.29
14	ORMOSIA SP	ALGODONCILLO	9.21	5.37	3.88	1.38	0.36	0.26
15	PLATYMISCIUM POLYSTACHYWM	CORAZON FINO	6.65	3.65	2.35	1.55	0.24	0.16
16	POUNTERIA SP	MEDIACARO	8.60	5.19	3.56	1.48	0.35	0.24
17	TABEBUÍA ROSEA	ROBLE FLORMORADO	4.80	2.90	1.90	1.52	0.19	0.13

**Tabla G-C-8**  
**Contracciones Volumétricas %**  
**Maderas Tipo “ES6”**

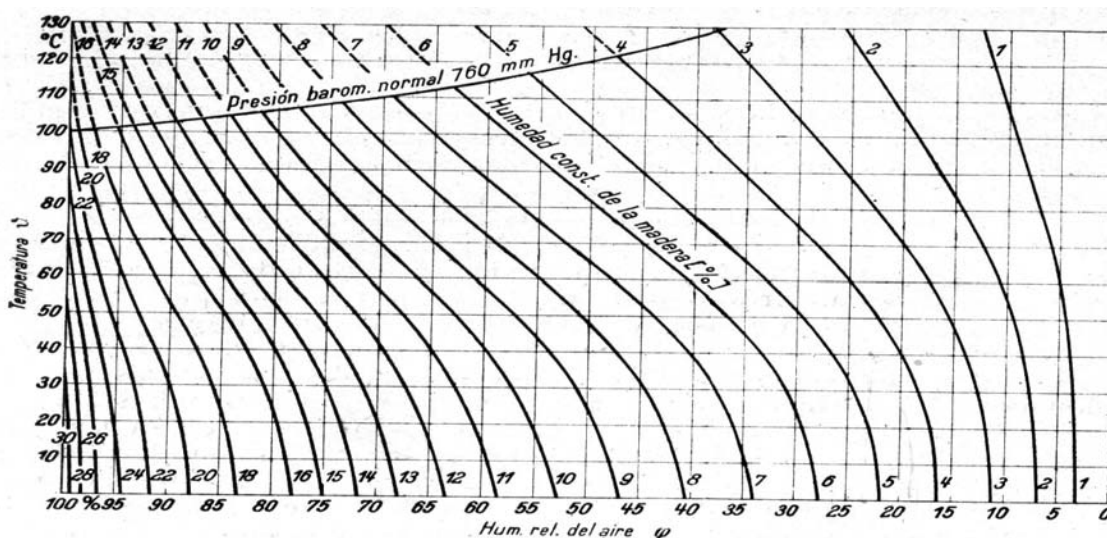
No.	Nombre Científico	Nombre Vulgar	Contracciones % Desde CH = 15% hasta CH = 0%				Coeficientes de contracción lineal %	
			VOLUM	TANG	RAD	R	K <sub>T</sub>	K <sub>R</sub>
1	PINUS PATULA SCHLECHT	PINO PATULA	5.54	3.74	1.80	2.07	0.25	0.12
2	TECTONA GRANDIS	TECA	4.30	2.69	1.61	1.67	0.18	0.11
3	QUARARIBEA ASTEROLEPSIS	PUNULA	4.60	3.07	1.53	2.00	0.21	0.10
4	SAMANEA SAMAN	SAMAN	2.00	1.20	0.70	1.71	0.08	0.05
5	EUCALYPTUS SALIGNA	EUCALIPTO SALIÑA	8.88	6.46	2.42	2.66	0.43	0.16
6	PODOCARPUS OLEIFOLIUS	PINO CHAQUIRO	6.70	4.30	2.40	1.79	0.29	0.16
7	PINUS RADIATA DON	PINO RADIATA COLOMB	8.20	5.20	3.00	1.73	0.35	0.20
8	COPAIFERA SP	CANIME	8.60	5.10	3.70	1.50	0.34	0.25
9	LONCHOCARPUS SANCTAMARTAE	MACURUTU	8.62	4.07	3.75	1.08	0.27	0.25

**Notas:**

## APENDICE G-D

### EQUILIBRIO DE CONTENIDO DE HUMEDAD

**G-D.1** — Como se presenta en la figura G-D.1 se puede deducir que para cada condición del medio ambiente existe una cierta cantidad de agua sorbida en la madera y por consiguiente un contenido de humedad en la madera. Así se puede deducir que existe una relación entre los conjuntos de valores de temperatura, humedad relativa y contenido de humedad de la madera que corresponde al *Equilibrio de Contenido de Humedad* y que se define como la humedad máxima que puede adquirir la madera en un medio ambiente de condiciones higrotérmicas fijadas.



