



**GUIA METODOLOGICA PARA DISEÑO ESTRUCTURAL DE CONSTRUCCIONES EN
MADERA TITULO G NSR-10**

Estudiante:

Jaime Leonardo Rodríguez Sterling

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL Y GEOMATICA
SANTIAGO DE CALI
Enero-2015**

**GUIA METODOLOGICA PARA DISEÑO ESTRUCTURAL DE CONSTRUCCIONES EN
MADERA TITULO G NSR-10**

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Civil

Estudiante:

Jaime Leonardo Rodríguez Sterling

Director:

Ingeniero Harold Cárdenas Ordoñez

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL Y GEOMATICA
SANTIAGO DE CALI
Enero-2015**

Notas de aceptación

Harold Cárdenas Ordoñez

Director

Firma de jurado

Firma de jurado

AGRADECIMIENTOS

A todas las personas que estuvieron acompañándome en el camino para la realización de este proyecto.

A mi familia que siempre me brindó apoyo y fue un pilar fundamental en los momentos en que fue necesario.

A mis compañeros que siempre fueron la luz que me guio en los momentos en los cuales se presentaron dificultades de diversa índole.

Al profesor Harold Cárdenas por brindarme la posibilidad de realizar este proyecto de investigación de la mejor manera.

Por ultimo a todos los profesores que fueron quienes aportaron su grano de arena para lograr completar mi formación como profesional.

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	XI
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	XII
1. RESUMEN	XIV
2. NOMENCLATURA	XVI
3. GENERALIDADES.....	1
3.1. Características generales de la madera.....	1
3.1.1. Composición	1
El tronco	1
3.2. Características físicas de la madera	1
3.2.1. Contenido de humedad	1
3.2.2. Cambios dimensionales	2
3.3. Propiedades resistentes de la madera.....	2
3.3.1. Resistencia a la compresión paralela	2
3.3.2. Resistencia a la compresión perpendicular	2
3.3.3. Resistencia a la tracción	3
3.3.4. Resistencia al corte.....	3
3.3.5. Resistencia a la flexión paralela al grano	3
3.4. Factores que afectan el comportamiento de la madera.....	3
3.4.1. Defectos de crecimiento.....	3
3.4.1.1. Los nudos	3
3.4.1.2. Inclinación del grano	4
3.4.1.3. Fallas por compresión.....	4
3.4.1.4. Perforaciones.....	4
3.4.1.5. Medula excéntrica.....	4
3.5. Influencia del contenido de humedad.....	4
3.6. Influencia de la densidad	5
3.7. Influencia de la temperatura.....	5
3.8. Duración de la carga.....	5
3.9. Degradación	5
3.10. Ataque de insectos	5
3.11. Ataques químicos	5

4. INTRODUCCIÓN	6
5. PROBLEMA	8
5.1. Descripción.....	8
5.2. JUSTIFICACIÓN.....	9
5.3. OBJETIVOS	10
5.4. MARCO DE REFERENCIA	11
5.4.1. Antecedentes	11
5.4.2. Estado del arte	11
5.5. Fases y productos	12
6. DISEÑO DE ELEMENTOS SOLICITADOS POR FLEXIÓN	13
6.1. Casos de estudio	13
6.1.1. Caso de estudio 1- Flexión.....	13
6.1.1.1. Recomendaciones iniciales para diseño a flexión.	14
6.1.1.2. Definición de sección.	15
6.1.1.3. Esfuerzo admisible modificado.....	16
6.1.1.3.1. Esfuerzo admisible.....	16
6.1.1.3.2. Coeficiente de modificación por duración de la carga.	16
6.1.1.3.3. Coeficiente de modificación por contenido de humedad.	17
6.1.1.3.4. Coeficiente de modificación por temperatura.	17
6.1.1.3.5. Coeficiente de modificación por estabilidad lateral de vigas.....	17
6.1.1.3.6. Coeficiente de forma.	18
6.1.1.3.7. Coeficiente de modificación por cara ancha.	18
6.1.1.3.8. Coeficiente de modificación por incisiones.....	18
6.1.1.3.9. Coeficiente de modificación por acción conjunta.....	18
6.1.1.4. Momento resistente.....	19
6.1.1.5. Momento actuante.	19
6.1.1.6. Esfuerzo cortante actuante.	20
6.1.1.7. Esfuerzo cortante admisible modificado.....	21
6.1.1.8. Esfuerzo de aplastamiento.....	21
6.1.1.9. Esfuerzo admisible modificado a compresión perpendicular a la fibra.....	22
6.1.1.9.1. Deflexiones	23
6.1.2. Caso de estudio 2 - Flexión.....	24

6.1.2.1.	Definición de sección.	25
6.1.2.2.	Esfuerzo admisible modificado.....	26
6.1.2.2.1.	Esfuerzo admisible.....	27
6.1.2.2.2.	Coeficiente de modificación por duración de la carga.	27
6.1.2.2.3.	Coeficiente de modificación por contenido de humedad.	27
6.1.2.2.4.	Coeficiente de modificación por temperatura.	27
6.1.2.2.5.	Coeficiente de modificación por estabilidad lateral de vigas.....	28
6.1.2.2.6.	Coeficiente de forma.	28
6.1.2.2.7.	Coeficiente de modificación por cara ancha.....	28
6.1.2.2.8.	Coeficiente de modificación por incisiones.....	28
6.1.2.2.9.	Coeficiente de modificación por acción conjunta.....	28
6.1.2.3.	Momento resistente.....	29
6.1.2.4.	Momento actuante.	29
6.1.2.5.	Esfuerzo cortante actuante.	30
6.1.2.6.	Esfuerzo cortante admisible modificado.....	31
6.1.2.6.1.	Deflexiones.....	31
6.1.3.	Caso de estudio 3 – Flexión.....	32
6.1.3.1.	Definición de sección.	33
6.1.3.2.	Esfuerzo admisible modificado.....	34
6.1.3.2.1.	Esfuerzo admisible.....	35
6.1.3.2.2.	Coeficiente de modificación por duración de la carga.	35
6.1.3.2.3.	Coeficiente de modificación por contenido de humedad.	35
6.1.3.2.4.	Coeficiente de modificación por temperatura.	36
6.1.3.2.5.	Coeficiente de modificación por estabilidad lateral de vigas.....	36
6.1.3.2.6.	Coeficiente de forma.	36
6.1.3.2.7.	Coeficiente de modificación por incisiones.....	36
6.1.3.2.8.	Coeficiente de modificación por acción conjunta.....	37
6.1.3.3.	Momento resistente.....	37
6.1.3.4.	Momento actuante.	37
6.1.3.5.	Esfuerzo cortante actuante.	38
6.1.3.6.	Esfuerzo cortante admisible modificado.....	39
6.1.3.7.	Esfuerzo de aplastamiento.....	39

6.1.3.8.	Esfuerzo admisible modificado a compresión perpendicular a la fibra.....	40
6.1.3.8.1.	Deflexiones	41
6.1.4.	Caso de estudio 4 – Flexión.....	42
6.1.4.1.	Definición de sección.	43
6.1.4.2.	Esfuerzo admisible modificado.....	44
6.1.4.2.1.	Esfuerzo admisible.....	45
6.1.4.2.2.	Coeficiente de modificación por duración de la carga.	45
6.1.4.2.3.	Coeficiente de modificación por contenido de humedad.	45
6.1.4.2.4.	Coeficiente de modificación por temperatura.	45
6.1.4.2.5.	Coeficiente de forma.	46
6.1.4.2.6.	Coeficiente de modificación por incisiones.....	46
6.1.4.2.7.	Coeficiente de modificación por acción conjunta.....	46
6.1.4.2.8.	Coeficiente de modificación por estabilidad lateral de vigas.....	46
6.1.4.3.	Momento resistente.....	48
6.1.4.4.	Momento actuante.	48
6.1.4.5.	Esfuerzo cortante actuante.	50
6.1.4.6.	Esfuerzo cortante admisible modificado.....	50
6.1.4.7.	Esfuerzo de aplastamiento.....	51
6.1.4.8.	Esfuerzo admisible modificado a compresión perpendicular a la fibra.....	52
6.1.4.8.1.	Deflexiones	53
7.	DISEÑO DE ELEMENTOS SOLICITADOS POR FUERZA AXIAL	54
7.1.	Casos de estudio	54
7.1.1.	Caso de estudio 5 – carga axial	54
7.1.1.1.	Esfuerzo admisible modificado.....	55
7.1.1.1.1.	Esfuerzo admisible.....	55
7.1.1.1.2.	Coeficiente de modificación por duración de la carga.	55
7.1.1.1.3.	Coeficiente por contenido de humedad.....	56
7.1.1.1.4.	Coeficiente de modificación por temperatura.	56
7.1.1.1.5.	Coeficiente de forma.....	56
7.1.1.1.6.	Coeficiente de modificación por incisiones.....	57
7.1.1.1.7.	Coeficiente de modificación por acción conjunta.....	57
7.1.1.1.8.	Coeficiente de estabilidad en columnas	57

7.1.1.2.	Cargas admisibles.....	59
7.1.1.3.	Acortamiento de elementos a compresión	60
7.1.2.	Caso de estudio 6 – Carga axial	61
7.1.2.1.	Recomendaciones generales para columnas espaciadas	62
7.1.2.2.	Esfuerzo admisible modificado.....	63
7.1.2.2.1.	Esfuerzo admisible.....	63
7.1.2.2.2.	Coeficiente de modificación por duración de la carga.	63
7.1.2.2.3.	Coeficiente por contenido de humedad.....	63
7.1.2.2.4.	Coeficiente de modificación por temperatura.	64
7.1.2.2.5.	Coeficiente de forma.....	64
7.1.2.2.6.	Coeficiente de modificación por acción conjunta.....	64
7.1.2.2.7.	Coeficiente de modificación por incisiones.....	65
7.1.2.2.8.	Coeficiente de estabilidad en columnas	65
7.1.2.2.9.	Calculo de esbeltez respecto al eje Y	68
7.1.2.3.	Cargas admisibles.....	69
7.1.2.4.	Acortamiento de elementos a compresión	69
7.1.2.4.1.	Capacidad de los conectores a cortante.	70
8.	DISEÑO DE ELEMENTOS SOLICITADOS POR FLEXIÓN Y CARGA AXIAL	72
8.1.	Casos de estudio	72
8.1.1.	Caso de estudio 7 – flexión y carga axial	72
8.1.1.1.	Definición de sección.	73
8.1.1.2.	Esfuerzo admisible modificado.....	74
8.1.1.2.1.	Esfuerzo admisible.....	74
8.1.1.2.2.	Coeficiente de modificación por duración de la carga.	74
8.1.1.2.3.	Coeficiente por contenido de humedad.....	74
8.1.1.2.4.	Coeficiente de modificación por temperatura.	75
8.1.1.2.5.	Coeficiente de forma.....	75
8.1.1.2.6.	Coeficiente de modificación por acción conjunta.....	75
8.1.1.2.7.	Coeficiente de modificación por incisiones.....	75
8.1.1.2.8.	Coeficiente de modificación por estabilidad lateral de vigas.....	76
8.1.1.3.	Momento resistente.....	78
8.1.1.4.	Momento actuante.	78

8.1.1.5.	Esfuerzo cortante actuante.	79
8.1.1.6.	Esfuerzo cortante admisible modificado.	80
8.1.1.7.	Esfuerzo de aplastamiento.	81
8.1.1.8.	Esfuerzo admisible modificado a compresión perpendicular a la fibra.	82
8.1.1.8.1.	Factor de compresión modificado	82
8.1.1.8.2.	Verificación para elementos sometidos a cargas combinadas de flexión y compresión.	85
8.1.1.9.	Acortamiento de elementos a compresión	86
9.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	87
10.	BIBLIOGRAFÍA.	89

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 - Ejes principales de la madera	2
Ilustración 2 - Nudos en la madera	3
Ilustración 3 - Perforaciones en la madera	4
Ilustración 4 - Medula excéntrica	4
Ilustración 5 - Elemento contra piso	13
Ilustración 6 - Elemento contra piso	13
Ilustración 7 - Elemento contra piso	14
Ilustración 8 - Modelo planteado	19
Ilustración 9 - Diagrama de momentos actuantes [Kgf-m]	20
Ilustración 10 - Diagrama de cortante actuantes [Kgf]	20
Ilustración 11 - Reacciones en apoyos [Kg]	22
Ilustración 12 - Elemento peldaño	24
Ilustración 13 - Elemento peldaño	24
Ilustración 14 - Isometría escalera	25
Ilustración 15 - Modelo planteado	29
Ilustración 16 - Diagrama de momentos actuantes [Kgf-m]	30
Ilustración 17 - Diagrama de cortante actuantes [Kgf]	30
Ilustración 18 - Elemento viga	32
Ilustración 19 - Sección del elemento	33
Ilustración 20 - Elemento con cargas aplicadas.	37
Ilustración 21 - Modelo planteado	38
Ilustración 22 - Diagrama de momentos actuantes [Kgf-m]	38
Ilustración 23 - Diagrama de cortante actuantes [Kgf]	39
Ilustración 24 - Reacciones en apoyos [Kg]	40
Ilustración 25 - Elemento viga	42
Ilustración 26 - Sección del elemento	43
Ilustración 27 - Modelo planteado	49
Ilustración 28 - Diagrama de momentos actuantes [Kgf-m]	49
Ilustración 29 - Diagrama de cortante actuantes [Kgf]	50
Ilustración 30 - Reacciones en apoyos [Kg]	51
Ilustración 31 - Elemento columna	54
Ilustración 32 - Elemento columna	54
Ilustración 33 - Sección elemento columna	55
Ilustración 34 - Elemento columna	61
Ilustración 35 - Elemento columna	61
Ilustración 36 - Sección columna	62
Ilustración 37 - Bloque de separación	71
Ilustración 38 - Cubierta completa	72
Ilustración 39 - Elemento diagonal cubierta	72
Ilustración 40 - Modelo propuesto	78
Ilustración 41 - Diagrama de momentos actuantes [Kgf-m]	79
Ilustración 42 - Diagrama de cortante actuantes [Kgf]	80
Ilustración 43 - Reacciones en apoyos [Kg]	81
Ilustración 44 - Modelo carga axial (Kg)	85

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 - G.3.2-1 (NSR-10)	15
Ecuación 2 - Deflexiones admisibles en vigas (mm), para elementos de entrepiso.	15
Ecuación 3 - G.3.3-7 (NSR-10)	19
Ecuación 4 - G.3.4-1 (NSR-10)	20
Ecuación 5 - G.3.5-1 (NSR-10)	21
Ecuación 6 - G.3.5-2 (NSR-10)	22
Ecuación 7 – Notas de clase resistencia de materiales.....	25
Ecuación 8 - Deflexiones admisibles en vigas (mm), para elementos de entrepiso.	26
Ecuación 9 - G.3.3-7 (NSR-10)	29
Ecuación 10 - G.3.4-1 (NSR-10)	30
Ecuación 11– Notas de clase, resistencia de materiales.....	33
Ecuación 12 – Notas de clase, resistencia de materiales.....	34
Ecuación 13 - Deflexiones admisibles en vigas (mm), para techos planos.	34
Ecuación 14 Esfuerzos admisibles en flexión para maderas del grupo ES2.....	35
Ecuación 15 - G.3.3-7 (NSR-10)	37
Ecuación 16 - G.3.4-1 (NSR-10)	38
Ecuación 17 - G.3.5-1 (NSR-10)	39
Ecuación 18 - G.3.5-2 (NSR-10)	40
Ecuación 19 - G.3.2-1 (NSR-10)	44
Ecuación 20 - Deflexiones admisibles en vigas (mm), para elementos de cubierta.	44
Ecuación 21 - G.3.3-4 (NSR-10)	47
Ecuación 22 - G.3.3-6 (NSR-10)	47
Ecuación 23- G.3.3-5 (NSR-10)	48
Ecuación 24 - G.3.3-7 (NSR-10)	48
Ecuación 25 - G.3.4-1 (NSR-10)	50
Ecuación 26 - G.3.5-1 (NSR-10)	51
Ecuación 27 - G.3.5-2 (NSR-10)	52
Ecuación 28 - G.3.2-1 (NSR-10)	53
Ecuación 29 - G.3.3-3 (NSR-10)	57
Ecuación 30- G.4.3-1 (NSR-10)	57
Ecuación 31- Formula de esbeltez.....	58
Ecuación 32-Esfuerzo crítico, Tabla G.4.3-3 (NSR-10)	58
Ecuación 33 - G.4.3-3 (NSR-10)	59
Ecuación 34 - G.4.3-5 (NSR-10)	59
Ecuación 35 G.4.5-1 (NSR-10)	60
Ecuación 36 - G.3.3-3 (NSR-10)	64
Ecuación 37- G.4.3-1 (NSR-10)	65
Ecuación 38 -G.4.3-8 (NSR-10)	66
Ecuación 39– G.4.3-8 (NSR-10)	67
Ecuación 40 - G.4.3-3 (NSR-10)	68
Ecuación 41 -G.4.3-8 (NSR-10)	68
Ecuación 42 - G.4.3-5 (NSR-10)	69
Ecuación 43 -G.4.5-1 (NSR-10)	69
Ecuación 44 - G.4.3-10 (NSR-10)	70
Ecuación 45 - G.4.3-10 (NSR-10)	70
Ecuación 46– Notas de resistencia de materiales	73

Ecuación 29 - G.3.3-3 (NSR-10)	75
Ecuación 48 - G.3.3-4 (NSR-10)	76
Ecuación 49 - G.3.3-6 (NSR-10)	77
Ecuación 50- G.3.3-5 (NSR-10)	77
Ecuación 51 - G.3.2-1 (NSR-10)	78
Ecuación 52 - G.3.4-1 (NSR-10)	79
Ecuación 53 - G.3.5-1 (NSR-10)	81
Ecuación 54 - G.3.5-2 (NSR-10)	82
Ecuación 55- G.4.3-1 (NSR-10)	82
Ecuación 56- Formula de esbeltez	83
Ecuación 57- Esfuerzo critico	83
Ecuación 58 - G.4.3-3 (NSR-10)	84
Ecuación 59 - (G.3.5-3 NSR-10)	84
Ecuación 58 - G.5.2-2 (NSR-10)	86
Ecuación 59- G.5.2.1 (NSR-10)	86
Ecuación 62 -G.4.5-1 (NSR-10)	87

1. RESUMEN

El siguiente documento recopila una serie de casos de estudios que permiten un acercamiento a los procedimientos de diseño estructural en madera contenidos en el título G NSR-10. Para ello se realizó una investigación para conocer la manera más didáctica para presentar dichos ejercicios, lo anterior se realizó con la ayuda de docentes de la Universidad del Valle los cuales aportaron algo de su experiencia para que este documento se elaborara para cumplir los requerimientos pedagógicos pertinentes.

Para esta clase de documentos se debe tener claro para que público se dirige, en este caso se estructuró para estudiantes de Ingeniería Civil e Ingenieros Civiles, lo dicho se fundamenta sabiendo que la principal base para elaborar el documento es la Norma de Sismo Resistencia (NSR-10), por ello, el lenguaje manejado es técnico volviéndose complejo para las personas que no se desempeñen en el campo de la Ingeniería Civil.

Esta guía metodológica permite comprender de manera práctica los conceptos introducidos en la actualización de la norma de sismo resistencia para el diseño estructural en madera. Cada caso de estudio se presenta como una dificultad que se presentaría en la realidad, con esto se quiere que el escrito sea una referencia válida para solucionar los problemas a los cuales se enfrentan los ingenieros diseñadores.

Al elaborar los casos de estudio se analizaron cuáles son las condiciones más comunes en el diseño estructural y se prueban tomando como material de diseño la madera. Dichos procedimientos cubren una parte de la norma puesto que el documento presenta limitaciones de extensión, por ello se limita a trabajar con las condiciones de flexión, compresión y flexo-compresión, permitiendo crear un camino inicial para que los diseñadores se familiaricen con los conceptos y demás tratamientos que la norma dispone a la hora de realizar un diseño estructural en madera.

La estructura del documento se pensó para que marcar un camino evolutivo en los diseños, comenzando por los elementos sencillos pasando a los complejos, dicho orden va amarrado a la norma quien es la principal referencia que se usa para desarrollar el documento.

Por otra parte se hace un llamado a los Ingenieros Civiles para hacer un uso responsable de la madera, presentando observaciones sobre este tema, esto es de suma importancia sabiendo que este material renovable necesita un uso especial para mantener un equilibrio con la naturaleza.

En el documento se puntualiza de qué numeral de la norma dónde proviene cada uno de los factores que afectan los diferentes parámetros que se tendrán en cuenta a la hora de diseñar e indica el camino más apropiado para encontrar cada uno de los factores.

Algo fundamental del escrito es que contiene esquemas que servirán para mejorar la comprensión del comportamiento estructural de los elementos y para su comentario en el documento ilustrado se cuenta con imágenes de los elementos a diseñar sirviendo como material didáctico para las personas que deseen comprender el diseño estructural en madera.

La nomenclatura que se usa en este documento es la misma de la norma de sismo resistencia colombiana, lo anterior se hace para establecer una relación firme con la NSR-10.

Una aclaración que se debe hacer es que en los diseños a trabajar próximamente los valores para la altura de los elementos se denotaran con ***h*** para efectos prácticos de la explicación.

2. NOMENCLATURA

A = área bruta de la sección transversal en mm², constante en esfuerzo radial.

A_n = área neta de la sección transversal de un elemento en mm².

A_{ne} = área neta en el extremo del poste, en mm².

A_{CRIT} = área en la sección transversal crítica, en mm².

B = constante en esfuerzo radial.

C = constante en esfuerzo radial.

C_b = Coeficiente de modificación por longitud de soporte.

C_c = coeficiente de cortante, para afectación del módulo de elasticidad.

C_{cl} = coeficiente por carga y longitud en vigas laminadas.

C_{ct} = coeficiente por concentración de tensiones.

C_{c1} = coeficiente de curvatura en vigas de madera laminada.

C_D = coeficiente de modificación por duración de la carga.

C_d = coeficiente de modificación por altura.

C_{DG} = coeficiente por desviación al grano.

C_F = coeficiente de modificación por forma.

C_f = coeficiente de flexibilidad en columnas espaciadas.

C_{fu} = coeficiente de modificación por uso en cara ancha.

C_g = coeficiente por grupo en uniones empernadas.

C_{kd} = coeficiente de modificación por desbastamiento o alisadura.

C_{iq} = coeficiente de por tratamiento químico.

C_{in} = coeficiente de modificación por incisión.

C_L = coeficiente de estabilidad lateral en vigas.

C_l = coeficiente de modificación por longitud.

C_{lc} = coeficiente de modificación por longitud para compresión paralela.

C_{lt} = coeficiente de modificación por longitud para tensión paralela.

C_n = coeficiente por número de piezas en columnas armadas.

C_m = coeficiente de modificación por contenido de humedad.

C_p = coeficiente de estabilidad en columnas.

C_{p1} = coeficiente por penetración en uniones clavadas.

C_{pL} = coeficiente por uso de platinas en uniones empernadas.

C_{pV} = coeficiente de preservación.

C_r = coeficiente de modificación por acción conjunta.

C_r = coeficiente de modificación por rigidez al pandeo.

C_t = coeficiente de modificación por temperatura.

C_v = coeficiente de modificación por volumen.

CH(%) = contenido de humedad en porcentaje (%).

CHS(%) = contenido de humedad de madera seca (12%).

COV_i = coeficiente de variación para esfuerzos.

COV_E = coeficiente de variación para módulo de elasticidad.

D = diámetro de la sección transversal circular, en mm, grupo de madera, carga permanente.

D_n = diámetro neto de la sección transversal circular en mm.

DB = densidad básica.

ES = grupo de madera.

E1 = grupo de madera.

E2 = grupo de madera.

E3 = grupo de madera.

E4 = grupo de madera.

E5 = grupo de madera.

E_{0.5} = módulo de elasticidad promedio longitudinal en MPa.

E'_{0.5} = módulo de elasticidad promedio longitudinal modificado en MPa.

E_{0.05} = módulo de elasticidad al 5° percentil, en MPa.

E'_{0.05} = módulo de elasticidad modificada al 5° percentil, en MPa.

E_{min} = módulo de elasticidad mínimo, longitudinal en MPa.

E'_{min} = módulo de elasticidad mínimo longitudinal modificado en MPa.