**Figura G-D.1 — Isotermas de Sorción**

Toda madera expuesta a condiciones ambientales, aún desde el momento en que se corta el árbol, empieza a perder humedad y se equilibra con el ambiente. Así mismo si el contenido de humedad de una madera está por encima o por debajo del punto de equilibrio perderá o ganará humedad hasta alcanzar dicho punto. En la tabla G-D-1 se presta el Equilibrio de Contenido de Humedad (*ECH*) para las principales ciudades de Colombia.

El concepto de *ECH* tiene mucha importancia industrial ya que su conocimiento permite:

- Determinar las condiciones de marcha de los secaderos.
- Fijar hasta que contenido de humedad debe ser secada una madera para su posterior utilización.
- Permite el uso de tablas de Temperatura, Humedad Relativa y Equilibrio de contenido de humedad.

Por otra parte cuando la condensación capilar se ha producido en todos los capilares existentes en la pared celular, cuyos radios son compatibles con las condiciones de saturación del ambiente, la madera habrá adquirido por sorción de vapor de agua su humedad máxima en la pared celular. Esta humedad se llama *Punto de Saturación de las Fibras (PSF)*.

Este punto de saturación de la pared celular señala que una madera seca, no puede alcanzar una humedad ilimitada por sorción de vapor de agua existente en la atmósfera, sino que esta humedad tiene un límite que corresponde al PSF. Si se pretende sobrepasar este límite, no habrá más remedio que introducir en agua en forma líquida, es decir por inmersión.

Otra consecuencia importante desde el punto de vista del secado y relacionada con el *PSF*, es la contracción que ocurre en la madera cuando se seca desde este punto hasta el contenido de humedad final.

**Tabla G-D-1**  
**Equilibrio de Contenido de Humedad (ECH) para las principales ciudades de Colombia.**

<b>Ciudad</b>	<b>HR%</b>	<b>T °C</b>	<b>ECH%</b>
Armenia	77	22	15
Barranquilla	76	28	14
Bogotá	80	11	16
Bucaramanga	75	22	14
Buenaventura	87	28	18.5
Cali	75	24	12
Cartagena	79	28	15
Cúcuta	66	27	16
Ibagué	80	21	16
Manizales	78	18	13
Medellín	69	21	12
Montería	82	27	16
Neiva	67	26	16
Pasto	79	17	16
Pereira	75	22	14
Popayán	79	18	16
Quibdó	87	28	18.5
Sincelejo	77	28	15
Tunja	80	13	16
Turbo	85	27	17.5
Valledupar	70	28	13
Villavicencio	75	25	14

## APÉNDICE G-E

### NORMAS NTC EXPEDIDAS POR EL ICONTEC

#### Complementarias del Título G

(Actualizadas a Octubre de 2008)