E_{ymin} = módulo de elasticidad mínimo, con respecto al eje "y" en maderas laminadas en MPa.

E'_{ymin} = módulo de elasticidad mínimo modificado, con respecto al eje "y" en maderas laminadas en MPa.

E_p = módulo de elasticidad perpendicular al grano en MPa.

E'_p = módulo de elasticidad perpendicular al grano modificado en MPa.

ELP = esfuerzo en el límite de proporcionalidad, en MPa.

ER = esfuerzo de rotura, en MPa.

F = grupo de madera.

F_b = esfuerzo admisible a flexión, en MPa.

F_b = esfuerzo admisible modificado a flexión, en MPa.

F_{bE} = esfuerzo crítico de pandeo, en vigas a flexión, en MPa.

F_b* = esfuerzo admisible de flexión. Multiplicado por todos los factores de modificación excepto **C_L** en MPa.

F_b** = esfuerzo admisible de flexión (**F_b**) multiplicado por todos los valores de ajuste excepto **C_V** que es un factor de ajuste para madera laminada, en MPa.

F_b = F_b*** para madera aserrada seleccionada visualmente en MPa.

F_{b1}** = esfuerzo admisible de flexión (**F_{b1}****) con respecto al eje 1, multiplicado por todos los factores de ajuste, excepto **C_V** que es un factor de ajuste para madera laminada en MPa.

F_{b1} = F_{b1}*** para madera aserrada seleccionada visualmente en MPa.

F_{b1}^* = esfuerzo admisible de flexión (F_{b1}) con respecto al eje 1, multiplicado por todos los factores de modificación excepto C_L en MPa.
 F_{b2}^* = esfuerzo admisible de flexión (F_{b2}) , con respecto al eje 2, multiplicado por todos los factores de ajuste, excepto C_V que es un factor de ajuste para madera laminada en MPa.
 $F_{b2}^* = F_{b2}$, para madera aserrada seleccionada visualmente en MPa.
 F_{b2} = esfuerzo admisible de flexión (F_{b2}) con respecto al eje 2, multiplicado por todos los factores de modificación excepto C_L en MPa.
 FC = factor de calidad para reducción de esfuerzos básicos.
 F_c = esfuerzo admisible a compresión paralela en MPa.
 F_c = 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 solicitación i .
 F_i = esfuerzo admisible modificado para la solicitación 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.
 FR_i = factor de reducción de esfuerzos.
 F_p = esfuerzo admisible a compresión perpendicular, modificado, en MPa
 FS = 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_{ver} = 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^4 .

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 cálculo 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.
 Pa = 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^3 .
 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 o 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 MPa.
 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.
 l = longitud de un elemento, en mm.
 l_e = longitud efectiva de la viga o longitud efectiva, de una columna, en mm.
 l_{ex} = longitud efectiva de pandeo de la sección total, alrededor del eje x-x, en mm.
 l_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.
 Δ_i = deflexión inmediata en mm.
 Δ_f = deflexión diferida en mm.
 $W\Delta_f$ = cargas para cálculo de deflexiones diferidas 30 años.
 Δ_d = deformación en dirección perpendicular a la fibra, en mm.

Δ_c = acortamiento en dirección paralela a la fibra, en mm.

λ = parámetro de esbeltez de columnas.

3. GENERALIDADES

3.1. Características generales de la madera

3.1.1. Composición

El tronco

La sección transversal de un tronco de madera presenta las siguientes partes:

Corteza exterior: Es la cubierta que protege al árbol de los agentes exteriores, en especial de la insolación.

Corteza interior: Capa que tiene por finalidad conducir el alimento elaborado en las hojas hacia las ramas, tronco y raíces.

Cambium: Tejido que se encuentra entre la corteza y el leño, su crecimiento celular se da hacia el interior del tronco.

La madera o xilema: Es la parte maderable o leñosa del tronco, se puede distinguir en ella la albura, el duramen y la medula.

La albura: es la parte exterior del xilema cuya función principal es la de conducir el agua y las sales minerales a las raíces y las hojas; su color es claro y de espesor variable según la especie. La albura es la parte activa del xilema.

El duramen: Parte inactiva que tiene como función proporcionarle resistencia y soporte al árbol, su conformación se da por aceites, resinas, gomas, taninos, sustancias aromáticas y colorantes; creando una barrera para insectos y hongos que quieran afectar la madera.

Medula: En la parte central de la sección del tronco y está constituida por tejido parenquímico.

3.2. Características físicas de la madera

3.2.1. Contenido de humedad

El contenido de humedad en la madera se da de tres formas: agua libre, agua higroscópica y agua de constitución.

El agua libre se encuentra llenando las cavidades celulares.

El agua higroscópica se halla contenida en las paredes celulares.

El agua de constitución se encuentra formando parte de la estructura molecular.

Cuando la madera se expone al ambiente comienza el proceso de secado, la pérdida de agua comienza por el agua libre y después el agua higroscópica, el agua de constitución sólo se perderá con la combustión de la madera. Al darse esta pérdida de agua la madera presentará alguno de estos tres estados: verde, seco y anhidro.

El estado de madera verde se da cuando se ha perdido parte el agua libre, será madera seca cuando se pierde el total del agua libre y parte del agua higroscópica, finalmente, será madera anhidra cuando ha perdido toda el agua libre y toda el agua higroscópica.

3.2.2. Cambios dimensionales

Las variaciones en el contenido de humedad (CH) producen cambios dimensionales en la madera, estos cambios se deben principalmente a la pérdida o ganancia del agua higroscópica en la pared celular.

Por otra parte, el agua libre de las cavidades celulares no tiene ninguna influencia en la variación.

3.3. Propiedades resistentes de la madera

La madera posee tres direcciones principales las cuales se pueden relacionar, estas direcciones son la longitudinal, la tangencial y la radial. En la siguiente figura, puede observarse que la dirección radial y la tangencial son perpendiculares al grano. En la práctica se consideran dos direcciones: la dirección longitudinal o paralela a la fibra y la dirección transversal o perpendicular al grano.

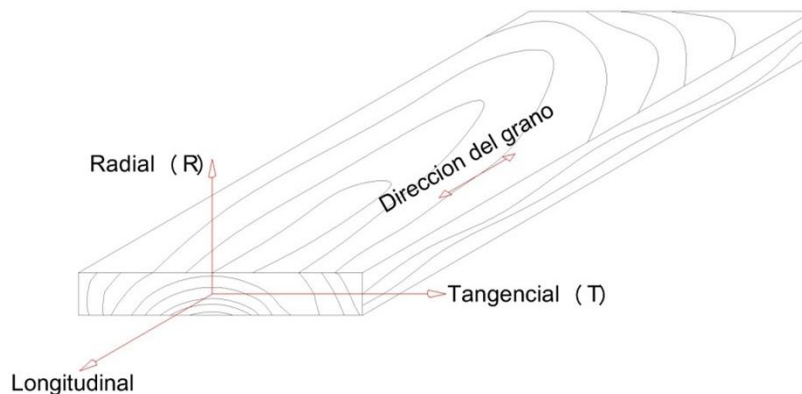


Ilustración 1 - Ejes principales de la madera

3.3.1. Resistencia a la compresión paralela

La madera presenta gran resistencia a los esfuerzos de compresión paralela a la fibra. Esta resistencia proviene del hecho que las fibras están orientadas con su eje longitudinal y que a su vez coincide o está muy cerca de la orientación de las microfibrillas que constituyen la capa media de la pared celular; la capacidad está limitada por el pandeo de las fibras más que por su resistencia al aplastamiento.

3.3.2. Resistencia a la compresión perpendicular

Bajo este tipo de carga las fibras están sometidas a un esfuerzo perpendicular a su eje que tiende a comprimir las pequeñas cavidades contenidas de ellas. Esto permite que se pueda cargar la madera sin que ocurra una falla claramente distinguible. Al incrementarse la magnitud de la carga la pieza se va comprimiendo (aplastando los pequeños cilindros que se asemejan las fibras), aumentando su densidad y también su misma capacidad para resistir mayor carga.

3.3.3. Resistencia a la tracción

La resistencia a la tracción paralela se ve afectada principalmente por la inclinación del grano, pues la adherencia de ellos es directamente proporcional a su resistencia, esta resistencia representa aproximadamente 2 veces la resistencia a la compresión paralela al grano.

3.3.4. Resistencia al corte

En elementos constructivos el esfuerzo por corte o cizallamiento se presenta cuando las piezas están sometidas a flexión (corte por flexión). Los análisis teóricos de esfuerzos indican que en un punto dado los esfuerzos de corte son iguales tanto a lo largo como perpendicularmente al eje del elemento. Como la madera no es homogénea, sino que sus fibras se orientan por lo general con el eje longitudinal de la pieza presenta resistencia al corte en estas direcciones. La menor es aquella paralela a las fibras y proviene de la capacidad del “cementante” de las fibras (lignina) a este esfuerzo. Perpendicularmente a las fibras la resistencia es de tres a cuatro veces mayor que en la dirección paralela.

3.3.5. Resistencia a la flexión paralela al grano

La diferencia entre la resistencia a la tracción y a la compresión paralela resulta de un comportamiento característico de las vigas de madera a flexión. Como la resistencia a la compresión es menor que a la tracción, la madera falla primero en la zona de compresión. Con ello se incrementan las deformaciones en la zona comprimida, el eje neutro se desplaza hacia la zona de tracción, lo que a su vez hace aumentar rápidamente las deformaciones totales y finalmente la pieza se rompe por tracción.

3.4. Factores que afectan el comportamiento de la madera

3.4.1. Defectos de crecimiento

Existen algunas características en la madera que han sido adquiridas o desarrolladas por el árbol durante su crecimiento, lo anterior afecta el comportamiento de los elementos estructurales, los principales defectos son:

3.4.1.1. Los nudos

Son discontinuidades en la parte leñosa del tronco producidas por el nacimiento y posterior desarrollo de las ramas. La influencia de nudos en el comportamiento de elementos estructurales depende de la ubicación que estos tengan con respecto a la distribución de esfuerzos, en zonas a tracción su influencia es muy importante, no así en zonas en compresión, los nudos producen inclinaciones en la dirección del grano que son zonas débiles de la madera.



Ilustración 2 - Nudos en la madera

3.4.1.2. *Inclinación del grano*

La inclinación del grano con respecto a la dirección longitudinal del tronco tiene marcada influencia en el comportamiento de los elementos estructurales. La inclinación de los granos puede tener dos causas principales: una inclinación constante y que sigue la forma de espiral según la dirección longitudinal del tronco, o trozas que por su mal aserrado presentan grano inclinado.

3.4.1.3. *Fallas por compresión*

Las fallas por compresión son zonas de la madera en que las fibras están interrumpidas. Esto significa que al momento de cargar piezas no será posible transmitir esfuerzos a través de dichas secciones.

3.4.1.4. *Perforaciones*

Las perforaciones son discontinuidades que aparecen en las piezas de la madera que han sido atacadas antes de su aserrado.

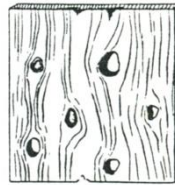


Ilustración 3 - Perforaciones en la madera

3.4.1.5. *Medula excéntrica*

La medula excéntrica es consecuencia del crecimiento de los árboles en condiciones adversas, tales como la excesiva pendiente del terreno, la presencia de vientos dominantes en un solo sentido, luz intensa en un solo lado. La medula excéntrica permite que se formen anillos angostos de un lado y anillos anchos en el lado opuesto del tronco, esto produce tensiones internas y una configuración oval de la sección transversa. Las tensiones “almacenadas” se hacen presentes durante el secado, agrietando y deformando las trozas.

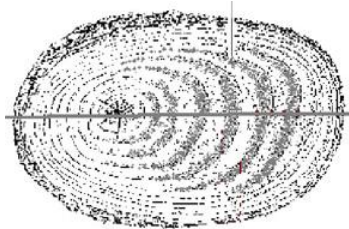


Ilustración 4 - Medula excéntrica

3.5. *Influencia del contenido de humedad*

El contenido de humedad influye a la madera haciéndola perder resistencia cuando la misma posee un contenido de humedad elevado, por lo anterior se llega a la conclusión de que los

elementos secos presentan una mayor resistencia que los húmedos, también se debe tener en cuenta que en los elementos con poca humedad se presenta una falla más frágil que en los elementos con un contenido de humedad alto.

3.6. Influencia de la densidad

La densidad es una medida de la cantidad de material sólido que posee la madera y tiene una marcada influencia en la resistencia mecánica de ésta. En probetas pequeñas libres de defectos puede esperarse que la resistencia sea directamente proporcional a la densidad, es decir, a mayor densidad mayor resistencia.

3.7. Influencia de la temperatura

En general, las propiedades mecánicas de la madera disminuyen con el aumento de temperatura y aumentan con la disminución de esta. Estos efectos son inmediatos porque en la madera expuesta un tiempo prolongado a altas temperaturas se producen cambios irreversibles en sus propiedades.

3.8. Duración de la carga

Cuando un elemento de madera se carga por primera vez se deforma elásticamente. Si la carga se mantiene, se presenta una deformación adicional dependiente del tiempo.

3.9. Degradación

La madera por ser un material orgánico y natural, constituido principalmente por celulosa y lignina, si es sometida a ciertas condiciones de humedad, temperatura y oxígeno, puede ser degradada. La degradación en la madera se debe al ataque de organismos biológicos destructores como son los hongos y los insectos xilófagos que a dichas condiciones ambientales pueden invadir ciertos sectores de la madera y si no son detectados a tiempo, destruyen las células que los componen, afectando sus propiedades físicas y químicas y reduciendo severamente su resistencia estructural.

3.10. Ataque de insectos

Por lo general se consideran dos tipos de insectos que atacan la madera: unos los que atacan la madera antes de su puesta en servicio y los otros, que son más importantes, visto desde el punto de vista del usuario, que atacan después de su puesta en servicio. Dentro de estos figuran: las termitas subterráneas, los de madera seca y los de nido aéreo.

3.11. Ataques químicos

El efecto de las sustancias químicas en la madera es altamente dependiente del tipo de compuesto. Líquidos que no producen hinchamiento de la madera como aceites de petróleo o creosota, no tienen efectos apreciables, mientras que líquidos que hinchan la madera tales como el agua y el alcohol pueden tener algún efecto aunque no produzcan degradación química.

4. INTRODUCCIÓN

La madera en Colombia se presenta como una opción para potenciar la economía regional. Teniendo como referentes países como Brasil y Chile se logra comprender el gran beneficio que trae el uso óptimo de este material renovable. En los países nombrados se evidencia un aumento en los últimos años en sus exportaciones de madera a Norteamérica y Europa, representando unos ingresos considerables para sus economías, por ello se hace necesario encontrar mecanismos que permitan masificar el uso y producción de madera en nuestra nación.^A

En Chile, la industria maderera es el segundo sector exportador y el primero basado en un recurso natural renovable. En el año 2010, los embarques llegaron a los US\$ 4.900 millones, con el 85% de ellos conformados por productos de alto valor agregado.^B

Por otra, parte Brasil genera aproximadamente 1,5 millones de empleos directos, un 40% ubicado en actividades de silvicultura y un 60% en actividades industriales. Considerando los empleos indirectos y directos llega a 4,5 millones o sea el 5,6% de la Población Económicamente Activa del país.^C

La situación que se presenta en Colombia es la siguiente: alrededor del 20% de la Población Económicamente Activa de Colombia está representada por el sector agrícola en general, el cual absorbe en total más de 3,7 millones de personas. Con base en esos porcentajes, los empleos directos del sector forestal en Colombia suman un promedio de 74.000 personas.^D

Con la implementación de este proyecto de investigación, se logra generar en los Ingenieros Estructurales una alternativa para el uso de la madera como material de construcción. Para ello el producto final de la investigación será una guía metodológica con casos de estudio sobre el diseño estructural en madera, teniendo como base la norma NSR-10 en el título G, esta guía presentara métodos de diseño de flexión, compresión y flexo compresión. Esto permitirá facilitar el trabajo en aquellos profesionales del medio que deseen implementar este material en sus obras.

La industrial y otros gremios que impulsan la economía de Colombia ven con buenos ojos el uso de la madera como material de construcción, existen una gran cantidad de países industrializados como Estados Unidos, Canadá, Rusia, Brasil, China, Suecia, Finlandia, Alemania, Francia e Indonesia, que toman este material como base para un porcentaje considerable de sus construcciones.^E

Para masificar la producción y el uso de la madera se cuenta con el apoyo del gobierno nacional Colombiano, siendo el principal promotor de la producción y comercialización de la madera de manera legal; esto se evidencia al conformar un pacto intersectorial entre los interesados en el tema, creando así, un compromiso para mejorar las condiciones de uso

^A Documento REFOCOSTA, comercialización de la madera en Colombia y sus oportunidades-2007.

^B Corporación Chilena de la madera.

^C Depósito de documentos de la FAO.

^D Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal.

^E Ministerio de agricultura-2005

del recurso en todo el territorio nacional, con comisiones de trabajo, las cuales servirán como canal interlocutor entre el gobierno y los estamentos que firman el documento.^F

Por los puntos descritos anteriormente, el proyecto tiene muchos elementos que lo vuelven atractivo para los diseñadores estructurales interesados en el tema.

^F Pacto intersectorial por la madera legal en Colombia-2011

5. PROBLEMA

5.1. Descripción

El uso de materiales renovables en el sector de construcción Colombiano ha tenido una evolución pausada; por ello se hace necesario impulsar alternativas en la construcción incluyendo materiales renovables que sirvan para ser una solución favorable. Esta solución debe aportar un valor agregado en las edificaciones, permitiendo optimizar los diseños estructurales con materiales alternativos en el país.

En el territorio nacional existen 17 millones de hectáreas aptas para reforestación distribuidas en varios pisos altitudinales. Actualmente sólo se está usando el 1,5% del potencial forestal con plantaciones forestales en 350.000 hectáreas. De las 17 millones de hectáreas con posibilidad forestal, 5,1 millones son tierras sin restricciones, es decir que no requieren ningún tipo de adecuaciones de suelos para el cultivo y desarrollo de proyectos forestales y 12,1 millones con restricciones menores.⁶

Estos datos muestran el gran potencial que no se está usando por no familiarizar a los Ingenieros Civiles con este material tan bondadoso. Como primer paso para iniciar este cambio, se debe crear la necesidad del uso de este material, lo cual se logra mostrando a los diseñadores estructurales una forma fácil y efectiva para usar este recurso en sus diseños, permitiendo crear una demanda de materias primas de alta calidad y comenzando el ciclo en la cadena de la producción forestal.

También se debe recordar que la madera es uno de los materiales usados mientras se construye alguna edificación, sirviendo como soporte temporal mientras los otros materiales, como el hormigón, alcanzan una resistencia aceptable (encofrados). El otro uso que se le puede dar a la madera, es como un acabado final para embellecer los ambientes y otra importante función que puede cumplir, es como elemento estructural final lo cual será el punto que se desarrollara en este documento.

Una de las falencias identificadas por parte de los diseñadores estructurales es la limitación en la cantidad de documentos, investigaciones y diseños locales relacionados con las estructuras en madera, haciéndose más evidente cuando se observa las grandes dificultades a las cuales se expone un diseñador para abordar un proyecto cuando se tiene como material principal la madera. Lo anterior sucede principalmente por el desconocimiento del comportamiento del material, haciendo necesario mejorar las capacidades de los ingenieros en este ámbito.

Con todo lo descrito anteriormente se quiere guiar a la industria constructora a desarrollar proyectos que tengan como base el uso de la madera teniendo en cuenta la norma de sismo resistencia NSR-10 para cumplir integralmente con los requerimientos necesarios para realizar un diseño estructural.

⁶ PROEXPORT-Sector Forestal en Colombia Forestal-2010

5.2. JUSTIFICACIÓN

El éxito del desarrollo de un país radica en conocer condiciones favorables que ofrece la naturaleza, tales como el clima, la ubicación geográfica y la cartografía. Después de haber encontrado todas las bondades de la región, se debe buscar la forma de usar dichos recursos de la manera más apropiada, permitiendo que la naturaleza se recupere para generar un ciclo sostenible.

En Colombia se tienen muchas especies maderables y las condiciones medio ambientales para realizar una recuperación sostenible. Por ello la madera es uno de los materiales de los cuales los Ingenieros Civiles deben aprovechar sus beneficios. El primer paso para generar el cambio es que los diseñadores vean este recurso renovable con ojos de interés y esto hace necesario hacer amigable el trabajo con este material, con este proyecto se desea dar un primer paso para lograr el objetivo de la masificación del uso de la madera.

No se puede olvidar que existen algunas cartillas de diseño en madera, entre las cuales encontramos: La Cartilla de Construcción en Madera - Junta de Cartagena – 1974, Manual de Diseño de Construcciones en Madera NSR-98 – 2001. Sin embargo estos procedimientos se encuentran obsoletos, en la última actualización de la norma se implementaron nuevos conceptos y criterios los cuales no son considerados, por esto, se hace indispensable elaborar un documento de este tipo que consideren estos cambios para poder diseñar dentro del marco legal de nuestro país.

5.3. OBJETIVOS

Objetivo general

- Desarrollar una guía metodológica que permita comprender de manera sencilla los procedimientos de diseño estructural en madera que se encuentran consignados en la norma NSR-10 título G.

Objetivos específicos

- Revisar la bibliografía sobre las investigaciones realizadas sobre este tema.
- Elaborar ejemplos con esquemas.
- Corregir y ajustar el documento con base en observaciones de profesionales “posibles usuarios de la guía metodológica”.
- Diagramar la guía metodológica con imágenes de apoyo.

5.4. MARCO DE REFERENCIA

5.4.1. Antecedentes

- CARTILLA DE CONSTRUCCIÓN EN MADERA, junta del acuerdo de Cartagena, Proyectos Andinos de Desarrollo Tecnológico en el Área de los Recursos Forestales (PADT-REFORT, JUNAC).

Este documento que data del año 1974 partiendo de la necesidad de introducir la madera en el sector de la construcción, ya que es el producto renovable de mayor abundancia en los países que conforman el grupo andino (Colombia, Ecuador, Bolivia, Perú y Venezuela).

El escrito también contiene información con bases técnicas apropiadas para el manejo de la madera, todo ello con el fin de extender el desarrollo económico y social de los países asociados.

- MANUAL DE DISEÑO CONSTRUCCIONES EN MADERA. Ingenieros Arroyave Jiménez, Henao Velazco (2001).

El documento expone en primera medida la situación maderera en Colombia, argumentando la disponibilidad de recursos en el país debido a su gran diversidad de especies madereras. El manual contempla la norma NSR-98 el título G (edificaciones en madera) como guía para cumplir con las especificaciones necesarias con el fin de obtener un resultado óptimo, además muestra cuantiosos ejemplos y explicaciones para comprender los procedimientos de diseño de una manera fácil.

- NORMA COLOMBIANA SISMO RESISTENTE NSR-10

Por último, el cambio a la norma de sismo resistencia en el 2010, incluye nuevas características que son de suma importancia para diseñar y construir cualquier construcción en madera, en este punto se debe resaltar que la investigación partirá desde este punto y se considerarán los cambios realizados en esta última actualización.

5.4.2. Estado del arte

Las guías metodológicas de diseño son herramientas importantes para las personas que se interesen el campo del diseño estructural. Esta herramienta es fundamental a la hora de diseñar y ejecutar un proyecto de construcción, en él se encuentran datos y casos de estudio que ayudan a facilitar el trabajo, de esta manera se minimizan errores que traducen en sobre costos para cualquier proyecto. Existen varios tipos de guías metodológicas para cada línea de la Ingeniería Civil y principalmente son usados por estudiantes para afianzar sus conocimientos, algunos escritos son ilustrativos y sencillos, otros complejos y extensos, pero ambos enseñan de una u otra forma un tema específico todo con el fin de mejorar las capacidades de quien lo consulta.

No obstante, este tipo de textos están diseñados bajo normas que los soportan, pero dado el caso que el proyecto sea de alta complejidad se deben tener en cuenta los alcances de dichas guías, estos documentos facilitan y simplifican el trabajo, pero pueden llegar a pasar por alto algunas variables importantes, con esto se quiere enfatizar en que es significativo verificar que dichos escritos estén avalados por las normas respectivas o entidades con criterio en el tema. Con el tiempo se espera que los textos se vayan mejorando y actualizando por ello es de vital importancia que sean usados por los profesionales para que de esta manera puedan examinar el contenido y realizar los respectivos ajustes del documento.