Código	Título	Fecha de ratificación	Actualización
NTC 1011	Maderas. Determinación de los esfuerzos unitarios básicos.	27/08/1975	Ninguna
NTC 1854	Madera. Preservativos para madera. Creosota	16/06/1999	Segunda
NTC 1933	Pinturas. Lacas nitrocelulosicas para acabados sobre madera.	06/06/1984	Ninguna
NTC 206	Maderas. Determinación del contenido de humedad para ensayos físicos y mecánicos.	19/08/1992	Segunda
NTC 2083	Madera. Madera preservada. Clasificación y requisitos.	17/02/1999	Primera
NTC 2247	Maderas. Preservativos ccb para madera.	17/02/199	Primera
NTC 2432	Elementos de fijación. Clavos para ser usados en madera y materiales a base de madera. Definiciones.	01/06/1988	Ninguna
NTC 2471	Maderas. Preservativo para maderas. Naftenato de cobre.	16/11/1988	Ninguna
NTC 2500	Ingeniería civil y arquitectura. Uso de la madera en la construcción.	16/04/1997	Primera
NTC 2610	Maderas. Preservativo para madera. Sales CCA.	20/06/1990	Ninguna
NTC 273	Madera rolliza, aserrada y labrada. Medición y cubicación.	29/11/1968	Ninguna
NTC 290	Maderas. Determinación del peso específico aparente.	18/09/1974	Primera
NTC 2912	Maderas. Tableros de fibra. Determinación de la resistencia a la flexión.	17/07/1991	Ninguna
NTC 2918	Maderas. Insecticidas para madera. Clorpirifos.	21/08/1991	Ninguna
NTC 301	Requisitos de las probetas pequeñas para los ensayos físicos y mecánicos de la madera.	18/04/2007	Primera
NTC 3368	Madera. Método de ensayo para evaluar los preservativos de la madera mediante ensayos de campo con estacas.	17/05/2000	Primera
NTC 3377	Maderas. Ensayos con probetas pequeñas.	17/06/1992	Ninguna
NTC 3427	Maderas. Métodos para el deterioro acelerado de la madera tratada con retardante de fuego para ensayos de incendio.	16/09/1992	Ninguna
NTC 3447	Maderas. Uso y calibración de medidores portátiles de humedad.	21/10/1992	Ninguna
NTC 3509	Tornillería. Tornillo de cabeza ranurada para madera.	17/03/1993	Ninguna
NTC 4603	Madera. Método de ensayo para la detección y estimación de la retención de preservativos de madera por bioensayos con aspergillus.	19/05/1999	Ninguna
NTC 4622	Preservativos para madera. Tablas normalizadas para la corrección del volumen y de la gravedad específica para la creosota.	16/06/1999	Ninguna
NTC 4693	Madera. Toma de muestras de preservativos para madera previamente a ensayos.	27/10/1999	Ninguna
NTC 5253	Materias primas para la industria de las madera y contratipos. Resinas de urea-formaldehído, uf.	24/03/2004	Ninguna
NTC 5279	Métodos de ensayo estático para madera de tamaños estructurales.	28/07/2004	Ninguna
NTC 663	Maderas. Determinación de la resistencia a la flexión.	25/04/1973	Ninguna
NTC 701	Maderas. Método para determinar la contracción.	29/08/1973	Ninguna
NTC 775	Maderas. Determinación de la resistencia al cizallamiento paralelo al grano.	27/03/1974	Ninguna
NTC 784	Maderas. Determinación de la resistencia a la compresión axial o paralela al grano.	17/04/1974	Ninguna
NTC 785	Maderas. Determinación de la resistencia a la compresión perpendicular al grano.	17/04/1974	Ninguna
NTC 787	Maderas. Toma de muestras para ensayos físicos y mecánicos.	15/05/1974	Ninguna