5.5. Fases y productos

Fase 1

Revisión bibliográfica.

Esta etapa del trabajo se realizará buscando artículos que tengan relación con el tema para lograr construir base fundamentada y comenzar la investigación. Para esto se hace necesario, realizar visitas a la biblioteca, realizar búsquedas en bases de datos, hacer exploraciones en internet y si es posible contactarse con personas que hayan realizado dichas investigaciones para que nos brinden apoyo sobre el mejor camino para llegar a los objetivos, pero el pilar fundamental en esta revisión será la norma NSR-10 título G y será desde allí de donde se obtendrá la mayor cantidad de información.

Fase 2

Elaboración de ejemplos y esquemas.

Para lo anterior se pedirá la asesoría del docente director para que la investigación sea más productiva. También se tomarán como base, las guías metodológicas que se han realizado anteriormente sobre temas relacionados con la construcción para realizar un producto que cumpla con las características propias de dichos documentos.

Fase 3

Corrección y ajuste del documento.

Para esta fase se entregará un bosquejo del documento y se pondrá a consideración para que estos algunos profesionales enriquezcan el documento final, el paso a seguir será analizar dichas observaciones con el director y se tendrán en cuenta las que se consideren pertinentes para la última versión del documento.

Fase 4

Diagramación de la guía metodológica

Esta es la compilación de todos los productos de las fases anteriores, entregando un documento con una versión mejorada con ilustraciones que permitan a los usuarios ver el resultado final del caso de estudio que se trabaja.

6. DISEÑO DE ELEMENTOS SOLICITADOS POR FLEXIÓN

6.1. Casos de estudio

6.1.1. Caso de estudio 1- Flexión.

Se desea conocer las dimensiones para un elemento que hace parte del contra piso para una unidad de vivienda familiar con los siguientes parámetros.

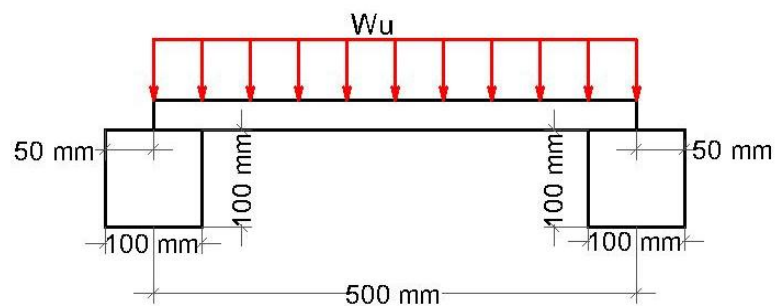


Ilustración 5 - Elemento contra piso

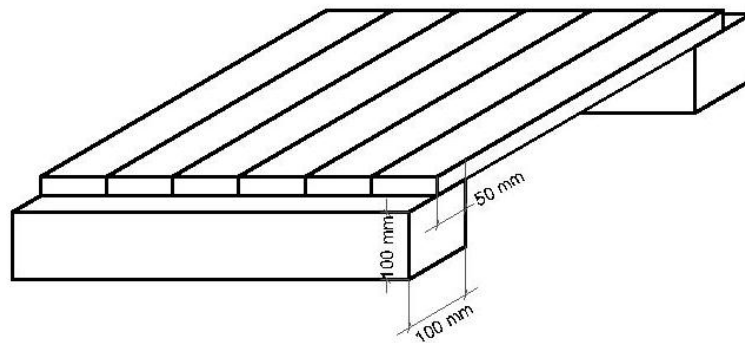


Ilustración 6 - Elemento contra piso

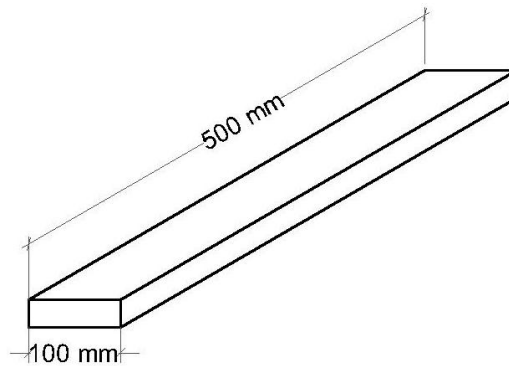


Ilustración 7 - Elemento contra piso

Datos:

$L = 500 \text{ mm}$

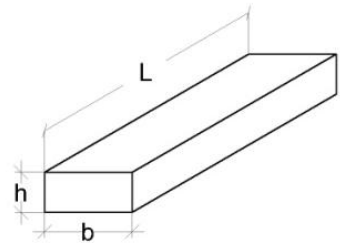
$b = 100 \text{ mm}$

Tipo madera ES3 – Madera aserrada

$CH_c = 19\%$ en Construcción – $CH_s = 12\%$ en Servicio.

Temperatura = 28°C

Apoyos de 25 mm



6.1.1.1. Recomendaciones iniciales para diseño a flexión.

Para comenzar el diseño de este elemento en madera se deben cumplir que se describen en la NSR-10 las cuales son:

- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Los esfuerzos producidos por las cargas aplicadas serán calculados considerando los elementos como homogéneos y de comportamiento lineal.

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

6.1.1.2. Definición de sección.

Después de verificar los puntos mencionados anteriormente se recomienda por la norma continuar con la definición de la sección del elemento b y h.

Avalúo inicial de cargas se define teniendo en cuenta la tabla^H-G.3.2-3.

$$w' = (1,5D + L^I) * b_{af}$$
$$w' = (1,5 \times 5 \text{ k/m}^2 + 180 \text{ k/m}^2) * 0.1 \text{ m} = 18.75 \text{ k/m} = 0.1839 \text{ N/mm}$$

Para encontrar la altura del elemento se debe conocer la fórmula de deflexión para el caso de estudio con sus condiciones iniciales, para este problema la formula será la siguiente:

$$\Delta_{max} = \frac{5}{384} \frac{\omega l^4}{EI}$$

Ecuación 1 - G.3.2-1 (NSR-10)

El paso que continua será tomar de la tabla^J G.3.2-1 la formula correspondiente para deflexiones admisibles que cumpla con la necesidad del caso de estudio.

$$\Delta_{adm} = \frac{l}{300}$$

Ecuación 2 - Deflexiones admisibles en vigas (mm), para elementos de entrepiso.

También se debe definir el módulo de elasticidad el cual depende del tipo de madera que se disponga, en este caso de estudio la madera con la que se cuenta es del grupo ES3, la información del módulo de elasticidad para este grupo de madera se encuentra en la tabla^K G.2.2-2.

$$ES3 = 14000 \text{ MPa}$$

^H Página G-27 (NSR-10)

^I Se en la norma recomienda el uso de 240 k/m² para la carga viva de construcción si esta interviene.

^J Página G-26 (NSR-10)

^K Página G-18 (NSR-10)

Módulo de elasticidad longitudinal para maderas del grupo ES1.

Se igualan las fórmulas para deflexiones:

$$\frac{l}{300} = \frac{5}{384} \frac{\omega l^4}{EI}$$

$$h = \sqrt[3]{\frac{300}{500} * \frac{5}{384} * \frac{0.183 * 500^4 * 12}{14000 * 100}}$$

$$h = 9.14 \text{ mm}$$

Al encontrar esta dimensión se tendrá que el pre dimensionamiento será así:

$$h^L = 30 \text{ mm}$$

$$b = 100 \text{ mm}$$

6.1.1.3. Esfuerzo admisible modificado.

El paso siguiente para continuar con el diseño estructural será la definición de los factores de corrección los cuales son los siguientes:

$$F_b' = F_b * C_D * C_m * C_t * C_L * C_F * C_{fu} * C_{in} * C_r$$

En donde

F_b = esfuerzo admisible para flexión.

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.

6.1.1.3.1. Esfuerzo admisible.

Como paso inicial se debe definir el esfuerzo admisible para la flexión (F_b), el cual dependerá principalmente del tipo de madera con el cual se desea realizar el elemento y se extrae de la tabla^M G.2.2-1.

$$F_b = 23 \text{ MPa}$$

6.1.1.3.2. Coeficiente de modificación por duración de la carga.

El paso a seguir será definir el coeficiente de modificación por duración de la carga (C_D) para ello se usa la tabla^N G.2.2-3.

^L La altura se aproxima aumentándola a la medida comercial más cercana, pagina G-92 (NSR-10).

^M Página G-18 (NSR-10)

^N Página G-19 (NSR-10)

$$C_D = 1.00$$

Coficiente de duración de carga.

Para este caso se toma el factor para flexión $C_D = 1.00$, este valor se asume cuando el elemento este sometido a una carga de duración normal, que la norma considera como un tiempo de exposición de 10 años.

6.1.1.3.3. Coeficiente de modificación por contenido de humedad.

Se continúa definiendo el coeficiente por contenido de humedad (C_m), para hacer esto se debe saber la condición de humedad durante la construcción y en servicio, lo anterior se define en la tabla^O G.2.2-4.

Para este caso de estudio:

$$CH_c > 19\% \quad CH_s \leq 12\%$$

Los esfuerzos admisibles se tomaran con así:

$$CH = 12\%$$

Los esfuerzos módulos de elasticidad se tomaran con así:

$$CH = 12\%$$

Se toma la tabla^P G.2.2-5 indica cual es el factor que afectará al esfuerzo admisible.

Para este caso será usado $C_m = 1.00$

6.1.1.3.4. Coeficiente de modificación por temperatura.

El siguiente factor que se debe precisar es el coeficiente de modificación por temperatura (C_t), para ello se hará uso de la tabla^Q G.2.2-6.

Para este elemento en madera el factor $C_t = 1.00$.

6.1.1.3.5. Coeficiente de modificación por estabilidad lateral de vigas.

Después se encontrara el coeficiente de modificación por estabilidad lateral de vigas (C_L).

Para lo anterior se debe verificar lo siguiente^R:

$$h/b > 1 \text{ Para un este caso se tiene } \frac{30}{100} = 0.3 < 1 \text{ por lo cual } C_L = 1.00$$

^O Página G-19 (NSR-10)

^P Página G-19 (NSR-10)

^Q Página G-20 (NSR-10)

^R Estabilidad lateral y coeficientes de modificación G.3.3.3 NSR-10

6.1.1.3.6. Coeficiente de forma.

Continuando con los coeficientes, se encontrara el coeficiente de forma (C_F) para ello se usa inicialmente la tabla^S G 3.3-1 en la cual se encontrara C_d .

Para este caso de estudio $C_d=1.15$.

Se pasa a hallar de la tabla^T G 3.3-2 el coeficiente C_l .

Para este caso de estudio $C_l=1.00$

Se usan las formulas correspondientes y se sabe cuál es C_F :

$$C_F = C_d * C_l = 1.15 * 1.00 = 1.15$$

6.1.1.3.7. Coeficiente de modificación por cara ancha.

El paso siguiente será hallar el coeficiente de modificación por cara ancha (C_{fu}) para ello se hace uso de la tabla^U G.3.3-3:

Teniendo en cuenta la tabla anterior se debe usar un $C_{fu}=1.00$.

6.1.1.3.8. Coeficiente de modificación por incisiones.

Si se realiza alguna incisión en el elemento se debe verificar lo descrito en la norma^V y así saber qué valor asigna, para este caso no se realiza ninguna incisión entonces el valor para $C_{in}= 1.00$.

6.1.1.3.9. Coeficiente de modificación por acción conjunta.

Analizando lo descrito en el numeral^W este elemento cumple con lo descrito en la anotación, por lo anterior $C_r=1.15$

Por lo cual el esfuerzo admisible para la flexión será:

$$F'_b = F_b * C_D * C_m * C_t * C_L * C_F * C_{fu} * C_{in} * C_r$$

$$F'_b = 23 * 1.00 * 1.00 * 1.00 * 1.00 * 1.15 * 1.00 * 1.00 * 1.15 = 30.417 MPa$$

^S Página G-28 (NSR-10)

^T Página G-28 (NSR-10)

^U Página G-29 (NSR-10)

^VSe debe verificar lo descrito en la página G-20 numeral G.2.2.3.4 página G-20 (NSR-10)

^WSe debe verificar lo descrito en la página G-20 numeral G.2.2.3.5 página G-20 (NSR-10)

6.1.1.4. **Momento resistente.**

Con los coeficientes encontrados anteriormente se procede a realizar el cálculo del momento resistente en una sección rectangular, el cual debe cumplir la siguiente condición:

$$M \leq F'_b * \frac{b * h^2}{6}$$

Ecuación 3 - G.3.3-7 (NSR-10)

En donde:

M = Momento actuante en N-mm.

F'_b = Esfuerzo admisible modificado a flexión.

b, h = Medidas de la sección rectangular en mm

Y el momento resistente de la sección será:

$$F'_b * \frac{b * h^2}{6} = 30.417 * \frac{100 * 30^2}{6} = 456255 \text{ N} - \text{mm}$$

6.1.1.5. **Momento actuante.**

El paso a seguir será la definición del momento actuante, para ello se debe realizar un avaluó de cargas nuevo y encontrar el momento actuante con las condiciones a las que el elemento se encuentra sometido.

Avaluó de cargas

Carga muerta (D): Peso propio=5 kgf/m^2

Carga viva (L): Residencial=180 kgf/m^2

Carga de diseño (w)

$$w = (5 \text{ kgf}/\text{m}^2 + 180 \text{ kgf}/\text{m}^2) * 0.1\text{m} = 18.5 \text{ kgf}/\text{m}$$

Con esta carga de diseño se elabora el siguiente modelo:

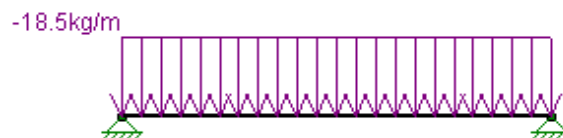


Ilustración 8 - Modelo planteado

Con el modelo anterior se obtiene el siguiente diagrama de momento [Kgf-m]

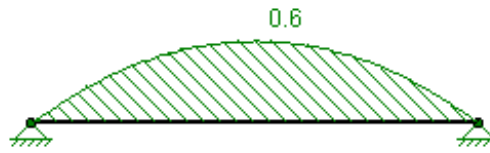


Ilustración 9 - Diagrama de momentos actuantes [Kg-f-m]

Para efectos del uso de la formula el momento máximo (M) será de:

$$M=5886 \text{ N-mm}$$

Encontrando que:

$$5886 \text{ N-mm} < 456255 \text{ N-mm}$$

Como se puede observar el momento actuante es menor que el momento resistente por ello el elemento no fallará cuando se le aplique la carga de diseño.

6.1.1.6. Esfuerzo cortante actuante.

Para este diseño se debe verificar que este elemento resista el esfuerzo cortante paralelo a las fibras (f_v) lo cual se hará de la siguiente manera:

$$f_v = \frac{3 * V}{2 * b * h} \leq F'_v$$

Ecuación 4 - G.3.4-1 (NSR-10)

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, h =Dimensiones de la sección rectangular en mm.

Teniendo en cuenta lo anterior se debe conocer el diagrama de cortante que rige el elemento a diseñar:

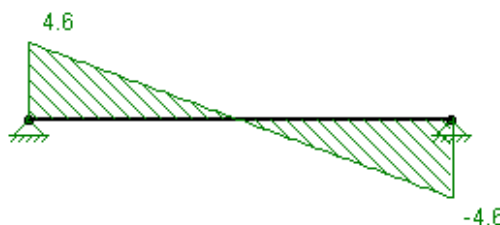


Ilustración 10 - Diagrama de cortante actuantes [Kg-f]

Como se puede observar en el diagrama anterior el cortante que es de interés será el máximo, el cual es **$V=45.126 \text{ N}$**

Luego se debe calcular el esfuerzo cortante actuante:

$$f_v = \frac{3 * 45.126}{2 * 30 * 100} = 0.0225 \text{ MPa}$$

6.1.1.7. Esfuerzo cortante admisible modificado.

El esfuerzo cortante admisible para el grupo de madera ES3 está definido en la tabla^x G.2.2-1, para este caso **$F_v=1.6 \text{ MPa}$** .

Se encuentra el valor para el esfuerzo cortante admisible modificado, el cual se hará de la siguiente manera:

$$F'_v = F_v * C_D * C_m * C_t = 1.6 * 1.00 * 1.00 * 1.00 = 1.6 \text{ MPa}$$

Para encontrar cada uno de estos factores se deben revisar las tablas correspondientes, las cuales son las mismas que se usaron para hallar los factores del esfuerzo admisible a flexión modificado.

Con lo anterior se sabe que:

$$0.0225 \text{ MPa} < 1.6 \text{ MPa}$$

Con esto se conoce que el elemento soporta el esfuerzo cortante al que se ve sometido por la carga de diseño y se concluye que es menor que el resistente, por lo cual, el elemento no falla por cortante.

6.1.1.8. Esfuerzo de aplastamiento.

Para realizar la verificación de aplastamiento se debe cumplir la siguiente desigualdad:

$$f_p = \frac{N}{A_n} \leq F'_p$$

Ecuación 5 - G.3.5-1 (NSR-10)

En donde:

f_p = Esfuerzo de aplastamiento 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 mm².

Teniendo en cuenta lo anterior se debe conocer las fuerzas perpendiculares a la fibra que rige el elemento a diseñar:

^x Página G-18 (NSR-10)



Ilustración 11 - Reacciones en apoyos [Kg]

Del modelo anterior se conoce que la fuerza axial actuante perpendicular a la fibra es **$N=45.126 \text{ N}$**

El área neta de aplastamiento se definirá de la siguiente manera:

$$A_n = h * b = 30 * 100 = 3000 \text{ mm}^2$$

Por lo cual:

$$f_p = \frac{N}{A_n} = \frac{45.126}{3000} = 0.015 \text{ Mpa}$$

6.1.1.9. Esfuerzo admisible modificado a compresión perpendicular a la fibra.

Además de lo anterior se debe conocer el esfuerzo de admisible modificado a compresión perpendicular a la fibra, lo cual se hará de la siguiente manera:

$$F'_p = F_p * C_m * C_b$$

El valor correspondiente al esfuerzo admisible a compresión perpendicular a la fibra se obtiene de la tabla^Y G.2.2-1, para el caso de estudio se trabaja **$F_p=3.8$** .

Para el cálculo del coeficiente por área de apoyo se debe proceder de la siguiente manera:

$$C_b = \frac{l_b + 9.53}{l_b}$$

Ecuación 6 - G.3.5-2 (NSR-10)

En donde:

l_b = Longitud del apoyo en mm, medida a lo largo de la fibra de la madera.

$$C_b = \frac{25 + 9.53}{25} = 1.38$$

Aplicando los factores correspondientes se tiene lo siguiente:

^Y Página G-18 (NSR-10)

$$F'_p = F_p * C_m * C_b = 3.8 * 1.00 * 1.00 * 1.38 = 5.24 \text{ MPa}$$

Para encontrar cada uno de estos factores se deben revisar las tablas correspondientes, las cuales son las mismas que se usaron para hallar los factores del esfuerzo admisible a flexión modificado, pero se debe tomar los valores que corresponde a la compresión paralela a la fibra.

Con lo anterior se podrá verificar lo siguiente:

$$0.015 \text{ Mpa} < 5.24 \text{ Mpa}$$

Con eso se sabe que el esfuerzo de aplastamiento aplicado es menor al esfuerzo admisible modificado a compresión perpendicular a la fibra, lo cual indica que la sección no sufrirá aplastamiento en este caso.

6.1.1.9.1. Deflexiones

Como último paso se encuentran la deflexión máxima total que el elemento tendrá, esto se hace usando la formula descrita anteriormente para deflexiones máximas y aumentando un 80% para conocer la deflexión elástica más la deflexión inelástica.

- Se halla el módulo de elasticidad modificado:

$$E_{0.5} = E_{0.5} * C_m * C_t * C_{in} = 14000 * 1.00 * 1.00 * 1.00 = 14000 \text{ MPa}$$

- Después se encuentra la deflexión máxima.

$$\Delta_{max} = \frac{5}{384} * \frac{0.181 * 500^4}{14000 * \frac{100 * 30^3}{12}} * 1.8 = 0.084 \text{ mm}$$

$$\Delta_{admisible} = \frac{500}{300} = 1.66 \text{ mm}$$

Como se puede observar el valor de la deflexión máxima es menor que el de la deflexión admisible por lo cual cumple con el criterio de las deflexiones siendo esta una sección óptima para resolver el caso de estudio.

6.1.2. Caso de estudio 2 - Flexión.

Se desea realizar el cálculo para el peldaño de una escalera que se encuentra empotrado en uno de sus extremos, dicha escalera servirá para acceder al segundo piso de una vivienda familiar.

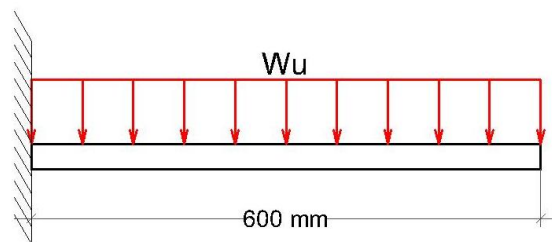


Ilustración 12 – Elemento peldaño

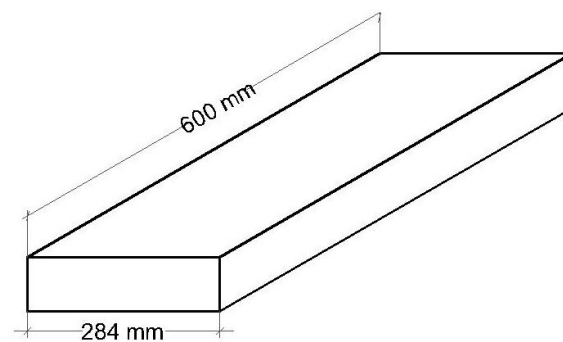


Ilustración 13 - Elemento peldaño

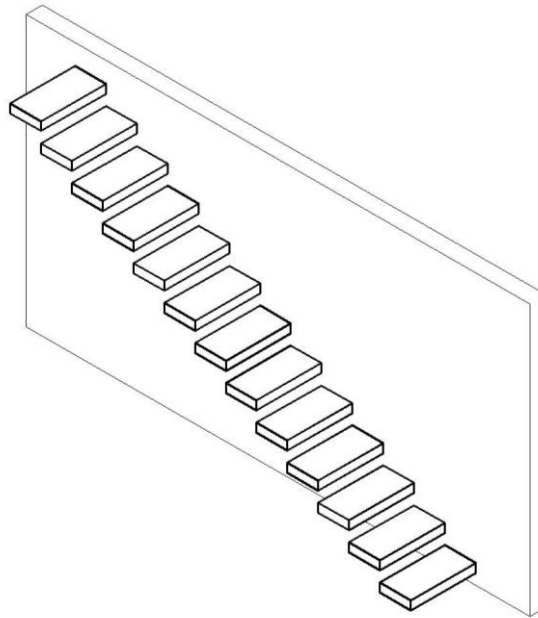


Ilustración 14 – Isometría escalera

Datos:

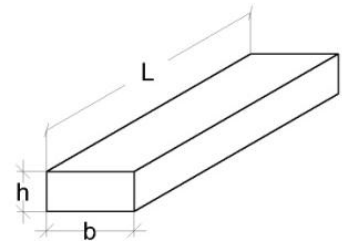
$$L = 600 \text{ mm}$$

$$b = 284 \text{ mm}$$

Tipo madera ES1 – Madera aserrada

$CH_C=12\%$ en Construcción – $CH_S=12\%$ en Servicio.

Temperatura= 18°C



6.1.2.1. Definición de sección.

El paso inicial para el diseño del elemento es definición de la altura de la sección (h).

Avalúo inicial de cargas se define teniendo en cuenta la tabla^z-G.3.2-3.

$$w' = (1,5D + L^{AA}) * b_{af}$$

$$w' = (1,5 \times 5 \text{ k/m}^2 + 300 \text{ k/m}^2) * 0,284 \text{ m} = 18,75 \text{ k/m} = 0,187 \text{ N/mm}$$

Para encontrar la altura del elemento se debe conocer la fórmula de deflexión para el caso de estudio con sus condiciones iniciales, para este problema la formula será la siguiente:

$$\Delta_{max} = \frac{\omega l^4}{8EI}$$

Ecuación 7 – Notas de clase resistencia de materiales

^z Página G-27 (NSR-10)

^{AA} Se en la norma recomienda el uso de 240 k/m^2 para la carga viva de construcción si esta interviene.

El paso que continua será tomar de la tabla^{BB} G.3.2-1 la formula correspondiente para deflexiones admisibles que cumpla con la necesidad del caso de estudio.

$$\Delta_{adm} = \frac{l}{300}$$

Ecuación 8 - Deflexiones admisibles en vigas (mm), para elementos de entrepiso.

También se debe definir el módulo de elasticidad el cual depende del tipo de madera que se disponga, para este caso es una madera del grupo ES1, lo anterior se encuentra en la tabla^{CC} G.2.2-2.

$$E_{0.5} = 18000 \text{ MPa}$$

Módulo de elasticidad longitudinal para maderas del grupo ES1.

Se igualan las fórmulas para deflexiones:

$$\frac{l}{300} = \frac{\omega l^4}{8EI}$$

$$h = \sqrt[3]{\frac{300}{600} * \frac{0.187 * 600^4 * 12}{8 * 18000 * 284}}$$

$$h = 30.52 \text{ mm}$$

Al encontrar esta dimensión se tendrá que el pre dimensionamiento será así:

$$\begin{aligned} h^{DD} &= 80 \text{ mm} \\ b &= 284 \text{ mm} \end{aligned}$$

6.1.2.2. Esfuerzo admisible modificado.

El paso siguiente para continuar con el diseño estructural será la definición de los factores de corrección los cuales son los siguientes:

$$F_b' = F_b * C_D * C_m * C_t * C_L * C_F * C_{fu} * C_{in} * C_r$$

En donde

F_b = esfuerzo admisible para flexión.

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.

^{BB} Página G-26 (NSR-10)

^{CC} Página G-18 (NSR-10)

^{DD} La altura se aproxima aumentándola a la medida comercial más cercana, pagina G-92 (NSR-10).

6.1.2.2.1. Esfuerzo admisible.

Como paso inicial se debe definir el esfuerzo admisible para la flexión (F_b), el cual dependerá principalmente del tipo de madera con el cual se desea realizar el elemento y se extrae de la tabla^{EE} G.2.2-1.

$$C_b = 29.5 \text{ MPa}$$

Esfuerzos admisibles en flexión para maderas del grupo ES1.

6.1.2.2.2. Coeficiente de modificación por duración de la carga.

El paso a seguir será definir el coeficiente de modificación por duración de la carga (C_D) para ello se usa la tabla^{FF} G.2.2-3.

$$C_D = 1.00$$

Para este caso se toma el factor para flexión $C_D = 1.00$, este valor se asume cuando el elemento este sometido a una carga de duración normal, que la norma considera como un tiempo de exposición de 10 años.

6.1.2.2.3. Coeficiente de modificación por contenido de humedad.

Se continúa definiendo el coeficiente por contenido de humedad (C_m), para hacer esto se debe conocer la condición de humedad durante la construcción y en servicio, lo anterior se define en la tabla^{GG} G.2.2-4.

Para este caso de estudio:

$$CH_c = 12\% \quad CH_s = 12\%$$

Los esfuerzos admisibles se tomaran con así:

$$CH = 12\%$$

Los esfuerzos módulos de elasticidad se tomaran con así:

$$CH = 12\%$$

Se toma la tabla^{HH} G.2.2-5 indica cual es el factor que afectará al esfuerzo admisible para flexión.

Para este caso será usado $C_m = 1.00$

6.1.2.2.4. Coeficiente de modificación por temperatura.

El siguiente factor que se debe precisar es el coeficiente de modificación por temperatura (C_t), para ello se hará uso de la tabla^{II} G.2.2-6.

Para este elemento en madera el factor $C_t = 1.00$.

^{EE} Página G-18 (NSR-10)

^{FF} Página G-19 (NSR-10)

^{GG} Página G-19 (NSR-10)

^{HH} Página G-19 (NSR-10)

^{II} Página G-20 (NSR-10)

6.1.2.2.5. Coeficiente de modificación por estabilidad lateral de vigas.

Después se encontrara el coeficiente de modificación por estabilidad lateral de vigas (C_L).

Para lo anterior se debe verificar lo siguiente^{JJ}:

$h/b > 1$ Para un nuestro caso tenemos $30/100 = 0.3 < 1$ por lo cual $C_L=1.00$

6.1.2.2.6. Coeficiente de forma.

Continuando con los coeficientes, se encontrara el coeficiente de forma (C_F) para ello se usa inicialmente la tabla^{KK} G 3.3-1 en la cual se encontrara C_d .

Para este caso de estudio $C_d=1.00$.

Se pasa a hallar de la tabla^{LL} G 3.3-2 el coeficiente C_l .

Para este caso de estudio $C_l=1.00$

Se usan las formulas correspondientes y se sabe cuál es C_F :

$$C_F = C_d * C_l = 1.00 * 1.00 = 1.00$$

6.1.2.2.7. Coeficiente de modificación por cara ancha.

El paso siguiente será hallar el coeficiente de modificación por cara ancha (C_{fu}) para ello se hace uso de la tabla^{MM} G.3.3-3:

Teniendo en cuenta la tabla mencionada anteriormente se debe usar un $C_{fu}=1.00$.

6.1.2.2.8. Coeficiente de modificación por incisiones.

Si se realiza alguna incisión en el elemento se debe verificar lo descrito en la norma^{NN} y así saber qué valor asigna, para este caso no se realiza ninguna incisión entonces el valor para será. $C_{in}= 1.00$.

6.1.2.2.9. Coeficiente de modificación por acción conjunta.

Analizando lo descrito en el numeral^{OO} este elemento cumple con lo descrito en la anotación, por lo anterior $C_r=1.00$

Por lo cual el esfuerzo admisible para la flexión será:

^{JJ} Estabilidad lateral y coeficientes de modificación G.3.3.3 NSR-10

^{KK} Página G-28 (NSR-10)

^{LL} Página G-28 (NSR-10)

^{MM} Página G-29 (NSR-10)

^{NN} Se debe verificar lo descrito en la página G-20 numeral G.2.2.3.4 página G-20 (NSR-10)

^{OO} Se debe verificar lo descrito en la página G-20 numeral G.2.2.3.5 página G-20 (NSR-10)

$$F'_b = F_b * C_D * C_m * C_t * C_L * C_F * C_{fu} * C_{in} * C_r$$

$$F'_b = 29.5 * 1.00 * 1.00 * 1.00 * 1.00 * 1.00 * 1.00 * 1.00 * 1.00 = 29.5 \text{ MPa}$$

6.1.2.3. Momento resistente.

Con los coeficientes encontrados anteriormente se procede a realizar el cálculo del momento resistente en una sección rectangular, el cual debe cumplir la siguiente condición:

$$M \leq F'_b * \frac{b * h^2}{6}$$

Ecuación 9 - G.3.3-7 (NSR-10)

En donde:

M = Momento actuante en N-mm.

F'_b = Esfuerzo admisible modificado a flexión.

b, h = Medidas de la sección rectangular en mm

Y el momento resistente de la sección será:

$$F'_b * \frac{b * h^2}{6} = 29.5 * \frac{284 * 80^2}{6} = 8936533.33 \text{ N} - \text{mm}$$

6.1.2.4. Momento actuante.

El paso a seguir será la definición del momento actuante, para ello se debe realizar un avalúo de cargas nuevo y encontrar el momento actuante con las condiciones a las que el elemento se encuentra sometido.

Avaluó de cargas

Carga muerta (D): Peso propio = 5 kgf/m^2

Carga viva (L): Residenciales-Escaleras = 300 kgf/m^2

Carga de diseño (w)

$$w = (5 \text{ kgf/m}^2 + 300 \text{ kgf/m}^2) * 0.284 \text{ m} = 86.62 \text{ kgf/m}$$

Con esta carga de diseño se elabora el siguiente modelo:

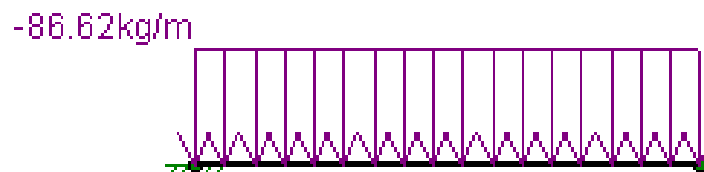


Ilustración 15 - Modelo planteado

Con el modelo anterior se obtiene el siguiente diagrama de momento [Kgf-m]

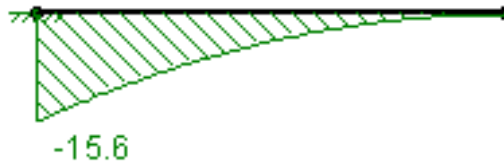


Ilustración 16 - Diagrama de momentos actuantes [Kgf-m]

Para efectos del uso de la formula el momento máximo (M) será de:

$$M=153036 \text{ N-mm}$$

Encontrando que:

$$153036 \text{ N} - \text{mm} < 8936533.33 \text{ N} - \text{mm}$$

Como se puede observar el momento actuante es menor que el momento resistente por ello el elemento no fallará cuando se le aplique la carga de diseño.

6.1.2.5. Esfuerzo cortante actuante.

Para este diseño se debe verificar que el elemento soporte el esfuerzo cortante paralelo a las fibras (f_v) lo cual se hará de la siguiente manera:

$$f_v = \frac{3 * V}{2 * b * h} \leq F'_v$$

Ecuación 10 - G.3.4-1 (NSR-10)

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, h =Dimensiones de la sección rectangular en mm.

Teniendo en cuenta lo anterior se debe conocer el diagrama de cortante que rige nuestro elemento a diseñar:

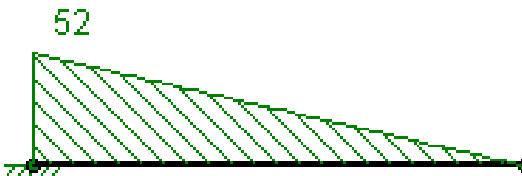


Ilustración 17 - Diagrama de cortante actuantes [Kgf]

Como se puede observar en el diagrama anterior el cortante que nos interesa será el máximo el cual es **$V=510.12 \text{ N}$**

Luego se debe calcular el esfuerzo cortante actuante:

$$f_v = \frac{3 * 510.12}{2 * 80 * 284} = 0.0336 \text{ MPa}$$

6.1.2.6. Esfuerzo cortante admisible modificado.

El esfuerzo cortante admisible para el grupo de madera ES1 está definido en la tabla^{PP} G.2.2-1, para este caso $F_v=2.00 \text{ MPa}$.

Se encuentra el valor para el esfuerzo cortante admisible modificado, el cual se hará de la siguiente manera:

$$F'_v = F_v * C_D * C_m * C_t = 2.00 * 1.00 * 1.00 * 1.00 = 2.00 \text{ MPa}$$

Para encontrar cada uno de estos factores se deben revisar las tablas correspondientes, las cuales son las mismas que se usaron para hallar los factores del esfuerzo admisible a flexión modificado.

Con lo anterior se sabe que:

$$0.0336 \text{ MPa} < 2.00 \text{ MPa}$$

Con esto se conoce que el elemento soporta el esfuerzo cortante al que se ve sometido por la carga de diseño.

6.1.2.6.1. Deflexiones

Como último paso se encuentran la deflexión máxima total que el elemento tendrá, esto se hace usando la formula descrita anteriormente para deflexiones máximas y aumentando un 80% para conocer la deflexión elástica más la deflexión inelástica.

- Se halla el módulo de elasticidad modificado:

$$E_{0.5} = E_{0.5} * C_m * C_t * C_{in} = 18000 * 1.00 * 1.00 * 1.00 = 18000 \text{ MPa}$$

- Después se encuentra la deflexión máxima.

$$\Delta_{max} = \frac{86.62 * 600^4}{8 * 18000 * \frac{284 * 80^3}{12}} * 1.8 = 0.11 \text{ mm}$$

^{PP} Página G-18 (NSR-10)

$$\Delta_{admissible} = \frac{600}{300} = 2.00 \text{ mm}$$

Como se puede observar el valor de la deflexión máxima es menor que el de la deflexión admisible por lo cual cumple con el criterio de las deflexiones siendo esta una sección óptima para resolver el caso de estudio.

6.1.3. Caso de estudio 3 – Flexión.

Se desea diseñar viga que hace parte de una pérgola, dicho elemento se ve afectado por unas cargas puntuales ubicadas a unas distancias determinadas como se muestra en el esquema.

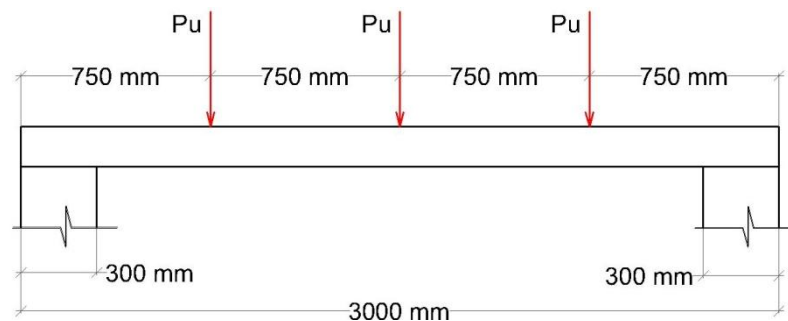


Ilustración 18 - Elemento viga

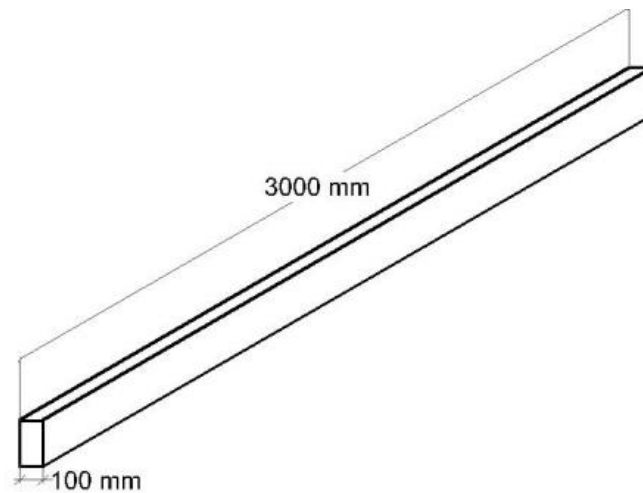


Ilustración 19 - Sección del elemento

Datos:

$$L = 3000 \text{ mm}$$

$$b = 100 \text{ mm}$$

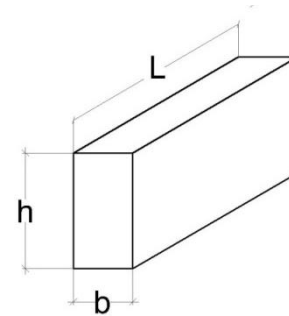
Tipo madera ES2 – Madera aserrada

$$CH_c = 18\% - CH_s = 12\%$$

Temperatura=30°C

Carga puntual (L+D): 52.26 kg

$$Pu = 52.26 \text{ kg} = 512.72 \text{ N}$$



6.1.3.1. Definición de sección.

Para encontrar la sección del elemento la norma recomienda seguir el procedimiento que se describe a continuación.

$$Pu = 512.72 \text{ kg}$$

Para este caso el lado de la sección $b^{QQ} = 100 \text{ mm}$

Se igualan las fórmulas para deflexiones.

$$\Delta_{max} = \frac{(5 * n^2 - 4)}{384 * n} * \frac{Pu * l^3}{EI}$$

Ecuación 11– Notas de clase, resistencia de materiales

En donde:

Δ = deflexión máxima en mm.

n = número de separaciones entre las cargas.

P_u^* = Carga inicial de diseño.

l = Longitud del elemento.

^{QQ} Para realizar un análisis más acertado se deben usar medidas comerciales, G-92 (NSR-10).

E = Modulo de elasticidad.

I = Inercia de la sección.

$$n = \frac{l}{a}$$

Ecuación 12 – Notas de clase, resistencia de materiales

En donde:

l = Longitud del elemento.

a = separación entre cargas en mm.

En siguiente paso se toma de la tabla^{RR} G.3.2-1 la formula correspondiente para deflexiones admisibles que cumpla con la necesidad del caso de estudio.

$$\Delta_{adm} = \frac{l}{240}$$

Ecuación 13 - Deflexiones admisibles en vigas (mm), para techos planos.

También se debe definir el módulo de elasticidad el cual depende del tipo de madera que se disponga, para este caso es una madera del grupo ES2, lo anterior se encuentra en la tabla^{SS} G.2.2-2.

$$E_{0.5} = 18000 \text{ MPa}$$

Módulo de elasticidad longitudinal para maderas del grupo ES2.

Se igualan las fórmulas para deflexiones:

$$\frac{l}{240} = \frac{(5 * n^2 - 4)}{384 * n} * \frac{Pu * l^3}{EI}$$

$$h = \sqrt[3]{\frac{240}{3000} * \frac{(5 * 4^2) - 4}{384 * 4} * \frac{512.72 * 3000^3 * 12}{18000 * 100}}$$

$$h = 73.87 \text{ mm}$$

Al encontrar esta dimensión se tendrá que el pre dimensionamiento será así:

$$h^{TT}=100 \text{ mm}$$

$$b=100\text{mm}$$

6.1.3.2. Esfuerzo admisible modificado.

El paso siguiente para continuar con el diseño estructural será la definición de los factores de corrección los cuales son los siguientes:

^{RR} Página G-26 (NSR-10)

^{SS} Página G-18 (NSR-10)

^{TT} La altura se aproxima aumentándola a la medida comercial más cercana, pagina G-92 (NSR-10).

$$F_b' = F_b \cdot C_D \cdot C_m \cdot C_t \cdot C_L \cdot C_F \cdot C_{in} \cdot C_r$$

En donde

F_b = esfuerzo admisible para flexión.

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_{in} = coeficiente de modificación por incisiones.

C_r = coeficiente de modificación por acción de conjunto.

6.1.3.2.1. Esfuerzo admisible.

Como paso inicial se debe definir el esfuerzo admisible para la flexión (F_b), el cual dependerá principalmente del tipo de madera con el cual se desea realizar el elemento y se extrae de la tabla^{UU} G.2.2-1.

$$F_b = 28.5 \text{ MPa}$$

Ecuación 14 Esfuerzos admisibles en flexión para maderas del grupo ES2.

6.1.3.2.2. Coeficiente de modificación por duración de la carga.

El paso a seguir será definir el coeficiente de modificación por duración de la carga (C_D) para ello se usa la tabla^{VV} G.2.2-3.

$$C_D = 1.00$$

Coeficiente de duración de carga.

Para este caso se toma el factor para flexión $C_D = 1.00$, este valor se asume cuando el elemento este sometido a una carga de duración normal, que la norma considera como un tiempo de exposición de 10 años.

6.1.3.2.3. Coeficiente de modificación por contenido de humedad.

Se continúa definiendo el coeficiente por contenido de humedad (C_m), para hacer esto se debe saber la condición de humedad durante la construcción y en servicio, lo anterior se define en la tabla^{WW} G.2.2-4.

Para este caso de estudio:

$$CH_c > 18\% \quad CH_s = 12\%$$

Los esfuerzos admisibles se tomaran con así:

$$CH = 12\%$$

Los esfuerzos módulos de elasticidad se tomaran con así:

$$CH = 12\%$$

^{UU} Página G-18 (NSR-10)

^{VV} Página G-19 (NSR-10)

^{WW} Página G-19 (NSR-10)

Se toma la tabla^{XX} G.2.2-5 indica cual es el factor que afectará al esfuerzo admisible para flexión.

Para este caso será usado $C_m=1.00$

6.1.3.2.4. Coeficiente de modificación por temperatura.

El siguiente factor que se debe precisar es el coeficiente de modificación por temperatura (C_t), para ello se hará uso de la tabla^{YY} G.2.2-6.

Para este elemento en madera el factor $C_t=1.00$, como lo se puede ver en la tabla anterior.

6.1.3.2.5. Coeficiente de modificación por estabilidad lateral de vigas.

Después se encontrara el coeficiente de modificación por estabilidad lateral de vigas (C_L).

Para lo anterior se debe verificar lo siguiente^{ZZ}:

$h/b > 1$ Para un nuestro caso tenemos $100/100 = 1 = 1$ por lo cual $C_L=1.00$

6.1.3.2.6. Coeficiente de forma.

Continuando con los coeficientes, se encontrara el coeficiente de forma (C_F) para ello se usa inicialmente la tabla^{AAA} G 3.3-1 en la cual se encontrara C_d .

Para este caso de estudio $C_d=1.15$.

Se pasa a hallar de la tabla^{BBB} G 3.3-2 el coeficiente C_l .

Para este caso de estudio $C_l=1.00$

Se usan las formulas correspondientes y se sabe cuál es C_F :

$$C_F = C_d * C_l = 1.15 * 1.00 = 1.15$$

6.1.3.2.7. Coeficiente de modificación por incisiones.

Si se realiza alguna incisión en el elemento se debe verificar lo descrito en la norma^{CCC} y así saber qué valor asigna, para este caso no se realiza ninguna incisión entonces el valor para $C_{in}= 1.00$.

^{XX} Página G-19 (NSR-10)

^{YY} Página G-20 (NSR-10)

^{ZZ} Estabilidad lateral y coeficientes de modificación G.3.3.3 NSR-10

^{AAA} Página G-28 (NSR-10)

^{BBB} Página G-28 (NSR-10)

^{CCC} Se debe verificar lo descrito en la página G-20 numeral G.2.2.3.4 página G-20 (NSR-10)

6.1.3.2.8. Coeficiente de modificación por acción conjunta.

Analizando lo descrito en el numeral ^{DDD} este elemento cumple con lo descrito en la anotación, por lo anterior $C_r=1.15$

Por lo cual el esfuerzo admisible para la flexión será:

$$F'_b = F_b * C_D * C_m * C_t * C_L * C_F * C_{fu} * C_{in} * C_r$$

$$F'_b = 28.5 * 1.00 * 1.00 * 1.00 * 1.00 * 1.15 * 1.00 * 1.15 = 37.69 \text{ MPa}$$

6.1.3.3. Momento resistente.

Con los coeficientes encontrados anteriormente se procede a realizar el cálculo del momento resistente en una sección rectangular, el cual debe cumplir la siguiente condición:

$$M \leq F'_b * \frac{b * h^2}{6}$$

Ecuación 15 - G.3.3-7 (NSR-10)

En donde:

M = Momento actuante en N-mm.

F'_b = Esfuerzo admisible modificado a flexión.

b, h = Medidas de la sección rectangular en mm

Y el momento resistente de la sección será:

$$F'_b * \frac{b * h^2}{6} = 37.69 * \frac{100 * 100^2}{6} = 6281666.66 \text{ N} - \text{mm}$$

6.1.3.4. Momento actuante.

El paso a seguir será la definición del momento actuante, para ello se debe realizar un análisis con la carga que el elemento se encuentra sometido, en este caso se conoce la magnitud de dicha carga y su ubicación en el elemento.

$$P_u = 512.72 \text{ kg}$$

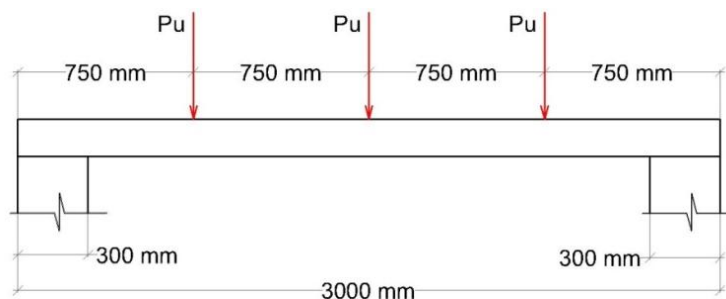


Ilustración 20- Elemento con cargas aplicadas.