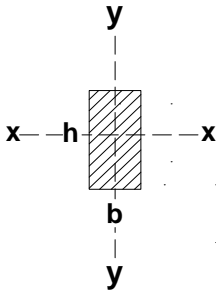
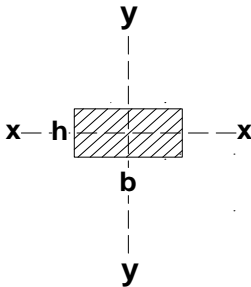
Código	Título	Fecha de ratificación	Actualización
NTC 790	Maderas. Acondicionamiento para los ensayos físicos y mecánicos.	15/05/1974	Ninguna
NTC 824	Maderas. Glosario de defectos.	18/04/2007	Primera
NTC 825	Maderas aserradas y cepilladas. Métodos de medición de los defectos.	23/07/1975	Ninguna
NTC 918	Maderas. Determinación de la dureza-método janka.	09/04/1975	Ninguna
NTC 944	Maderas. Determinación de la tracción paralela al grano.	14/05/1975	Ninguna
NTC 951	Maderas. Método de extracción de clavos.	28/05/1975	Ninguna
NTC 960	Maderas. Determinación de la resistencia al hendimiento-clivaje.	27/08/1974	Ninguna
NTC 961	Maderas. Determinación de la tracción perpendicular al grano.	28/05/1975	Ninguna
NTC 206 - 1	Maderas. Determinación de contenido de humedad para ensayos físicos y mecánicos.	22/12/2005	Ninguna
NTC 206 - 2	Medición directa del contenido de humedad en la madera y material a base de madera.	22/12/2005	Ninguna
NTC 206 - 3	Maderas. Uso y calibración de medidores portátiles de humedad.	22/12/2005	Ninguna
NTC 5423	Adhesivos. Determinación del porcentaje de falla de la madera en uniones adhesivas.	28/06/2006	Ninguna
NTC 143	Maderas. Procedimiento para el secado natural de madera verde.	25/10/2006	Ninguna
NTC 145	Maderas. Procedimiento para el secado artificial de madera verde.	25/10/2006	Ninguna
NTC 5445	Maderas. Clasificación de maderas secas.	25/10/2006	Ninguna
NTC 5497	Determinación de la resistencia al calor y a la humedad de uniones adhesivas de madera.	20/06/2007	Ninguna
NTC 5498	Determinación de la integridad de las uniones adhesivas en productos estructurales de madera laminada para uso exterior.	20/06/2007	Ninguna
NTC 1093	Maderas. Métodos de ensayo para evaluar la penetración en madera y para diferenciar entre el duramen y la albura.	25/11/1998	Primera
NTC 1127	Maderas. Determinación de su durabilidad natural. Ensayo acelerado.	05/10/1983	Primera
NTC 1128	Maderas. Método de ensayo para preservativos de madera mediante el sistema de bloques en tierra.	25/11/1998	Primera
NTC 1149	Preservación de maderas. Terminología.	29/05/2002	Primera
NTC 1157	Maderas. Método de ensayo para determinar la retención de preservativos en madera y el contenido de componentes activos en los preservativos.	16/06/1999	Tercera
NTC 1305	Maderas. Clasificación de madera aserradas	08/06/1977	Ninguna
NTC 1317	Maderas. Determinación de la trabajabilidad en lijado.	13/07/1977	Ninguna
NTC 1318	Maderas. Determinación de la trabajabilidad en cepillado.	13/07/1977	Ninguna
NTC 1366	Maderas. Determinación de la trabajabilidad en taladro.	23/11/1977	Ninguna
NTC 1367	Maderas. Determinación de la trabajabilidad en cajeado.	23/11/1977	Ninguna
NTC 1368	Maderas. Determinación de la trabajabilidad en moldurado.	23/11/1977	Ninguna
NTC 1557	Maderas. Madera rolliza para aserrar. Especies latifoliadas.	06/08/1980	Ninguna
NTC 1592	Elementos mecánicos. Tornillos para madera (serie inglesa).	17/03/1993	Primera
NTC 1646	Maderas. Madera aserrada para construcción. Dimensiones, clasificación y defectos.	07/10/1981	Ninguna
NTC 172	Madera rolliza y aserrada. Glosario.	16/05/1973	Primera
NTC 1764	Maderas. Preservativos CCA para madera.	17/02/1999	Segunda
NTC 1822	Madera. Madera preservada. Toma de muestras.	21/06/2000	Primera
NTC 1823	Madera. Maderas. Determinación de la tenacidad.	16/03/1983	Ninguna



## APÉNDICE G-F

### PROPIEDADES DE SECCIONES PREFERENCIALES

### MEDIDAS NOMINALES

Escuadría en cm	Perímetro cm	Área cm <sup>2</sup>	CASO A		CASO B	
			Módulo de Sección Z, cm <sup>3</sup>	Momento de Inercia I cm <sup>4</sup>	Módulo de Sección Z, cm <sup>3</sup>	Momento de Inercia I cm <sup>4</sup>
Mesa 20 x 20	80	400	1333	13.333	333	13.333
Viga 10 x 20	60	200	667	6667	667	1667
Planchón 5 x 20	50	100	333	3333	83	208
Cerco 10 x 10	40	100	167	833	167	833
Repisa 5 x 10	30	50	83	417	42	104
Cuartón 5 x 5	20	25	21	52	21	52
Listón 2,5 x 5	15	12.5	10	26	5	7
Mesa 25 x 25	100	625	2604	32.552	2604	32.552
Viga 12 x 25	74	300	1250	15.625	600	3600
Planchón 6 x 25	62	150	625	7813	150	450
Cerco 12 x 12	48	144	288	1728	288	1728
Repisa 6 x 12	32	72	144	864	72	216
Cuartón 6 x 6	24	36	36	108	36	108
Listón 3 x 6	18	18	18	54	9	13
Mesa 30 x 30	120	900	4500	67.500	4500	67.500
Viga 15 x 30	90	450	2250	33.750	1125	8437
Planchón 7,5 x 30	70	150	1125	11.250	281	1055
Cerco 15 x 15	60	225	562	4219	562	4219
Repisa 7,5 x 15	45	112	281	2109	141	527
Cuartón 7,5 x 7,5	30	56	70	264	70	264
Listón 3,7 x 7,5	22.5	28	35	132	18	33
<b>Notas:</b>  <b>1. Aproximación</b> $< 0.5 = 0$ $> 0.5 = 1$  <b>2. Módulo de Sección</b>  $z = \frac{(bd)^2}{6}$  <b>3. Momento de Inercia</b>  $z = \frac{(bd)^3}{12}$			 <p style="text-align: center;"><b>CASO A</b></p>		 <p style="text-align: center;"><b>CASO B</b></p>	