^{DDD} Se debe verificar lo descrito en la página G-20 numeral G.2.2.3.5 página G-20 (NSR-10)

Con esta carga de diseño se elabora el siguiente modelo:

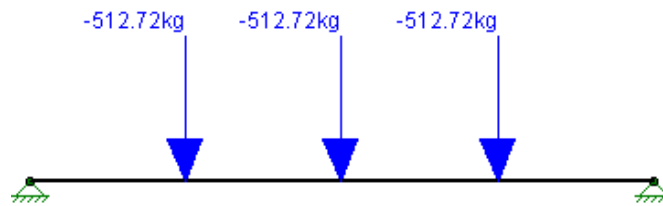


Ilustración 21 - Modelo planteado

Con el modelo anterior se obtiene el siguiente diagrama de momento [Kgf-m]

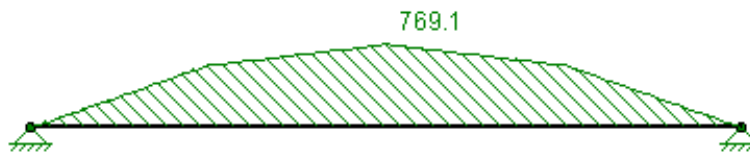


Ilustración 22 - Diagrama de momentos actuantes [Kgf-m]

Para efectos del uso de la formula el momento máximo (M) será de:

$$M=7544871 \text{ N-mm}$$

Encontrando que:

$$7544871 \text{ N} - \text{mm} < 6281666.66 \text{ N} - \text{mm}$$

Como se puede observar el momento actuante es menor que el momento resistente por ello el elemento no fallará cuando se le aplique la carga de diseño.

6.1.3.5. Esfuerzo cortante actuante.

Para este diseño se debe verificar que este elemento resista el esfuerzo cortante paralelo a las fibras (f_v) lo cual se hará de la siguiente manera:

$$f_v = \frac{3 * V}{2 * b * h} \leq F'_v$$

Ecuación 16 - G.3.4-1 (NSR-10)

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, h =Dimensiones de la sección rectangular en mm.

Teniendo en cuenta lo anterior se debe conocer el diagrama de contante que rige nuestro elemento a diseñar:

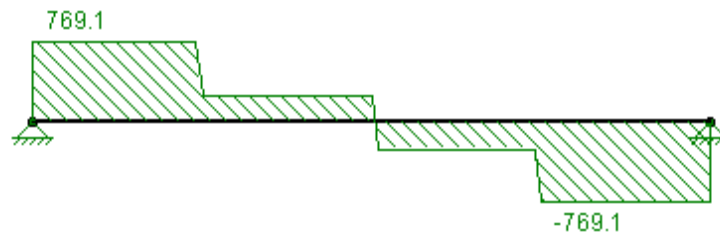


Ilustración 23 - Diagrama de cortante actuantes [Kgf]

Como se puede observar en el diagrama anterior el cortante que nos interesa será el máximo el cual es **$V=7544.871 \text{ N}$**

Luego se debe calcular el esfuerzo cortante actuante:

$$f_v = \frac{3 * 7544.871}{2 * 100 * 100} = 1.131 \text{ MPa}$$

6.1.3.6. Esfuerzo cortante admisible modificado.

El esfuerzo cortante admisible para el grupo de madera ES2 está definido en la tabla^{EEE} G.2.2-1, para este caso **$F_v=2.00 \text{ MPa}$** .

Se encuentra el valor para el esfuerzo cortante admisible modificado, el cual se hará de la siguiente manera:

$$F'_v = F_v * C_D * C_m * C_t = 2.00 * 1.00 * 1.00 * 1.00 * 1.00 = 2.00 \text{ MPa}$$

Para encontrar cada uno de estos factores se deben revisar las tablas correspondientes, las cuales son las mismas que se usaron para hallar los factores del esfuerzo admisible a flexión modificado, pero se debe tomar los valores que corresponde al cortante.

Con lo anterior se sabe que:

$$1.131 \text{ Mpa} < 2.00 \text{ Mpa}$$

Con esto se conoce que el elemento soporta el esfuerzo cortante al que se ve sometido por la carga de diseño.

6.1.3.7. Esfuerzo de aplastamiento.

Para realizar la verificación de aplastamiento se debe cumplir la siguiente desigualdad:

$$f_p = \frac{N}{A_n} \leq F'_p$$

Ecuación 17 - G.3.5-1 (NSR-10)

En donde:

f_p = Esfuerzo de aplastamiento en MPa.

^{EEE} Página G-18 (NSR-10)

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 mm^2 .

Teniendo en cuenta lo anterior se debe conocer las fuerzas perpendiculares a la fibra que rige el elemento a diseñar:

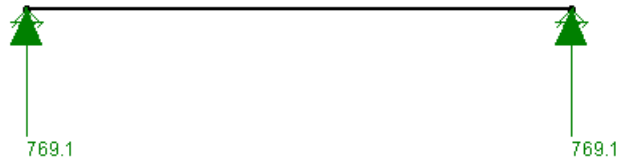


Ilustración 24 - Reacciones en apoyos [Kg]

Del modelo anterior se conoce que la fuerza axial actuante perpendicular a la fibra es **$N=7544.871$ N.**

El área neta de aplastamiento se definirá de la siguiente manera:

$$A_n = b * h = 100 * 100 = 10000 \text{ mm}^2$$

Por lo cual:

$$f_p = \frac{N}{A_n} = \frac{7544.871}{10000} = 0.754 \text{ Mpa}$$

6.1.3.8. Esfuerzo admisible modificado a compresión perpendicular a la fibra.

Además de lo anterior se debe conocer el esfuerzo de admisible modificado a compresión perpendicular a la fibra, lo cual se hará de la siguiente manera:

$$F'_p = F_p * C_m * C_b$$

Para el cálculo del factor C_b se debe proceder de la siguiente manera:

$$C_b = \frac{l_b + 9.53}{l_b}$$

Ecuación 18 - G.3.5-2 (NSR-10)

En donde:

l_b = Longitud del apoyo en mm, medida a lo largo de la fibra de la madera.

$$C_b = \frac{300 + 9.53}{300} = 1.031$$

Aplicando los factores correspondientes se tiene lo siguiente:

$$F'_p = F_p * C_m * C_t * C_{in} * C_r * C_b = 4.3 * 1.00 * 1.00 * 1.00 * 1.15 * 1.031 = 5.098 \text{ MPa}$$

Para encontrar cada uno de estos factores se deben revisar las tablas correspondientes, las cuales son las mismas que se usan para hallar los factores del esfuerzo admisible a flexión modificado.

Con lo anterior se verifica lo siguiente:

$$0.754 \text{ MPa} < 0.098 \text{ MPa}$$

Con eso se sabe que el esfuerzo de aplastamiento es menor al esfuerzo admisible modificado a compresión perpendicular a la fibra lo cual indica que la sección no sufrirá aplastamiento en este caso.

6.1.3.8.1. Deflexiones

Como último paso se encuentran la deflexión máxima total que el elemento tendrá, esto se hace usando la formula descrita anteriormente para deflexiones máximas y aumentando un 80% para conocer la deflexión elástica más la deflexión inelástica.

- Se halla el módulo de elasticidad modificado:

$$E_{0.5} = E_{0.5} * C_m * C_t * C_{in} = 18000 * 1.00 * 1.00 * 1.00 = 18000 \text{ MPa}$$

- Después se encuentra la deflexión máxima.

$$\Delta_{max} = \frac{(5 * 4^2 - 4)}{384 * 4} * \frac{512.72 * 3000^3}{18000 * \frac{284 * 80^3}{12}} * 1.8 = 8.2 \text{ mm}$$

$$\Delta_{admisible} = \frac{3000}{240} = 12.5 \text{ mm}$$

Como se puede observar el valor de la deflexión máxima es menor que el de la deflexión admisible por lo cual cumple con el criterio de las deflexiones siendo esta un sección óptima para resolver el caso de estudio.

6.1.4. Caso de estudio 4 – Flexión.

Se desea diseñar un elemento diagonal el cual servirá para una cubierta, con los parámetros que se describen a continuación.

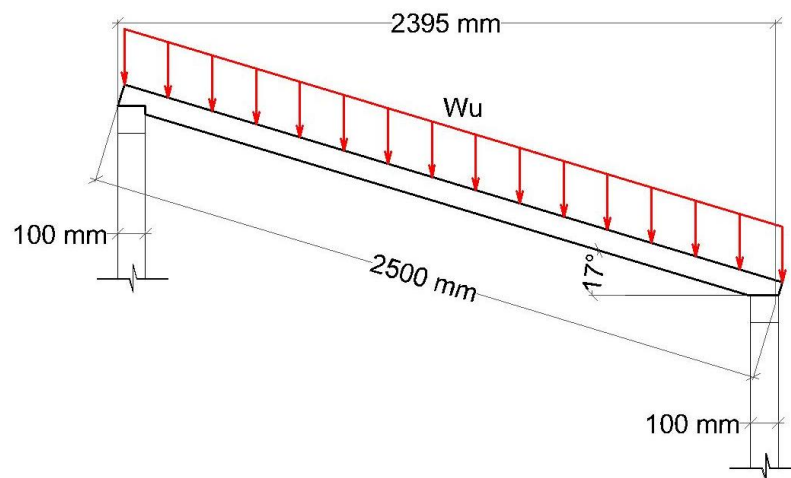


Ilustración 25 - Elemento viga

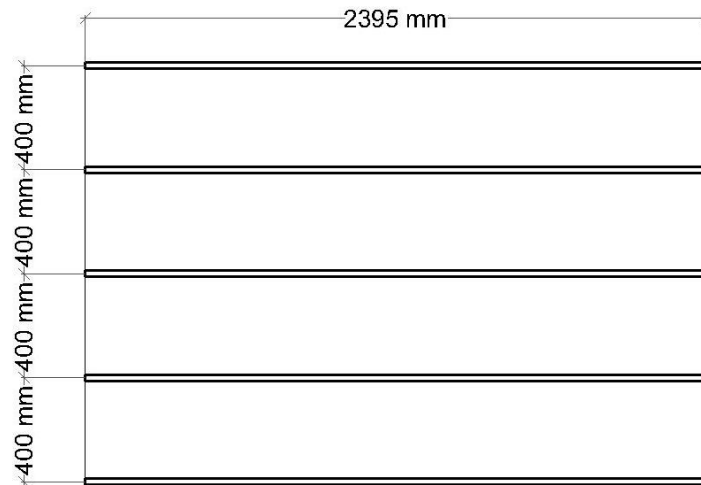


Ilustración 26 - Sección del elemento

Datos:

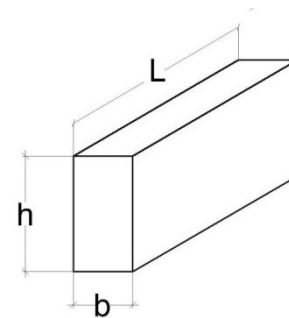
$$L = 2500 \text{ mm}$$

$$b = 25 \text{ mm}$$

Tipo madera ES2 – Madera aserrada

$$CH_c = 10\% - CH_s = 11\%$$

$$\text{Temperatura} = 27^\circ\text{C}$$



6.1.4.1. Definición de sección.

Para encontrar la sección del elemento la norma recomienda seguir el procedimiento que se describe a continuación.

El paso inicial para el diseño del elemento es definición de la altura de la sección (h).

Avalúo inicial de cargas se define teniendo en cuenta la tabla^{FFF}-G.3.2-3.

$$w' = (1,5D + L^{GGG}) * b_{af}$$

$$w' = (1,5 \times 18 \text{ k/m}^2 + 35 \text{ k/m}^2) * 0,40 \text{ m} = 24,8 \text{ k/m} = 0,243 \text{ N/mm}$$

Para encontrar la altura del elemento se debe conocer la fórmula de deflexión para el caso de estudio con sus condiciones iniciales, para este problema la formula será la siguiente:

$$\Delta_{max} = \frac{5}{384} * \frac{\omega l^4}{EI}$$

^{FFF} Página G-27 (NSR-10)

^{GGG} Se en la norma recomienda el uso de 240 k/m^2 para la carga viva de construcción si esta interviene.

Ecuación 19 - G.3.2-1 (NSR-10)

El paso que continua será tomar de la tabla^{HHH} G.3.2-1 la formula correspondiente para deflexiones admisibles que cumpla con la necesidad del caso de estudio.

$$\Delta_{adm} = \frac{l}{240}$$

Ecuación 20 - Deflexiones admisibles en vigas (mm), para elementos de cubierta.

También se debe definir el módulo de elasticidad el cual depende del tipo de madera que se disponga, para este caso es una madera del grupo ES2, lo anterior se encuentra en la tabla^{III} G.2.2-2.

$$E_{0.5} = 18000 \text{ MPa}$$

Módulo de elasticidad longitudinal para maderas del grupo ES2.

Se igualan las fórmulas para deflexiones:

$$\frac{l}{240} = \frac{5}{384} * \frac{\omega l^4}{EI}$$

$$h = \sqrt[3]{\frac{240}{2500} * \frac{5}{384} * \frac{0.243 * 2500^4 * 12}{18000 * 25}}$$

$$h = 68.14 \text{ mm}$$

Al encontrar esta dimensión se tendrá que el pre dimensionamiento será así:

$$h^{JJJ} = 80 \text{ mm}$$

$$b = 25 \text{ mm}$$

6.1.4.2. Esfuerzo admisible modificado.

El paso siguiente para continuar con el diseño estructural será la definición de los factores de corrección los cuales son los siguientes:

$$F_b' = F_b * C_D * C_m * C_t * C_F * C_{in} * C_r * C_L$$

En donde

F_b = esfuerzo admisible para flexión.

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_F = coeficiente de modificación por forma.

C_{in} = coeficiente de modificación por incisiones.

C_r = coeficiente de modificación por acción de conjunto.

C_L = coeficiente de modificación por estabilidad lateral de vigas.

^{HHH} Página G-26 (NSR-10)

^{III} Página G-18 (NSR-10)

^{JJJ} La altura se aproxima aumentándola a la medida comercial más cercana, pagina G-92 (NSR-10).

6.1.4.2.1. Esfuerzo admisible.

Como paso inicial se debe definir el esfuerzo admisible para la flexión (F_b), el cual dependerá principalmente del tipo de madera con el cual se desea realizar el elemento y se extrae de la tabla^{KKK} G.2.2-1.

$$F_b = 28.5 \text{ MPa}$$

Esfuerzos admisibles en flexión para maderas del grupo ES2.

6.1.4.2.2. Coeficiente de modificación por duración de la carga.

El paso a seguir será definir el coeficiente de modificación por duración de la carga (C_D) para ello se usa la tabla^{LLL} G.2.2-3.

$$C_D = 1.00$$

Coeficiente de duración de carga.

Para este caso se toma el factor para flexión $C_D = 1.00$, este valor se asume cuando el elemento este sometido a una carga de duración normal, que la norma considera como un tiempo de exposición de 10 años.

6.1.4.2.3. Coeficiente de modificación por contenido de humedad.

Se continúa definiendo el coeficiente por contenido de humedad (C_m), para hacer esto se debe saber la condición de humedad durante la construcción y en servicio, lo anterior se define en la tabla^{MMM} G.2.2-4.

Para este caso de estudio:

$$CH_c < 12\% \quad CH_s < 12\%$$

Los esfuerzos admisibles se tomaran con así:

$$CH = 12\%$$

Los esfuerzos módulos de elasticidad se tomaran con así:

$$CH = 12\%$$

Se toma la tabla^{NNN} G.2.2-5 indica cual es el factor que afectará al esfuerzo admisible para flexión.

Para este caso será usado $C_m = 1.00$

6.1.4.2.4. Coeficiente de modificación por temperatura.

El siguiente factor que se debe precisar es el coeficiente de modificación por temperatura (C_t), para ello se hará uso de la tabla^{OOO} G.2.2-6.

^{KKK} Página G-18 (NSR-10)

^{LLL} Página G-19 (NSR-10)

^{MMM} Página G-19 (NSR-10)

^{NNN} Página G-19 (NSR-10)

^{OOO} Página G-20 (NSR-10)

Para este elemento en madera el factor $C_t = 1.00$.

6.1.4.2.5. Coeficiente de forma.

Continuando con los coeficientes, se encontrara el coeficiente de forma (C_F) para ello se usa inicialmente la tabla^{PPP} G 3.3-1 en la cual se encontrara C_d .

Para este caso de estudio $C_d = 1.15$.

Se pasa a hallar de la tabla^{QQQ} G 3.3-2 el coeficiente C_l .

Para este caso de estudio $C_l = 1.00$

Se usan las formulas correspondientes y se sabe cuál es C_F :

$$C_F = C_d * C_l = 1.15 * 1.00 = 1.15$$

6.1.4.2.6. Coeficiente de modificación por incisiones.

Si se realiza alguna incisión en el elemento se debe verificar lo descrito en la norma^{RRR} y así saber qué valor asigna, para este caso no se realiza ninguna incisión entonces el valor para $C_{in} = 1.00$.

6.1.4.2.7. Coeficiente de modificación por acción conjunta.

Analizando lo descrito en el numeral^{SSS} este elemento cumple con lo descrito en la anotación, por lo anterior $C_r = 1.15$

6.1.4.2.8. Coeficiente de modificación por estabilidad lateral de vigas.

Después se encontrara el coeficiente de modificación por estabilidad lateral de vigas (C_L).

Para lo anterior se debe verificar lo siguiente^{TTT}:

$$h/b > 1 \text{ Para un nuestro caso tenemos } 80/25 = 3.2$$

Teniendo en cuenta lo anterior se debe observar, en la figura^{UUU} G.3.3.2, cuál de los casos para soporte lateral cumple el elemento a diseñar, para este diseño se cumple con el caso C.

Así tenemos que la longitud no soportada lateralmente para este elemento será:

^{PPP} Página G-28 (NSR-10)

^{QQQ} Página G-28 (NSR-10)

^{RRR} Se debe verificar lo descrito en la página G-20 numeral G.2.2.3.4 página G-20 (NSR-10)

^{SSS} Se debe verificar lo descrito en la página G-20 numeral G.2.2.3.5 página G-20 (NSR-10)

^{TTT} Estabilidad lateral y coeficientes de modificación G.3.3.3 NSR-10

^{UUU} Página G-30 (NSR-10)

$$l_u = 2500 \text{ mm}$$

En el paso siguiente se debe verificar en la tabla^{vv} G.3.3-4 la longitud efectiva de vigas en mm (l_e), la tabla indica que se debe usar la siguiente formula.

$$l_e = 1.33 * l_u = 1.33 * 2500 = 3325 \text{ mm}$$

Se continúa con el procedimiento encontrando la relación de esbeltez, para lo cual se usa la siguiente formula:

$$R_B = \sqrt{\frac{l_e * h}{b^2}} = \sqrt{\frac{3325 * 80}{25^2}} = 20.63$$

Ecuación 21 - G.3.3-4 (NSR-10)

En donde:

R_B = Parámetro que mide la relación de esbeltez de una viga y debe ser menor a 50.

b = ancho de la viga en mm.

h = altura de la viga en mm.

l_e = Longitud efectiva de la viga en mm.

- Se calcula el esfuerzo admisible de flexión modificado (F_b^*):

$$F_b^* = F_b * C_D * C_m * C_t * C_F * C_{in} * C_r = 28.5 * 1.00 * 1.00 * 1.00 * 1.15 * 1.00 * 1.15 = 37.69 \text{ MPa}$$

- Se encuentra el módulo de elasticidad mínimo modificado E'_{min} :

$$E'_{min} = E_{min} * C_m * C_t = 7130 * 1.00 * 1.00 = 7130$$

- Se halla F_{bE} :

$$F_{bE} = \frac{1.20 * E'_{min}}{R_B^2} = \frac{1.20 * 7130}{20.63^2} = 20.103 \text{ MPa}$$

Ecuación 22 - G.3.3-6 (NSR-10)

^{vv} Página G-31 (NSR-10)

En donde:

F_{bE} = Esfuerzo de flexión crítico, en MPa.

E'_{min} = Modulo de elasticidad mínimo modificado, en MPa.

R_B = Relación de esbeltez de la viga.

- Por último se encuentra el coeficiente de estabilidad lateral:

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

Ecuación 23- G.3.3-5 (NSR-10)

$$C_L = \left(\frac{1 + 20.10/37.69}{1.9} \right) - \sqrt{\left(\frac{1 + 20.10/37.69}{1.9} \right)^2 - \left(\frac{20.10/37.69}{0.95} \right)} = 0.507$$

Por lo cual el esfuerzo admisible para la flexión será:

$$F'_b = F_b * C_D * C_m * C_t * C_F * C_{fu} * C_{in} * C_r * C_L$$

$$F'_b = 28.5 * 1.00 * 1.00 * 1.00 * 1.15 * 1.00 * 1.15 * 0.507 = 19.10 \text{ MPa}$$

6.1.4.3. Momento resistente.

Con los coeficientes encontrados anteriormente se procede a realizar el cálculo del momento resistente en una sección rectangular, el cual debe cumplir la siguiente condición:

$$M \leq F'_b * \frac{b * h^2}{6}$$

Ecuación 24 - G.3.3-7 (NSR-10)

En donde:

M = Momento actuante en N-mm.

F'_b = Esfuerzo admisible modificado a flexión.

b, h = Medidas de la sección rectangular en mm

Y el momento resistente de la sección será:

$$F'_b * \frac{b * h^2}{6} = 19.109 * \frac{25 * 80^2}{6} = 509585.7 \text{ N} - \text{mm}$$

6.1.4.4. Momento actuante.

El paso a seguir será la definición del momento actuante, para ello se debe realizar un análisis con la carga que el elemento se encuentra sometido, en este caso se conoce la magnitud de dicha pero se debe descomponer para efectos de idealizar el modelo.

Avaluó de cargas

Carga muerta (D): Peso propio elementos cubierta= 18 kgf/m^2

Carga viva (L): Cubierta tipo E^{www}= 35 kgf/m^2

Carga de diseño (w)

$$w = (18 \text{ kg/m}^2 + 35 \text{ kgf/m}^2) * 0.40 \text{ m} = 21.2 \text{ kgf/m}$$

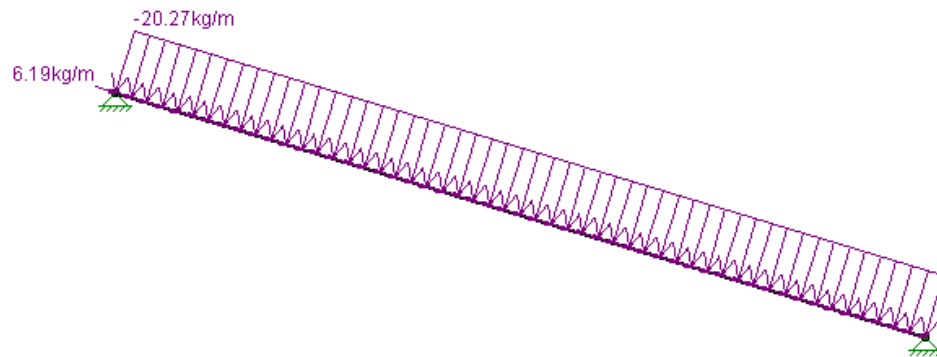


Ilustración 27 - Modelo planteado

Con el modelo anterior se obtiene el siguiente diagrama de momento [Kgf-m]

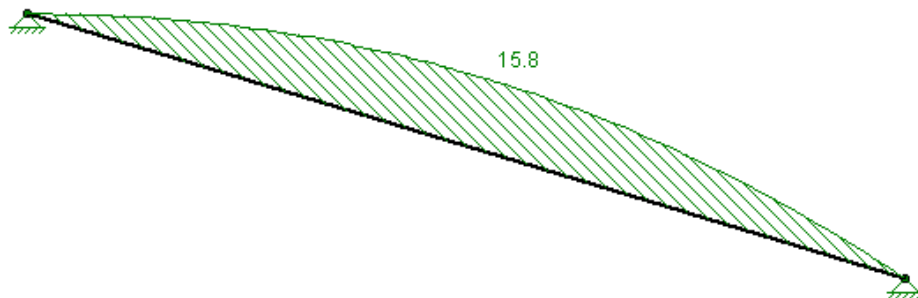


Ilustración 28 - Diagrama de momentos actuantes [Kgf-m]

Para efectos del uso de la formula el momento máximo (M) será de:

$$M=154998 \text{ N-mm}$$

Encontrando que:

$$154998 \text{ N} - \text{mm} < 509585.7 \text{ N} - \text{mm}$$

Como se puede observar el momento actuante es menor que el momento resistente por ello el elemento no fallará cuando se le aplique la carga de diseño.

6.1.4.5. Esfuerzo cortante actuante.

Para este diseño se debe verificar que este elemento resista el esfuerzo cortante paralelo a las fibras (f_v) lo cual se hará de la siguiente manera:

$$f_v = \frac{3 * V}{2 * b * h} \leq F'_v$$

Ecuación 25 - G.3.4-1 (NSR-10)

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, h =Dimensiones de la sección rectangular en mm.

Teniendo en cuenta lo anterior se debe conocer el diagrama de cortante que rige nuestro elemento a diseñar:

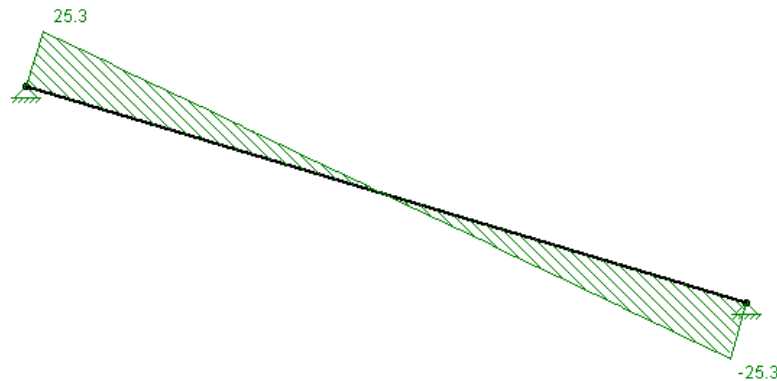


Ilustración 29 - Diagrama de cortante actuantes [Kgf]

Como se puede observar en el diagrama anterior el cortante que nos interesa será el máximo el cual es **$V=248.193 \text{ N}$**

Luego se debe calcular el esfuerzo cortante actuante:

$$f_v = \frac{3 * 248.192}{2 * 25 * 80} = 0.186 \text{ MPa}$$

6.1.4.6. Esfuerzo cortante admisible modificado.

El esfuerzo cortante admisible para el grupo de madera ES2 está definido en la tabla^{xxx} G.2.2-1, para este caso **$F_v=2.00 \text{ MPa}$** .

Se encuentra el valor para el esfuerzo cortante admisible modificado, el cual se hará de la siguiente manera:

$$F'_v = F_v * C_D * C_m * C_t = 2.00 * 1.00 * 1.00 * 1.00 = 2.00 \text{ MPa}$$

^{xxx} Página G-18 (NSR-10)

Para encontrar cada uno de estos factores se deben revisar las tablas correspondientes, las cuales son las mismas que se usaron para hallar los factores del esfuerzo admisible a flexión modificado, pero se debe tomar los valores que corresponde al cortante.

Con lo anterior se sabe que:

$$0.186 \text{ MPa} < 2.00 \text{ Mpa}$$

Con esto se conoce que el elemento soporta el esfuerzo contante al que se ve sometido por la carga de diseño.

6.1.4.7. Esfuerzo de aplastamiento.

Para realizar la verificación de aplastamiento se debe cumplir la siguiente desigualdad:

$$f_p = \frac{N}{A_n} \leq F'_p$$

Ecuación 26 - G.3.5-1 (NSR-10)

En donde:

f_p = Esfuerzo de aplastamiento 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 mm².

Teniendo en cuenta lo anterior se debe conocer las fuerzas perpendiculares a la fibra que rige el elemento a diseñar:

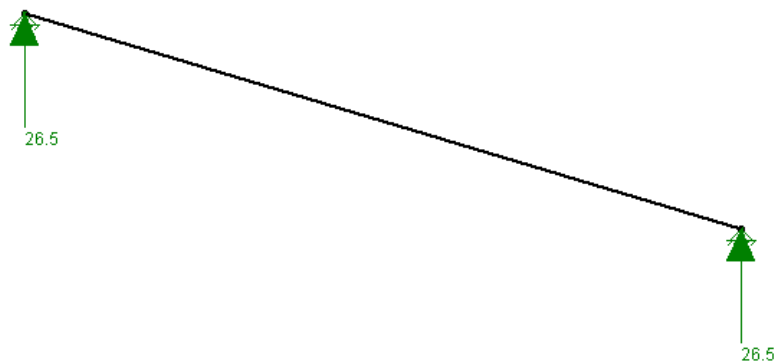


Ilustración 30 - Reacciones en apoyos [Kg]

Del modelo anterior se conoce que la fuerza axial actuante perpendicular a la fibra es **$N=259.96 \text{ N}$** .

El área neta de aplastamiento se definirá de la siguiente manera:

$$A_n = b * h = 25 * 80 = 2000 \text{ mm}^2$$

Por lo cual:

$$f_p = \frac{N}{A_n} = \frac{259.96}{2000} = 0.13 \text{ Mpa}$$

6.1.4.8. Esfuerzo admisible modificado a compresión perpendicular a la fibra.

Además de lo anterior se debe conocer el esfuerzo de admisible modificado a compresión perpendicular a la fibra, lo cual se hará de la siguiente manera:

$$F'_p = F_p * C_m * C_b$$

Para el cálculo del factor C_b se debe proceder de la siguiente manera:

$$C_b = \frac{l_b + 9.53}{l_b}$$

Ecuación 27 - G.3.5-2 (NSR-10)

En donde:

l_b = Longitud del apoyo en mm, medida a lo largo de la fibra de la madera.

$$C_b = \frac{100 + 9.53}{100} = 1.093$$

Aplicando los factores correspondientes se tiene lo siguiente:

$$F'_p = F_p * C_m * C_t * C_{in} * C_r * C_b = 4.3 * 1.00 * 1.00 * 1.00 * 1.15 * 1.093 = 4.08 \text{ MPa}$$

Para encontrar cada uno de estos factores se deben revisar las tablas correspondientes, tomando los valores que corresponde a la compresión paralela a la fibra.

Con lo anterior se verifica lo siguiente:

$$0.13 \text{ Mpa} < 4.08 \text{ MPa}$$

Con eso se sabe que el esfuerzo de aplastamiento es menor al esfuerzo admisible modificado a compresión perpendicular a la fibra lo cual indica que la sección no sufrirá aplastamiento en este caso.

6.1.4.8.1. Deflexiones

Como último paso se encuentran la deflexión máxima total que el elemento tendrá, esto se hace usando la formula descrita anteriormente para deflexiones máximas y aumentando un 80% para conocer la deflexión elástica más la deflexión inelástica.

- Se halla el módulo de elasticidad modificado:

$$E_{0.5} = E_{0.5} * C_m * C_t * C_{in} = 18000 * 1.00 * 1.00 * 1.00 = 18000 \text{ MPa}$$

- Después se encuentra la deflexión máxima.

$$\Delta_{max} = \frac{5}{384} * \frac{0.212 * 2500^4}{18000 * \frac{25 * 80^3}{12}} * 1.8 = 10.10 \text{ mm}$$

Ecuación 28 - G.3.2-1 (NSR-10)

$$\Delta_{admisible} = \frac{2500}{240} = 10.41 \text{ mm}$$

Como se puede observar el valor de la deflexión máxima es menor que el de la deflexión admisible por lo cual cumple con el criterio de las deflexiones siendo esta un sección óptima para resolver el caso de estudio.

7. DISEÑO DE ELEMENTOS SOLICITADOS POR FUERZA AXIAL

7.1. Casos de estudio

7.1.1. Caso de estudio 5 – carga axial

Se requiere realizar una columna simple sólida que soporte una cubierta para un granero en una granja frutal, con las condiciones descritas a continuación.

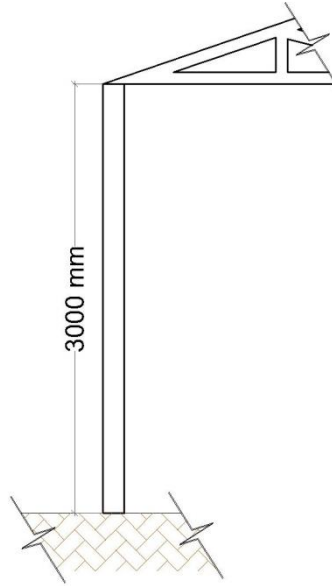


Ilustración 31 - Elemento columna

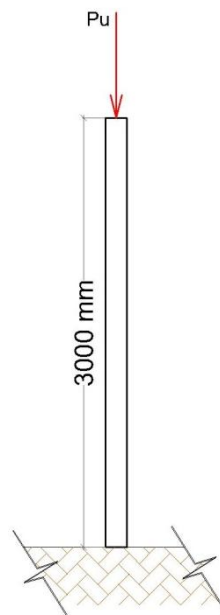


Ilustración 32 - Elemento columna

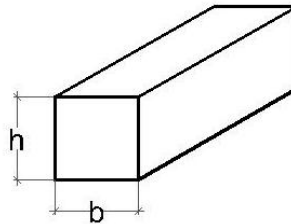


Ilustración 33 - Sección elemento columna

Datos:

$$L_e = 3000 \text{ mm}$$

Tipo madera ES2 - Aserrada

$CH_c = 22\%$ en Construcción – $CH_s = 20\%$ en Servicio.

Temperatura = 28°C

$$P_U = 2756 \text{ kg} = 27036.36 \text{ N}$$

$$h = 100 \text{ mm}$$

$$b = 100 \text{ mm}$$

7.1.1.1. Esfuerzo admisible modificado.

El paso para comenzar con el diseño estructural será la definición de los factores de corrección los cuales son los siguientes:

$$F'_c = F_c * C_D * C_m * C_t * C_F * C_{in} * C_r * C_P$$

7.1.1.1.1. Esfuerzo admisible.

Como paso inicial se debe definir el esfuerzo admisible para la compresión (F_c), el cual dependerá principalmente del tipo de madera con el cual se desea realizar el elemento y se debe escoger de la tabla^{yyy} G.2.2-1.

Para este caso será $F_c = 22.0 \text{ MPa}$

La definición de este esfuerzo es de suma importancia, pues es el punto de partida para que este diseño cumpla con los requerimientos estructurales a los que se verá sometido.

7.1.1.1.2. Coeficiente de modificación por duración de la carga.

El paso a seguir será definir el coeficiente de modificación por duración de la carga (C_D), para ello se hará uso de la tabla^{zzz} G.2.2-3

Se toma el factor para flexión $C_D = 1.00$ como se observa en la tabla anterior, este valor se asume cuando el elemento este sometido a una carga de duración normal, la cual la norma considera como un tiempo de exposición de 10 años.

^{yyy} Página G-18 NSR-10

^{zzz} Página G-20 NSR-10

7.1.1.1.3. Coeficiente por contenido de humedad.

Se continúa definiendo el coeficiente por contenido de humedad (C_m) teniendo en cuenta los parámetros descritos en la tabla^{AAAA} G.2.2-4 en la cual se debe conocer cuál será la humedad durante la construcción y en servicio.

En la tabla^{BBBB} G.2.2-5 se toma el coeficiente de afectación correspondiente, teniendo en cuenta la las humedades con las que se conocen.

Para este caso de estudio:

$$CH_c > 19\% \quad CH_s > 19\%$$

Los esfuerzos admisibles se tomaran con así:

$$CH > 19\%$$

Los esfuerzos módulos de elasticidad se tomaran con así:

$$CH > 19\%$$

Como se identifica anteriormente para una humedad mayor de 19% el factor a usar será de $C_m=0.75$ para compresión paralela (F_c), el cual será usado para afectar el esfuerzo admisible y el módulo de elasticidad.

7.1.1.1.4. Coeficiente de modificación por temperatura.

El siguiente factor que se debe precisar es el coeficiente de modificación por temperatura (C_t), para ello se hace uso de la tabla^{CCCC} G.2.2-6, tomando el valor correspondiente a la compresión y verificando en cuál de los rangos de temperatura se encuentra el elemento.

Como se puede ver este factor también afecta a los módulos de elasticidad promedio ($E_{0.5}$), módulos de elasticidad y mínimo (E_{min}) y los módulos de elasticidad al percentil 5º ($E_{0.05}$).

Para este elemento en madera el factor $C_t = 1.00$, como se logra verificar en la tabla descrita anteriormente.

7.1.1.1.5. Coeficiente de forma.

Continuando con los coeficientes, se encontrara el coeficiente de forma (C_F) para ello se hará uso de la tabla^{DDDD} G3.3-1 definiendo el factor de ajuste C_d .

Cuando se observa la tabla el valor es $C_d = 1.15$

Por otro parte también se debe definir C_I lo cual se deduce de la tabla^{EEEE} G.3.3-2.

Con la tabla mencionada anteriormente se observa que el valor es $C_I = 1.00$

^{AAAA} Página G19 (NSR-10)

^{BBBB} Página G19 (NSR-10)

^{CCCC} Página G-20 (NSR-10)

^{DDDD} Página G-28 (NSR-10)

^{EEEE} Página G-28 (NSR-10)

Teniendo estos dos valores se aplica la siguiente ecuación para encontrar el valor C_F :

$$C_F = C_d * C_l$$

Ecuación 29 - G.3.3-3 (NSR-10)

$$C_F = 1.15 * 1.00 = 1.15$$

7.1.1.1.6. Coeficiente de modificación por incisiones.

Si se realiza alguna incisión en el elemento se debe verificar lo descrito en la norma^{FFFF} y así saber qué valor asignar, para este caso no se realiza ninguna incisión entonces el valor para $C_{in} = 1.00$.

7.1.1.1.7. Coeficiente de modificación por acción conjunta.

Analizando lo descrito en el numeral^{GGGG} este elemento cumple con lo descrito en la anotación, por lo anterior $C_j=1.15$.

7.1.1.1.8. Coeficiente de estabilidad en columnas

Para encontrar este factor se realizaran una serie de pasos los cuales se describen a continuación:

- Se calcula la longitud efectiva (l_e)

$$l_e = k_e * l_u$$

Ecuación 30- G.4.3-1 (NSR-10)

En donde:

L_e = Longitud efectiva en mm.

K_e = Coeficiente de longitud efectiva.

L_u = Longitud no soportada lateralmente de la columna en la dirección considerada en mm.

- Para este caso $l_e=3000$ mm
- El coeficiente k_e se deduce de la siguiente tabla^{HHHH} G.4.3-1

En la mencionada anteriormente se puede observar que el k_e que más se asemeja a este caso será el descrito en el caso 5 y se tomara el K_{e2} pues las condiciones locales son aproximadas a las que se plantean en dicha tabla, con ello $k_e=1.5$; con esto se tiene que:

$$l_e = 1.5 * 3000 = 4500 \text{ mm}$$

- El siguiente paso será encontrar la relación de esbeltez (λ) lo cual será definido por la tabla^{IIII} G.4.3-2 encontrando la siguiente formula.

^{FFFF} Se debe verificar lo descrito en el numeral G.2.2.3.4, página G-20 (NSR-10)

^{GGGG} Se debe verificar lo descrito en el numeral G.2.2.3.5, página G-20 (NSR-10)

^{HHHH} Página G-40 (NSR-10)

$$\lambda = \frac{l_{e1,2}}{h}$$

Ecuación 31- Formula de esbeltez

En donde:

λ =Medida de esbeltez. Debe ser $\lambda \leq 50$, excepto durante la construcción que podría ser $\lambda \leq 75$

l_e =Longitud efectiva de la columna en la dirección considerada, en mm.

h, b =Dimensiones de la sección transversal en la dirección considerada, en mm.

Para este caso **$b=h=150 \text{ mm}$**

Con lo anterior se encuentra que:

$$\lambda = \frac{l_e}{b} = \frac{4500}{150} = 30$$

- Otros parámetros que se deben definir son el esfuerzo crítico (F_{CE}) y el valor del coeficiente valorizado (C) los cuales se encuentran en la tabla^{jjjj} G.4.3-3.

Teniendo en cuenta la tabla referenciada anteriormente el valor para **$C=0.8$** .

Por otra parte el esfuerzo crítico se define por la siguiente formula:

$$F_{CE} = \frac{0.822 * E'_{min}}{\lambda^2}$$

Ecuación 32-Esfuerzo crítico, Tabla G.4.3-3 (NSR-10)

En donde:

F_{CE} =Esfuerzo critico de pandeo para elementos en compresión, MPa.

E'_{min} =módulo de elasticidad mínimo modificado, en MPa.

λ =Parámetro de esbeltez para columnas.

- El paso a seguir será calcular el módulo de elasticidad mínimo modificado(E'_{min}) el cual se encuentra usando el valor correspondiente de la tabla:

Este módulo se debe afectar por las correcciones correspondientes:

$$E'_{min} = E_{min} * C_t * C_{in} = 7130 * 1.00 * 1.00 = 7130 \text{ MPa}$$

Para calcular F_{CE} se debe usar la siguiente formula:

^{llll} Página G-41 (NSR-10)

^{jjjj} Página G-42 (NSR-10)

$$F_{CE} = \frac{0.822 * E'_{min}}{\lambda^2} = \frac{0.822 * 7130}{30^2} = 6.51 \text{ MPa}$$

También se debe calcular el esfuerzo admisible de compresión paralelo al grano (F_c^*) el cual se calcula de la siguiente manera:

$$F_c^* = F_c * C_D * C_m * C_t * C_F * C_{in} * C_r = 22 * 1.00 * 0.75 * 1.00 * 1.15 * 1.00 * 1.15 = 21.82 \text{ MPa}$$

Por último se halla el coeficiente de estabilidad (C_P) el cual se encuentra con la siguiente formula:

$$C_P = \frac{1 + (F_{CE}/F_c^*)}{2 * C} - \sqrt{\left(\frac{1 + (F_{CE}/F_c^*)}{2 * C}\right)^2 - \frac{F_{CE}/F_c^*}{C}}$$

Ecuación 33 - G.4.3-3 (NSR-10)

Aplicando lo anterior se tiene que:

$$C_P = \frac{1 + (6.15/21.82)}{2 * 0.8} - \sqrt{\left(\frac{1 + (6.15/21.82)}{2 * 0.8}\right)^2 - \frac{6.15/21.82}{0.8}} = 0.263$$

Así se podrá encontrar el esfuerzo admisible de compresión modificado (F'_c):

$$F'_c = F_c * C_D * C_m * C_t * C_F * C_{in} * C_r * C_P$$

$$F'_c = 22 * 1.00 * 0.75 * 1.00 * 1.15 * 1.00 * 1.15 * 0.263 = 5.73 \text{ MPa}$$

7.1.1.2. Cargas admisibles

Para saber cuál es la carga admisible que puede soportar la columna se usa la formula descrita a continuación:

$$P_a = F'_c * A_n$$

Ecuación 34 - G.4.3-5 (NSR-10)

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.

A_n = Área neta de la columna en mm^2 .

Con lo anterior se encuentra que:

$$P_a = F'_c * A_n = 5.73 * 10000 = 57300 \text{ N} > 27036.36 \text{ N}$$

Por el cálculo realizado anteriormente se comprueba que la carga resistente es mayor que la carga aplicada, por ello la sección chequea.

7.1.1.3. Acortamiento de elementos a compresión

Para conocer el acortamiento de los elementos sometidos a una carga axial de compresión se usa la siguiente formula:

$$\Delta dc = \frac{P * l_u}{A_n * E'_{0.5}}$$

Ecuación 35 G.4.5-1 (NSR-10)

En donde:

Δdc = Acortamiento en el sentido paralelo a las fibras, en mm.

P = Carga axial actuante en N.

L_u = Longitud no soportada de la columna en mm.

A_n = Área neta de la sección de la columna en mm².

$E'_{0.5}$ = Modulo de elasticidad $E_{0.5}$ modificado paralelo a las fibras MPa.

Para el cálculo del módulo de elasticidad modificado paralelo a las fibras se hace teniendo en cuenta la tabla^{KKKK} G.2.2-2 anterior se toma el modulo correspondiente al tipo de madera y se afecta por los diferentes factores que componen la siguiente ecuación:

$$E'_{0.5} = E_{0.5} * C_m * C_t * C_{in} = 18000 * 0.75 * 1.00 * 1.00 = 18000 \text{ MPa}$$

Después de realizar el cálculo anterior se procede a encontrar el acortamiento en el sentido paralelo a las fibras:

$$\Delta dc = \frac{P * l_u}{A_n * E'_{0.5}} = \frac{27036.36 * 3000}{10000 * 13500} = 0.6 \text{ mm}$$

Se puede observar que el acortamiento de la columna no afectara significativamente a la estructura así que se puede despreciar dándole al elemento una funcionalidad óptima.

7.1.2. Caso de estudio 6 – Carga axial

Se desea realizar una columna espaciada con boques separadores encolados, esta columna servirá como soporte para una cubierta pequeña, la cual se usará para cubrir automóviles en una casa campestre.

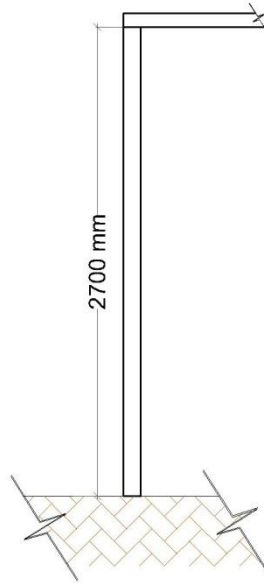


Ilustración 34 - Elemento columna

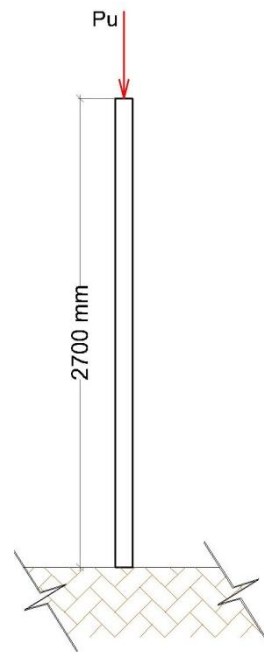


Ilustración 35 - Elemento columna

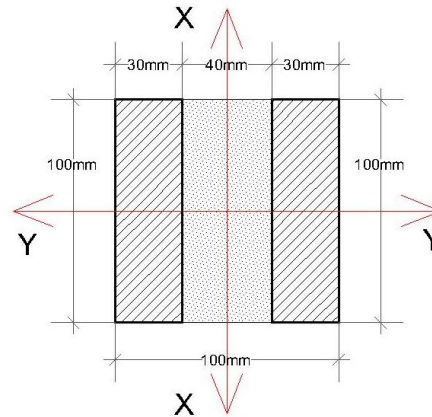


Ilustración 36 - Sección columna

Datos:

$$L_e = 2500 \text{ mm}$$

Tipo madera ES3- Aserrada

$CH_c = 20\%$ en Construcción – $CH_s = 21\%$ en Servicio.

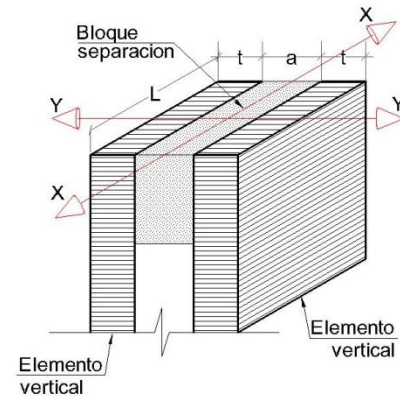
Temperatura = 20°C

$$P_U = 1130 \text{ kg} = 10085.3 \text{ N}$$

$$t = 30 \text{ mm}$$

$$a = 40 \text{ mm}$$

$$b = 100 \text{ mm}$$



7.1.2.1. Recomendaciones generales para columnas espaciadas

Las especificaciones de esta norma son aplicables a columnas conformadas por piezas separadas por bloques con espaciamiento $a/t \leq 3$, Figura^{LLLL} G.4.3-3 A, B, C, o con tapas de unión, Figura^{MMMM} 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 .
- El número de tramos debe ser ≥ 3 , o sea que existirán mínimo cuatro bloques separadores o 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.

^{LLLL} Figura NSR-10 adjunta en página siguiente.

^{MMMM} Figura NSR-10 adjunta en página siguiente.

- 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_{vef} , induce sobre los tacos separadores.

En la figura^{NNNN} G.4.3-3 se encuentran los tipos de columnas espaciadas con las que norma trabaja.

7.1.2.2. Esfuerzo admisible modificado.

El paso siguiente para continuar con el diseño estructural será la definición de los factores de corrección los cuales son los siguientes:

$$F_c' = F_c * C_D * C_m * C_t * C_F * C_{in} * C_r * C_P$$

7.1.2.2.1. Esfuerzo admisible.

Como paso inicial se debe definir el esfuerzo admisible para la compresión (F_c), el cual dependerá principalmente del tipo de madera con el cual se desea realizar el elemento, en la tabla^{OOOO} G.2.2-1 se encuentran los diferentes tipos de madera y su correspondiente esfuerzo admisible.