**Notas:**

## APÉNDICE G-G

### CARGAS ADMISIBLES PARA EL DISEÑO DE ENTABLADOS

Tomado del Manual de Diseño para madera del Grupo Andino 1984, página 8-73 y 8-74

**Tabla G-G-1**  
**Cargas máximas en entablados de madera Grupo A**

Carga puntual “P” EN kgf. Carga uniformemente distribuida “W” en kgf/m<sup>2</sup>. **MADERAS GRUPO “A”**

ESPESOR (cm)	Espaciamiento de los apoyos /																	
	30		40		50		60		80		100		120		140		160	
	P	W	P	W	P	W	P	W	P	W	P	W	P	W	P	W	P	W
1.0	87	1650	49	696	31	356	22	206	12	87								
1.5	293	5567	165	2349	105	1203	73	696	41	294	26	150	18	87	13	55		
2.0			390	5567	250	2850	173	1650	98	696	62	356	43	206	32	130	24	87
2.5					488	5567	339	3222	190	1359	122	696	85	403	62	254	48	170
3.0							585	5567	329	2349	211	1203	146	696	107	438	82	294
3.5									523	3730	334	1910	232	1105	171	696	131	466
4.0											499	2850	347	1650	255	1039	195	696
4.5													494	2349	363	1479	278	991

**Tabla G-G-2**  
**Cargas máximas en entablados de madera Grupo B**

Carga puntual “P” EN kgf. Carga uniformemente distribuida “W” en kgf/m<sup>2</sup>. **MADERAS GRUPO “B”**

ESPESOR (cm)	Espaciamiento de los apoyos /																	
	30		40		50		60		80		100		120		140		160	
	P	W	P	W	P	W	P	W	P	W	P	W	P	W	P	W	P	W
1.0	67	1269	38	535	24	274	17	159	9	67								
1.5	225	4282	127	1807	81	925	56	535	32	226	20	116	14	67				
2.0			300	4282	192	2193	133	1269	75	535	48	274	33	159	24	100	19	67
2.5					375	4282	260	2478	146	1046	94	535	65	310	48	195	37	131
3.0							450	4282	253	1807	162	925	113	535	83	337	63	226
3.5									402	2869	257	1469	179	850	131	535	100	359
4.0											384	2193	267	1269	196	799	150	535
4.5													380	1807	279	1138	214	762

**Tabla G-G-3**  
**Cargas máximas en entablados de madera Grupo C**

Carga puntual “P” en kgf. Carga uniformemente distribuida “W” en kgf/m<sup>2</sup>. **MADERAS GRUPO “C”**

ESPESOR (cm)	Espaciamiento de los apoyos $\ell$																	
	30		40		50		60		80		100		120		140		160	
	P	W	P	W	P	W	P	W	P	W	P	W	P	W	P	W	P	W
1.0	60	1142	34	482	22	247	15	143	8	60								
1.5	183	3667	114	1626	73	833	51	482	28	203	18	104	13	60				
2.0			244	3667	173	1973	120	1142	68	482	43	247	30	143	22	90	17	60
2.5					305	3667	234	2230	132	941	84	482	59	279	43	176	33	118
3.0							366	3667	228	1626	146	833	101	482	74	303	57	203
3.5									362	2582	232	1322	161	765	118	482	30	323
4.0											346	1973	240	1142	176	719	135	482
4.5													342	1626	251	1024	192	686