Encontrando que $F_c = 19.0 \text{ MPa}$, la definición de este esfuerzo es de suma importancia, pues es el punto de partida para que este diseño cumpla con los requerimientos estructurales a los que se verá sometido.

7.1.2.2.2. Coeficiente de modificación por duración de la carga.

El paso a seguir será definir el coeficiente de modificación por duración de la carga (C_D), para ello se usa la tabla^{PPPP} G.2.2-3.

Se toma el factor para flexión $C_D = 1.00$, este valor se asume cuando el elemento este sometido a una carga de duración normal, la cual la norma considera como un tiempo de exposición de 10 años.

7.1.2.2.3. Coeficiente por contenido de humedad.

Se continúa definiendo el coeficiente por contenido de humedad (C_m) teniendo en cuenta los parámetros descritos en la tabla^{QQQQ} G 2.2-4.

Para este caso de estudio:

$$CH_c > 19\% \quad CH_s > 19\%$$

Los esfuerzos admisibles se tomaran con así:

$$CH > 19\%$$

Los esfuerzos módulos de elasticidad se tomaran con así:

$$CH > 19\%$$

^{NNNN} Página G-46 (NSR-10)

^{OOOO} Página G-18 (NSR-10)

^{PPPP} Página G-19 (NSR-10)

^{QQQQ} Página G- 19 (NSR-10)

Como se identifica en la tabla^{RRRR} G.2.2-5 para una humedad igual a 19% el factor a usar será de 0.75 para compresión paralela (F_c), el cual será usado para afectar el esfuerzo admisible y el módulo de elasticidad.

7.1.2.2.4. Coeficiente de modificación por temperatura.

El siguiente factor que se debe precisar es el coeficiente de modificación por temperatura (C_t), para ello se hará uso de la tabla^{SSSS}:

Como se observa este factor también afecta a los módulos de elasticidad promedio ($E_{0.5}$), módulos de elasticidad y mínimo ($E_{\min}$) y los módulos de elasticidad al percentil 5° ($E_{0.05}$).

Para este elemento en madera el factor $C_t = 1.00$, como se identifica en la tabla anterior.

7.1.2.2.5. Coeficiente de forma.

Continuando con los coeficientes, se encontrara el coeficiente de forma (C_F) para ello se hará uso de las siguientes formula, para saber cuál es el valor de C_d se debe tener en cuenta que la columna se analiza como todo un elemento por lo cual este valor serán los lados de la sección completa de la columna, teniendo claro lo anterior con ayuda de la tabla^{TTTT} G.3.3-1 se encuentra el valor correspondiente.

Como se puede verificar en la tabla mencionada anteriormente, el factor por ajuste de medidas será $C_d = 1.15$.

Por otro parte también se debe definir C_l , lo cual se deduce de la tabla^{UUUU} G.3.3-2 dependiendo principalmente de la longitud del elemento.

Para este caso de estudio el $C_l = 1.00$

Por lo anterior se encuentra que:

$$C_F = C_d * C_l$$

Ecuación 36 - G.3.3-3 (NSR-10)

$$C_F = 1.15 * 1 = 1.15$$

7.1.2.2.6. Coeficiente de modificación por acción conjunta.

Se debe verificar lo descrito en el numeral^{VVVV} este elemento cumple con lo planteado en la anotación, por lo anterior $C_r = 1.15$, esto se sabe por qué este tipo de columna trabaja con varios elementos.

^{RRRR} Página G-19 (NRS-10)

^{SSSS} Página G-20 (NSR-10)

^{TTTT} Página G-28 (NSR-10)

^{UUUU} Página G-28 (NSR-10)

^{VVVV} Se debe verificar lo descrito en el numeral G.2.2.3.5. NSR-10

7.1.2.2.7. Coeficiente de modificación por incisiones.

Si se realiza alguna incisión en el elemento se debe verificar lo descrito en la norma^{www} y así saber qué valor asignar, para este caso no se realiza ninguna incisión entonces el valor para $C_{in} = 1.00$.

7.1.2.2.8. Coeficiente de estabilidad en columnas

Para encontrar este factor se realizarán una serie de pasos los cuales se describen a continuación:

- Se calcula la longitud efectiva (l_e)

$$l_e = k_e * l_u$$

Ecuación 37- G.4.3-1 (NSR-10)

En donde:

L_e = Longitud efectiva en mm.

K_e = Coeficiente de longitud efectiva.

L_u = Longitud no soportada lateralmente de la columna en la dirección considerada en mm.

- Para este caso $l_u = 2700$ mm
- El coeficiente k_e se deduce de la tabla^{xxxx} G.4.3-1, allí se debe identificar la condición de los apoyos que el elemento a diseñar tendrá.

En la tabla referenciada anteriormente se observa que el k_e que más se asemeja al caso será el descrito en el caso 5 y se toma el K_{e2} pues las condiciones locales son aproximadas a las que se plantean en la tabla, con ello $k_e = 1.5$; con lo anterior se tiene que:

$$l_e = 1.5 * 2700 = 4050 \text{ mm}$$

Para este caso de estudio el $l_e = l_1 = l_2$

^{www} Se debe verificar lo descrito en el numeral G.2.2.3.4, página G-20 (NSR-10)
^{xxxx} Página G-40 (NSR-10)

- El siguiente paso es encontrar la relación de esbeltez (λ_{efx}) la cual será definida por la fórmula que se muestra a continuación, esta esbeltez se calculará con respecto al eje x de la sección del elemento:

$$\lambda_{efx} = \sqrt{\left(\frac{l_{ex}}{r_x}\right)^2 + 6 * n * C_f \frac{l_{p1}^2}{t^2}}$$

Ecuación 38 -G.4.3-8 (NSR-10)

λ_{efx} = esbeltez eficaz de la sección transversal, respecto a x –x.

l_{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).

L_{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.

- Se calcula el radio de giro para el total de la pieza:

$$I_x = 2 \left(\frac{b * t^3}{12} + A * w^2 \right) = 2 \left(\frac{100 * 30^3}{12} + 3000 * 70^2 \right) = 29850000 \text{ mm}^4$$

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{29850000}{6000}} = 49.87 \text{ mm}$$

- Se halla el coeficiente de flexibilidad (C_f), para lograr lo anterior se debe hacer uso de la tabla^{YYYY} G.4.3-4 sabiendo cual será el material usado para generar la unión entre el bloque de separación y los elementos verticales.

Para este caso a $C_f=1$

- Se encuentra el valor para l_p , cabe recordar que la norma recomienda tres o más tramos en cada elemento:

$$l_p = \frac{l_t}{\# \text{ tramos}} = \frac{2700}{7} = 385.71 \text{ mm}$$

El cálculo anterior debe cumplir:

- $l_p = 385.71 \leq \frac{60*t}{\sqrt{12}} = \frac{60*30}{\sqrt{12}} = 519 \text{ mm}$
- $l_p = 385.71 \leq \frac{l_{ex}}{3} = \frac{2700}{3} = 900 \text{ mm}$

- Si $l_p = 385.71 \leq \frac{30*t}{\sqrt{12}} = \frac{30*30}{\sqrt{12}} = 259.8 \text{ mm}$, se considera $l_p = \frac{30*t}{\sqrt{12}}$

Con esto $l_p = 385.71 \text{ mm}$

- Reemplazando las variables se tiene que:

$$\lambda_{efx} = \sqrt{\left(\frac{100}{49.87}\right)^2 + 6 * 2 * 1 * \frac{385.71^2}{30^2}} = 44.58$$

Con la formula anterior se determina que la esbeltez efectiva es $\lambda_{efx} = 44.58 < 50$ entonces el elemento se mantendrá estable respecto al eje X.

- Luego se calcula el módulo de elasticidad longitudinal $E_{0.5}$ con la ayuda de la tabla^{zzzz} G.2.2-2, esto depende del tipo de madera que se disponga para construir el elemento.

Este módulo se debe afectar por las correcciones correspondientes:

$$E'_{min} = E_{min} * C_t * C_{in} = 5500 * 1.00 * 1.00 = 5500 \text{ MPa}$$

- Para calcular F_{CE} se debe usar la siguiente formula:

Se calcula el esfuerzo crítico de pandeo (F_{CE}):

$$F_{CE} = \frac{0.822 * E'_{min}}{\left(\frac{\lambda_{efx}}{\sqrt{12}}\right)^2}$$

Ecuación 39– G.4.3-8 (NSR-10)

E'_{min} = módulo de elasticidad mínimo longitudinal modificado en MPa.

Se aplica la formula anterior y se encuentra el valor de F_{CE} de la siguiente manera:

$$F_{CE} = \frac{0.822 * 5500}{\left(\frac{44.58}{\sqrt{12}}\right)^2} = 27.29$$

- Para el caso de estudio se en determina el valor del coeficiente valorizado (C) con la siguiente tabla^{aaaaa} G.4.3-3

Teniendo en cuenta la tabla referenciada anteriormente el valor para $C=0.8$

Se calcula el esfuerzo admisible de compresión paralelo al grano:

$$F_c^* = F_c * C_D * C_m * C_t * C_F * C_{in} * C_r = 19 * 1.00 * 0.75 * 1.00 * 1.15 * 1.00 * 1.15 = 18.84 \text{ MPa}$$

Por último se encuentra el coeficiente de estabilidad (C_P) el cual se encuentra con la siguiente formula:

$$C_P = \frac{1 + (F_{CE}/F_C^*)}{2 * C} - \sqrt{\left(\frac{1 + (F_{CE}/F_C^*)}{2 * C}\right)^2 - \frac{F_{CE}/F_C^*}{C}}$$

Ecuación 40 - G.4.3-3 (NSR-10)

Aplicando lo anterior tenemos que:

$$C_P = \frac{1 + (27.29/18.84)}{2 * 0.8} - \sqrt{\left(\frac{1 + (27.29/18.84)}{2 * 0.8}\right)^2 - \frac{27.29/18.84}{0.8}} = 0.806$$

Así se podrá encontrar el esfuerzo admisible de compresión modificado (F'_C):

$$F'_C = F_C * C_D * C_m * C_t * C_F * C_{in} * C_r * C_P$$

$$F'_C = 19 * 1.00 * 0.75 * 1.00 * 1.15 * 1.00 * 1.15 * 0.806 = 15.19 \text{ MPa}$$

7.1.2.2.9. Cálculo de esbeltez respecto al eje Y

- Se calcula el radio de giro para el total de la pieza:

$$I_y = 2 \left(\frac{b * t^3}{12} \right) = 2 \left(\frac{100 * 30^3}{12} \right) = 450000 \text{ mm}^4$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{450000}{6000}} = 8.66 \text{ mm}$$

- Se encuentra la esbeltez:

$$\lambda_{efy} = \sqrt{\left(\frac{l_{ey}}{r_y}\right)^2 + 6 * n * C_f \frac{l_{p1}^2}{t^2}}$$

Ecuación 41 - G.4.3-8 (NSR-10)

$$\lambda_{efy} = \sqrt{\left(\frac{100}{8.66}\right)^2 + 6 * 2 * 1 \frac{386^2}{100^2}} = 17.65$$

Con la formula anterior se determina que la esbeltez efectiva es $\lambda_{efx}=17.65 < 50$ entonces el elemento se mantendrá estable respecto al eje Y.

7.1.2.3. Cargas admisibles

Para saber cuál es la carga admisible que puede soportar la columna se usa la formula descrita a continuación:

$$P_a = F'_c * A_n$$

Ecuación 42 - G.4.3-5 (NSR-10)

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.

A_n = Área neta de la columna en mm².

Con lo anterior se encuentra que:

$$P_a = F'_c * A_n = 15.19 * 6000 = 91140 \text{ N} > 15205.5 \text{ N}$$

Por el cálculo realizado anteriormente se puede comprobar que la carga resistente es mayor que la carga aplicada, por ello la sección chequea.

7.1.2.4. Acortamiento de elementos a compresión

Para conocer el acortamiento de los elementos sometidos a una carga axial de compresión se usa la siguiente formula:

$$\Delta dc = \frac{P * l_u}{A_n * E'_{0.5}}$$

Ecuación 43 -G.4.5-1 (NSR-10)

En donde:

Δdc = Acortamiento en el sentido paralelo a las fibras, en mm.

P = Carga axial actuante en N.

L_u = Longitud no soportada de la columna en mm.

A_n = Área neta de la sección de la columna en mm².

$E'_{0.5}$ = Modulo de elasticidad $E_{0.5}$ modificado paralelo a las fibras MPa.

Para el cálculo del módulo de elasticidad modificado paralelo a las fibras se hace de la tabla^{BBBBB} G.2.2-2.

Teniendo en cuenta la tabla mencionada anteriormente se toma el modulo correspondiente al tipo de madera y se afecta por los diferentes factores encontrando la siguiente ecuación:

$$E'_{0.5} = E_{0.5} * C_m * C_t * C_{in} = 14000 * 0.75 * 1.00 * 1.00 = 10500 \text{ MPa}$$

Después de realizar el cálculo anterior se procede a encontrar el acortamiento en el sentido paralelo a las fibras:

$$\Delta dc = \frac{P * l_u}{A_n * E'_{0.5}} = \frac{15205.5 * 2700}{6000 * 10500} = 0.65 \text{ mm}$$

Se puede observar que el acortamiento de la columna no afectara significativamente a la estructura así que se puede despreciar dándole al elemento una funcionalidad óptima.

7.1.2.4.1. Capacidad de los conectores a cortante.

Se debe calcular la capacidad cortante de los conectores con la siguiente formula:

$$V_d = \frac{P}{60 * C_p}$$

Ecuación 44 - G.4.3-10 (NSR-10)

En donde:

P = carga axial de diseño de la columna, en N.

V_d = fuerza cortante en N.

C_p = coeficiente de estabilidad lateral de la columna.

Se reemplazan los valores:

$$V_d = \frac{15205.5}{60 * 0.806} = 314.42 \text{ N}$$

$$F_{vef} = \frac{C_n * V_d * l_{p1}}{a_1}$$

Ecuación 45 - G.4.3-10 (NSR-10)

En donde:

C_n = coeficiente por cantidad de piezas para cálculo de F_{vef} .

l_{p1} = distancia entre ejes de bloques espaciados o tapas de unión, en mm.

a_1 = la mitad de la distancia entre ejes de piezas individuales, en mm.

F_{vef} = flujo de cortante efectivo en bloques espaciadores o tapas de unión, en N.

Se halla C_n con la tabla^{CCCC} G.4.3.5, para el uso de dicha tabla se debe tener claro cuantas piezas componen la columna, para este caso de estudio son 2.

Se reemplaza los valores:

$$F_{vef} = \frac{2 * 317.575 * 70}{55} = 808.37 \text{ N}$$

- Se definirá un bloque de las siguientes dimensiones en el sentido de la cortante

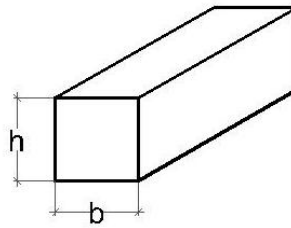


Ilustración 37- Bloque de separación

$d=40 \text{ mm}$

$b=40 \text{ mm}$

Para este caso se tendrá un cortante resistente paralelo a las fibras para el bloque que se define así:

Se debe conocer el esfuerzo admisible cortante paralelo a la fibra modificado F'_v , el cual se encuentra en la tabla^{DDDDD} G.2.2-1.

$$F'_v = F_v * C_D * C_m * C_t * C_{in} * C_r = 2.00 * 1.00 * 0.75 * 1.00 * 1.00 * 1.15 = 1.72 \text{ MPa}$$

Después se aplica la siguiente fórmula para encontrar el cortante máximo que soportara el bloque de separación.

$$V_{max} = \frac{F'_v * 2.00 * h * b}{3} = \frac{1.72 * 2.00 * 40 * 40}{3} = 1834.66 \text{ N}$$

$$317.575 \text{ N} < 1834.66 \text{ N}$$

Con lo anterior se puede ver que el bloque de separación con estas dimensiones soportara la fuerza cortante.

Por otra parte la capacidad resistente de los conectores debe ser mayor que flujo F_{vef} , esto se conocerá al verificar cual es la resistencia que tiene el tipo de unión usada; como es compresible la resistencia de la unión debe ser mayor que el flujo para evitar que la estructura colapse.

8. DISEÑO DE ELEMENTOS SOLICITADOS POR FLEXIÓN Y CARGA AXIAL

8.1. Casos de estudio

8.1.1. Caso de estudio 7 – flexión y carga axial

Se desea diseñar un elemento inclinado macizo que sirva como apoyo para una cubierta la cual servirá para proporcionar sombra a un balcón en un apartamento.

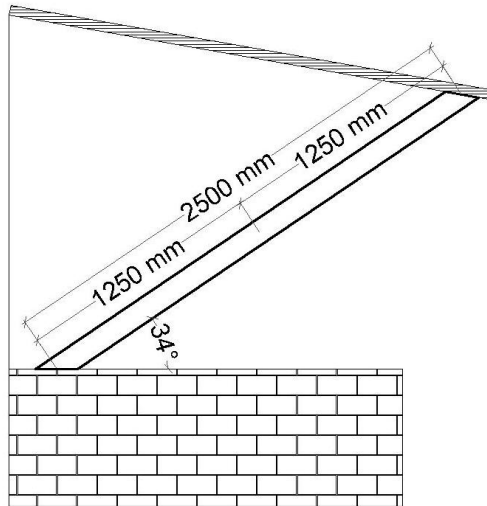


Ilustración 38 - Cubierta completa

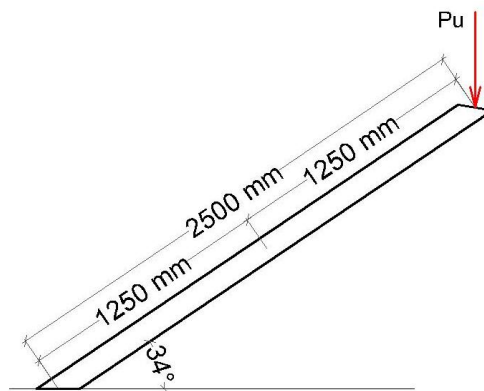


Ilustración 39 - Elemento diagonal cubierta

Datos:

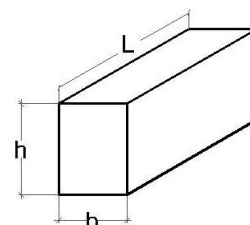
$$L_e = 2500 \text{ mm}$$

Tipo madera ES2

CH=22% en Construcción – CH=20% en Servicio.

Temperatura=28°C

$$P_U = 112.5 \text{ kg} = 1103.6 \text{ N}$$



8.1.1.1. Definición de sección.

Después de verificados los puntos mencionados anteriormente la norma recomienda seguir encontrando la sección del elemento h y b.

$$P_U = 112.5 \text{ kg}$$

Para lograr hacer el modelo la carga se descompone en los ejes X y Y del elemento:

$$\text{Eje X} = 112.5 * \cos 60 = 56.25 \text{ kg}$$

$$\text{Eje Y} = 112.5 * \sin 60 = 97.42 \text{ kg}$$

Para este caso se toma un lado de la sección $b^{EEEE} = 25 \text{ mm}$
Se igualan las fórmulas para deflexiones.

$$\Delta = \frac{P_u * l^3}{3EI}$$

Ecuación 46– Notas de resistencia de materiales

Se debe tomar de la tabla^{FFFF} G.3.2-1 la formula correspondiente.

$$\frac{l}{240}$$

Deflexiones admisibles en vigas en mm, cubiertas inclinadas sin cielo raso.

Para este caso se usa la ecuación resaltada pues es la que se adecua a la necesidad del caso de estudio.

También se debe definir el módulo de elasticidad el cual depende del tipo de madera que se disponga y los cuales se toma teniendo en cuenta la tabla^{GGGG} G.2.2-2.

$$E_{0.5} = 18000 \text{ MPa}$$

Módulo de elasticidad longitudinal para maderas del grupo ES2.

Se igualan las fórmulas para deflexiones:

$$\frac{l}{240} = \frac{P_u * l^3}{3EI}$$

$$h = \sqrt[3]{\frac{240}{2500} * \frac{1103.62 * 2500^3 * 12}{18000 * 25}}$$

$$h = 53.30 \text{ mm}$$

Al encontrar esta dimensión se tendrá que el pre dimensionamiento será así:

$$h^{HHHH} = 80 \text{ mm}$$

$$b = 25 \text{ mm}$$

^{EEEE} Para realizar un análisis más acertado se deben usar medidas comerciales, Pagina G-92 (NSR-10).

^{FFFF} Página G-26 (NSR-10)

^{GGGG} Página G-18 (NSR-10)

^{HHHH} La altura se aproxima aumentándola a la medida comercial más cercana, Pagina G-92 (NSR-10).

8.1.1.2. Esfuerzo admisible modificado.

Para continuar con este diseño estructural se deben definir los factores de corrección que se describen a continuación:

$$F_b' = F_b * C_D * C_m * C_t * C_L * C_F * C_{in} * C_r$$

8.1.1.2.1. Esfuerzo admisible.

Como primer paso se debe definir el esfuerzo admisible para la flexión (F_b), el cual dependerá principalmente del tipo de madera con el cual se desea realizar el elemento, para ello se hace uso de la tabla^{IIII} G.2.2-1.

Como se puede verificar en la tabla mencionada anteriormente el esfuerzo admisible a flexión $F_b=28.5 \text{ MPa}$, la definición de este esfuerzo es de suma importancia, pues es el punto de partida para que el diseño cumpla con los requerimientos estructurales a los que se verá sometido.

8.1.1.2.2. Coeficiente de modificación por duración de la carga.

El siguiente será definir el coeficiente de modificación por duración de la carga (C_D), este factor se rige por lo que se muestra en la tabla^{JJJJ} G.2.2-3

Se toma el factor para flexión $C_D=1.00$ como se observa en la tabla anterior, este valor se asume cuando el elemento este sometido a una carga de duración normal, la cual la norma considera como un tiempo de exposición de 10 años.

8.1.1.2.3. Coeficiente por contenido de humedad.

Se continúa definiendo el coeficiente por contenido de humedad (C_m) teniendo en cuenta los parámetros descritos en la tabla^{KKKK} G 2.2-4.

Para este caso de estudio:

$$CH_c > 19\% \quad CH_s > 19\%$$

Los esfuerzos admisibles se tomaran con así:

$$CH > 19\%$$

Los esfuerzos módulos de elasticidad se tomaran con así:

$$CH > 19\%$$

Como se identifica en la tabla^{LLLL} G.2.2-5 para una humedad mayor a 19% el factor a usar será de 0.80 para compresión paralela (F_b), el cual será usado para afectar el esfuerzo admisible y el módulo de elasticidad.

^{IIII} Página G-18 (NSR-10)

^{JJJJ} Página G-19 (NSR-10)

^{KKKK} Página G-19 (NSR-10)

^{LLLL} Página G-19 (NRS-10)

8.1.1.2.4. Coeficiente de modificación por temperatura.

El siguiente factor que se debe precisar es el coeficiente de modificación por temperatura (C_t), para ello se hará uso de la tabla^{MMMM} G.2.2-6.

Como se evidencia este factor también afecta a los módulos de elasticidad promedio ($E_{0.5}$), módulos de elasticidad, mínimo ($E_{\min}$) y los módulos de elasticidad al percentil 5º ($E_{0.05}$).

Para este elemento en madera el factor $C_t = 1.00$, como se verifica en la tabla mencionada anteriormente.

8.1.1.2.5. Coeficiente de forma.

Se continúan determinando los coeficientes, se encontrara el de forma (C_F) para ello se hace uso de la tabla^{NNNN} G.3.3-1 definiendo el factor de ajuste C_d .

Cuando se observa la tabla el valor es $C_d = 1.15$

Por otro parte también se debe definir C_l lo cual se deduce de la tabla^{OOOO} G.3.3-2.

Con la tabla mencionada anteriormente se observa que el valor es $C_l = 1.00$

Teniendo estos dos valores se aplica la siguiente ecuación para encontrar el valor C_F :

$$C_F = C_d * C_l$$

Ecuación 47 - G.3.3-3 (NSR-10)

$$C_F = 1.15 * 1.00 = 1.15$$

8.1.1.2.6. Coeficiente de modificación por acción conjunta.

Se debe analizar lo descrito en el numeral^{PPPP} G.2.2.3.5, este elemento cumple con lo descrito en la anotación, por lo anterior $C_r = 1.15$

8.1.1.2.7. Coeficiente de modificación por incisiones.

Si se realiza alguna incisión en el elemento se debe verificar lo descrito en la norma^{QQQQ} y así saber qué valor asignar, para este caso no se realiza ninguna incisión entonces el valor para $C_{in} = 1.00$.

^{MMMM} Página G-20 (NSR-10)

^{NNNN} Página G-18 (NSR-10)

^{OOOO} Página G-28 (NSR-10)

^{PPPP} Página G-20 (NSR-10)

^{QQQQ} Se debe verificar lo descrito en el numeral G.2.2.3.4, página G-20 (NSR-10)

8.1.1.2.8. Coeficiente de modificación por estabilidad lateral de vigas.

Después de lo anterior se encontrara el coeficiente de modificación por estabilidad lateral de vigas (C_L).

Para lo anterior se debe verificar descrito en el numeral^{RRRRR} G.3.3.3.

$h/b > 1$ Para un el caso tenemos $\frac{80}{25} = 3.2 > 1$ por lo cual se debe verificar si de debe proveer un soporte lateral en la zona comprimida del elemento.

Para ello se debe verificar cual condición cumple el elemento a diseñar y compararlo con la Figura^{SSSSS} G.3.3.2.

Como el caso de estudio no se encuentra en ninguna de los ejemplos se debe usar las siguientes formulas:

- Se halla el valor de la longitud efectiva de vigas (l_e):

$$l_e = 1.84 * l_u \text{ cuando } \frac{l_u}{h} > 14.3$$

$$\frac{2500}{80} = 31.25 > 14.3$$

$$l_e = 1.84 * 2500 = 4600 \text{ mm}$$

- Se encuentra la relación de esbeltez (R_B):

$$R_B = \sqrt{\frac{l_e * h}{b^2}} = \sqrt{\frac{4600 * 80}{25^2}} = 24.26 < 50$$

Ecuación 48 - G.3.3-4 (NSR-10)

En donde:

R_B = Parámetro que mide la relación de esbeltez de una viga y debe ser menor a 50.

b = ancho de la viga en mm.

d = altura de la viga en mm.

l_e = Longitud efectiva de la viga en mm.

- Se calcula el esfuerzo admisible de flexión modificado (F_b^*):

$$F_b^* = F_b * C_D * C_m * C_t * C_F * C_{in} * C_r = 28.5 * 1.00 * 0.8 * 1.00 * 1.15 * 1.00 * 1.15 = 30.15 \text{ MPa}$$

- Se encuentra el módulo de elasticidad mínimo modificado E'_{min} :

$$E'_{min} = E_{min} * C_m * C_t = 7130 * 0.8 * 1 = 5704$$

- Se halla F_{bE} :

$$F_{bE} = \frac{1.20 * E'_{min}}{R_B^2} = \frac{1.20 * 5704}{24.26^2} = 11.62 \text{ MPa}$$

Ecuación 49 - G.3.3-6 (NSR-10)

En donde:

F_{bE} = Esfuerzo de flexión crítico, en MPa.

E'_{min} = Modulo de elasticidad mínimo modificado, en MPa.

R_B = Relación de esbeltez de la viga.

- Por último se encuentra el coeficiente de estabilidad lateral:

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

Ecuación 50- G.3.3-5 (NSR-10)

$$C_L = \left(\frac{1 + 11.62/30.15}{1.9} \right) - \sqrt{\left(\frac{1 + 11.62/30.15}{1.9} \right)^2 - \left(\frac{11.62/30.15}{0.95} \right)} = 0.374$$

Por lo cálculos realizados anteriormente el esfuerzo admisible para la flexión será:

$$F'_b = 28.5 * 1 * 0.8 * 1 * 1.15 * 1 * 1.15 * 0.374 = 11.27 \text{ MPa}$$

8.1.1.3. Momento resistente.

Con los coeficientes encontrados anteriormente se procede a realizar el cálculo del momento resistente en una sección rectangular, el cual debe cumplir la siguiente condición:

$$M \leq F'_b * \frac{b * h^2}{6}$$

Ecuación 51 - G.3.2-1 (NSR-10)

En donde:

M = Momento actuante en N-mm.

F'_b = Esfuerzo admisible modificado a flexión.

b, h = Medidas de la sección rectangular en mm

Y el momento resistente de la sección será:

$$F'_b * \frac{b * h^2}{6} = 11.27 * \frac{25 * 80^2}{6} = 300533 \text{ N} - \text{mm}$$

8.1.1.4. Momento actuante.

$$P_U = 112.5 \text{ kg}$$

Para lograr hacer el modelo la carga se descompone en los ejes X y Y del elemento:

$$\text{Eje X} = 112.5 * \cos 60 = 56.25 \text{ kg}$$

$$\text{Eje Y} = 112.5 * \sin 60 = 97.42 \text{ kg}$$

Con esta carga de diseño se elabora el siguiente modelo:

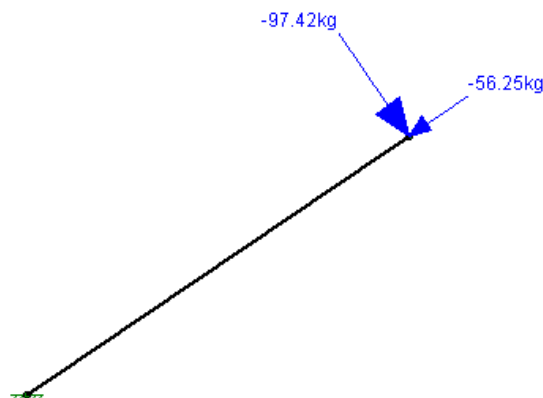


Ilustración 40 – Modelo propuesto

Con el modelo anterior se obtiene el siguiente diagrama de momento [Kgf-m]

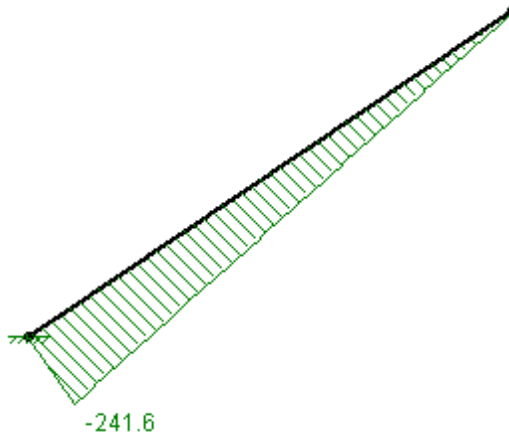


Ilustración 41 - Diagrama de momentos actuantes [Kgf-m]

Para efectos del uso de la formula el momento máximo (M) será de:

$$M=23642.1 \text{ N-mm}$$

Se encuentra que:

$$23642.1 \text{ N-mm} < 300533 \text{ N-mm}$$

Como podemos ver el momento actuante es menor que el momento resistente por lo que este elemento se mantendrá estable cuando se le aplique la carga de diseño.

8.1.1.5. Esfuerzo cortante actuante.

Para este diseño se debe verificar que este elemento resista el esfuerzo cortante paralelo a las fibras (f_v) lo cual se hará de la siguiente manera:

$$f_v = \frac{3 * V}{2 * b * h} \leq F'_v$$

Ecuación 52 - G.3.4-1 (NSR-10)

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, h =Dimensiones de la sección rectangular en mm.

Teniendo en cuenta lo anterior se debe conocer el diagrama de cortante que rige el elemento a diseñar:

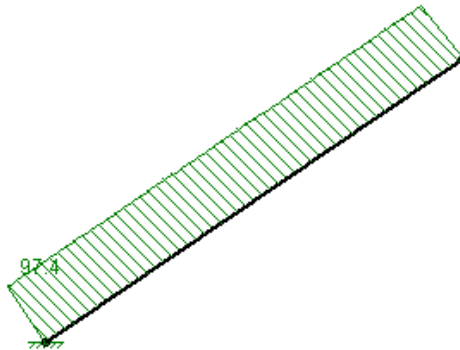


Ilustración 42 - Diagrama de cortante actuantes [Kgf]

Como se puede observar en el diagrama anterior el cortante que es de interés será el máximo el cual es **$V=955.494 \text{ N}$**

Luego se pasa a calcular el esfuerzo cortante actuante:

$$f_v = \frac{3 * 955.494}{2 * 25 * 80} = 0.716 \text{ N}$$

8.1.1.6. Esfuerzo cortante admisible modificado.

Se encuentra el valor para el esfuerzo cortante admisible modificado, el cual se hará de la siguiente manera:

$$F'_v = F_v * C_D * C_m * C_t * C_r = 2 * 1.00 * 0.8 * 1.00 * 1.15 = 1.84 \text{ MPa}$$

Para encontrar cada uno de estos factores se deben revisar las tablas correspondientes, las cuales son las mismas que se usaron para hallar los factores del esfuerzo admisible a flexión modificado, pero se debe tomar los valores que corresponde al cortante.

Con lo anterior se sabe que:

$$0.716 \text{ MPa} < 1.84 \text{ MPa}$$

Con esto se sabrá que el elemento resiste la cortante a la que se ve sometida por la carga de diseño.

8.1.1.7. Esfuerzo de aplastamiento.

Para realizar la verificación de aplastamiento se debe cumplir la siguiente desigualdad:

$$f_p = \frac{N}{A_n} \leq F'_\theta$$

Ecuación 53 - G.3.5-1 (NSR-10)

En donde:

f_p = Esfuerzo de aplastamiento en MPa.

F'_θ = Esfuerzo admisible modificado a compresión para un ángulo θ , en MPa.

N = Fuerza axial actuante perpendicular a la fibra en N.

A_n = Área neta de aplastamiento en mm^2 .

Teniendo en cuenta lo anterior se debe conocer las fuerzas perpendiculares a la fibra que rige nuestro elemento a diseñar:

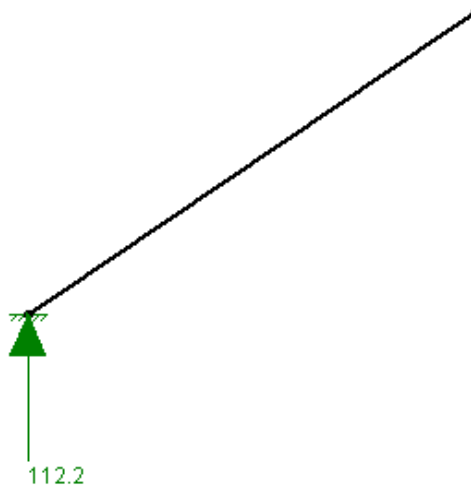


Ilustración 43 - Reacciones en apoyos [Kg]

Del modelo anterior se conocen las fuerzas actuantes pero no se encuentran orientadas perpendiculares a la fibra por lo cual se verifica cual es la mayor y se halla su componente:

$$\text{Eje Y: } 112.2 * \cos 34 = 95.21 \text{ kg} = 934.00 \text{ N}$$

El área neta de aplastamiento se definirá de la siguiente manera:

$$A_n = b * h = 25 * 80 = 2000 \text{ mm}^2$$

Por lo cual:

$$f_p = \frac{N}{A_n} = \frac{934.00}{2000} = 0.467 \text{ Mpa}$$

8.1.1.8. Esfuerzo admisible modificado a compresión perpendicular a la fibra.

Además de lo anterior se debe conocer el esfuerzo de admisible modificado a compresión perpendicular a la fibra, lo cual se hará de la siguiente manera:

$$F'_p = F_p * C_m * C_b$$

Para el cálculo del factor C_b se debe proceder de la siguiente manera:

$$C_b = \frac{l_b + 9.53}{l_b}$$

Ecuación 54 - G.3.5-2 (NSR-10)

En donde:

l_b = Longitud del apoyo en mm, medida a lo largo de la fibra de la madera.

$$C_b = \frac{80 + 9.53}{80} = 1.12$$

Aplicando los factores correspondientes se tiene lo siguiente:

$$F'_p = F_p * C_m * C_b = 4.3 * 0.8 * 1.12 = 3.85 \text{ MPa}$$

8.1.1.8.1. Factor de compresión modificado

Para hallar el factor de compresión modificado se realizan los siguientes cálculos:

- **Coeficiente de estabilidad en columnas**

Para encontrar este factor se realizaran una serie de pasos los cuales se describen a continuación:

Se calcula la longitud efectiva (l_e)

$$l_e = k_e * l_u$$

Ecuación 55- G.4.3-1 (NSR-10)

En donde:

L_e = Longitud efectiva en mm.

K_e = Coeficiente de longitud efectiva.

L_u = Longitud no soportada lateralmente de la columna en la dirección considerada en mm.

Para este caso $l_e=2500\text{mm}$

El coeficiente k_e se deduce de la siguiente tabla^{TTTTT} G.4.3.1.

^{TTTTT} Página G-40 (NSR-10)

En la tabla mencionada anteriormente se observa que el k_e que más se asemeja a este caso será el descrito en el caso 5 y se toma el K_{e2} pues las condiciones locales son aproximadas a las que se plantean en la tabla, con ello $k_e=1.5$; con lo anterior se tiene que:

$$l_e = 1.5 * 2500 = 3750 \text{ mm}$$

Para este caso de estudio el $l_e = l_1 = l_2$

- El siguiente paso será encontrar la relación de esbeltez (λ) la cual será definida por la tabla^{UUUUU} G.4.3-2 de ahí se extrae la siguiente formula:

$$\lambda = \frac{l_{e1,2}}{h}$$

Ecuación 56- Formula de esbeltez

En donde:

λ =Medida de esbeltez. Debe ser $\lambda \leq 50$, excepto durante la construcción que podría ser $\lambda \leq 75$

l_e =Longitud efectiva de la columna en la dirección considerada, en mm.

h =Dimensiones de la sección transversal en la dirección considerada, en mm.

Para este caso $h=80$ mm

Con lo anterior se encuentra que:

$$\lambda = \frac{l_e}{h} = \frac{3750}{80} = 46.87$$

- Otros parámetros que se deben definir son el esfuerzo critico (F_{CE}) y el valor del coeficiente valorizado (C) los cuales se encuentran en la tabla^{VVVVV} G.4.3-3

Teniendo en cuenta la tabla referenciada anteriormente el valor para **C=0.8**.

Por otra parte el esfuerzo crítico se define por la siguiente formula:

$$F_{CE} = \frac{0.822 * E'_{min}}{\lambda^2}$$

Ecuación 57- Esfuerzo critico

En donde:

F_{CE} = Esfuerzo critico de pandeo para elementos en compresión, MPa.

E'_{min} =módulo de elasticidad mínimo modificado, en MPa.

λ =Parámetro de esbeltez para columnas.

- El paso a seguir será calcular el módulo de elasticidad mínimo modificado (E'_{min}) el cual se encuentra en la tabla^{www} G.2.2-2.

$$E_{min} = 7130 \text{ MPa}$$

Este módulo se debe afectar por las correcciones correspondientes:

$$E'_{min} = E_{min} * C_t * C_{in} = 7130 * 1.00 * 1.00 = 7130 \text{ MPa}$$

Para calcular F_{CE} se debe usar la siguiente formula:

$$F_{CE} = \frac{0.822 * E'_{min}}{\lambda^2} = \frac{0.822 * 7130}{46.87^2} = 2.66 \text{ MPa}$$

También se debe calcular el esfuerzo admisible de compresión paralelo al grano (F_c^*) el cual se calcula de la siguiente manera:

$$F_c^* = F_c * C_D * C_m * C_t * C_F * C_{in} * C_r = 22 * 1.00 * 0.8 * 1.00 * 1.15 * 1.00 * 1.15 = 23.27 \text{ MPa}$$

Por último se halla el coeficiente de estabilidad (C_P) el cual se encuentra con la siguiente formula:

$$C_P = \frac{1 + (F_{CE}/F_c^*)}{2 * C} - \sqrt{\left(\frac{1 + (F_{CE}/F_c^*)}{2 * C}\right)^2 - \frac{F_{CE}/F_c^*}{C}}$$

Ecuación 58 - G.4.3-3 (NSR-10)

Aplicando lo anterior se tiene que:

$$C_P = \frac{1 + (2.66/23.27)}{2 * 0.8} - \sqrt{\left(\frac{1 + (2.66/23.27)}{2 * 0.8}\right)^2 - \frac{2.66/23.27}{0.8}} = 0.111$$

Así se podrá encontrar el esfuerzo admisible de compresión modificado (F'_c):

$$F'_c = F_c * C_D * C_m * C_t * C_F * C_{in} * C_r * C_P$$

$$F'_c = 22 * 1.00 * 0.80 * 1.00 * 1.15 * 1.00 * 1.15 * 0.111 = 2.58 \text{ MPa}$$

Se calcula el esfuerzo admisible modificado a compresión para un ángulo Θ (F'_θ) con la siguiente formula:

$$F'_\theta = \frac{F_c^* * F'_p}{F'_c * \sin^2 \theta + F'_p * \cos^2 \theta}$$

Ecuación 59 - (G.3.5-3 NSR-10)

Reemplazando se obtiene:

$$F'_{\theta} = \frac{23.27 * 3.85}{2.58 * \sin^2 56 + 3.85 * \cos^2 56} = 25.56 \text{ MPa}$$

Con lo anterior se puede verificar lo siguiente:

$$0.467 \text{ Mpa} < 25.56 \text{ MPa}$$

Con eso se sabe que el esfuerzo de aplastamiento es menor al esfuerzo admisible modificado a compresión perpendicular a la fibra lo cual indica que nuestra sección no sufrirá aplastamiento en este caso.

- Teniendo en cuenta el modelo observamos que:

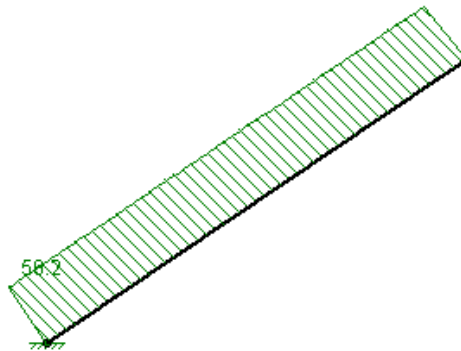


Ilustración 44 - Modelo carga axial (Kg)

Se usa la siguiente fórmula para encontrar el esfuerzo actuante por compresión paralelo a las fibras (f_c)

$$f_c = \frac{P_a}{A_n} = \frac{574.86}{2000} = 0.28 \text{ MPa}$$

En donde:

f_c = Esfuerzo actuante por compresión paralelo a las fibras, en MPa

P_a = Carga actuante en la columna en N.

A_n = Área neta de la columna en mm^2 .

8.1.1.8.2. Verificación para elementos sometidos a cargas combinadas de flexión y compresión.

Se calcula el esfuerzo crítico de compresión con respecto al eje 1 con la siguiente formula:

$$f_c < F_{cE1} = \frac{0.822 * E'_{min}}{(l_{e1}/h_1)^2}$$

Ecuación 60 - G.5.2-2 (NSR-10)

En donde:

F_{cE1} = Esfuerzo critico de compresión con respecto al eje 1.

f_c = Esfuerzo actuante por compresión paralelo a las fibras, en MPa.

L_{e1} = longitud efectiva en 1

h_1 = dimensión de la cara ancha altura (h) en mm

E'_{min} = módulo de elasticidad mínimo longitudinal modificado en MPa.

Reemplazando los valores se tiene que:

$$0.28 < F_{cE1} = \frac{0.822 * 5704}{(2500/80)^2} = 4.80$$

Para que el elemento sea óptimo debe cumplir la siguiente relación:

$$\left(\frac{f_c}{F'_c}\right)^2 + \frac{f_{b1}}{F'_{b1}(1 - (f_c/F_{cE1}))} \leq 1$$

Ecuación 61- G.5.2.1 (NSR-10)

En donde:

f_c = Esfuerzo actuante por compresión paralelo a las fibras, en MPa.

F'_c = Esfuerzo admisible a compresión paralela, modificado, en MPa.

f_b = Esfuerzo de flexión actuante por carga colocada en la cara angosta del miembro, en MPa.

F'_b = Esfuerzo admisible modificado a flexión por la cara angosta del miembro, en MPa.

F_{cE1} = Esfuerzo critico de compresión con respecto al eje 1.

Reemplazando los valores se halla que:

$$\left(\frac{0.28}{2.58}\right)^2 + \frac{0.088}{11.27 * (1 - (0.28/4.08))} = 0.02 \leq 1$$

Con lo anterior se comprueba que la sección chequea.

8.1.1.9. Acortamiento de elementos a compresión

Para conocer el acortamiento de los elementos sometidos a una carga axial de compresión se usa la siguiente formula:

$$\Delta dc = \frac{P * l_u}{A_n * E'_{0.5}}$$

Ecuación 62 -G.4.5-1 (NSR-10)

En donde:

Δdc = Acortamiento en el sentido paralelo a las fibras, en mm.

P = Carga axial actuante en N.

L_u = Longitud no soportada de la columna en mm.

A_n = Área neta de la sección de la columna en mm².

$E'_{0.5}$ = Modulo de elasticidad $E_{0.5}$ modificado paralelo a las fibras MPa.

Para el cálculo del módulo de elasticidad modificado paralelo a las fibras se usa la tabla^{xxxxx} G.2.2-2.

Teniendo en cuenta la tabla mencionada anteriormente se toma el modulo correspondiente al tipo de madera y se afecta por los diferentes factores encontrando la siguiente ecuación:

$$E'_{0.5} = E_{0.5} * C_m * C_t * C_{in} = 18000 * 0.80 * 1.00 * 1.00 = 14400 \text{ MPa}$$

Después de realizar el cálculo anterior se procede a encontrar el acortamiento en el sentido paralelo a las fibras:

$$\Delta dc = \frac{P * l_u}{A_n * E'_{0.5}} = \frac{1103.62 * 2500}{2000 * 14400} = 0.0095 \text{ mm}$$

Podemos observar que el acortamiento de la columna no afectara significativamente a la estructura así que se puede despreciar dándole al elemento una funcionalidad óptima.

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Los diseños estructurales en madera se deben realizar paso a paso puesto que cada una de las variables tratadas por la norma garantizan el buen desempeño de la estructura.
- Los procedimientos descritos en la norma son aplicables siempre que se conozca el comportamiento de la madera, desde su producción, de ello depende mucho el comportamiento que esta tenga como elemento estructural.
- Los coeficientes que afectan a la madera son sumamente susceptibles a generar cambios en el resultado final del diseño, por ello se deben tratar con sumo cuidado para evitar errores.
- Antes de comenzar a realizar un diseño estructural en madera se debe tener un conocimiento previo si el elemento a diseñar es posible realizarlo, lo anterior se plantea conociendo que la madera presenta algunas limitaciones que depende principalmente de la orientación del grano con respecto a las cargas que se le aplican.
- Para una mayor claridad de lo que se va a realizar se deben elaborar esquemas que definan claramente cuales son cada uno de los factores que componen cada una de las diferentes ecuaciones.
- A la hora de elaborar los diferentes modelos con los cuales se trabajaran en el diseño se debe verificar que el comportamiento del elemento es el más idóneo, si no es así, se podría caer en errores que comprometen la estabilidad de la estructura.
- Para la elaboración de este tipo de documentos se debe contar con un texto paralelo el cual sirva como guía y se logre estructurar de la misma manera logrando una mejor comprensión para el lector.
- Cabe resaltar que para la realización de estos casos de estudio u otros similares se debe contar con conocimientos previos sobre el diseño estructural, ya que sin ellos, es imposible conocer el comportamiento de los elementos estructurales, por ello se recomienda que este documento sea estudiado con la profundidad que merece y tomando siempre como base la norma de sismo resistencia colombiana NSR-10.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Norma NSR-10 título G
- Pacto intersectorial de la madera, 2011- Bogotá.
- Arroyave Jiménez, Henao Velazco, 2001-Universidad del Valle, Manual de diseño construcciones en madera NSR-98.
- Construir en madera, Arquitecta-Murillo, IDEADE - Instituto de Estudios Ambientales para el Desarrollo.
- Junta de Cartagena, 1980, Cartilla de la construcción de la madera.
- Perfil Forestal, 2010 PROEXPORT Colombia.
- Grupo andino – junta de Cartagena, 1984, Manual de diseño estructural para maderas.