

Centro UC
de Innovación
en Madera

Introducción a las Normativas Esenciales de Diseño Estructural con Madera: NCh1198 (Diseño) y NCh1989 (Resistencia)

Pablo Guindos

Director del Centro de Innovación en Madera CIM-UC CORMA

Profesor Asistente, Dpto. Ingeniería Estructural y Geotécnica UC,

Dpto. de Ingeniería y Gestión de la Construcción UC

Contenidos

I.- Diseño Estructural con NCh1198 y NCh1989.

II.- Avances que están por llegar.

III.- Conclusiones

Contenidos

I.- Diseño Estructural con NCh1198 y NCh1989.

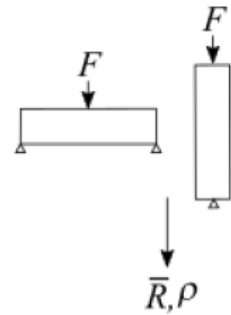
II.- Avances que están por llegar.

III.- Conclusiones

Fundamentos del Diseño con NCh1989 y NCh1198

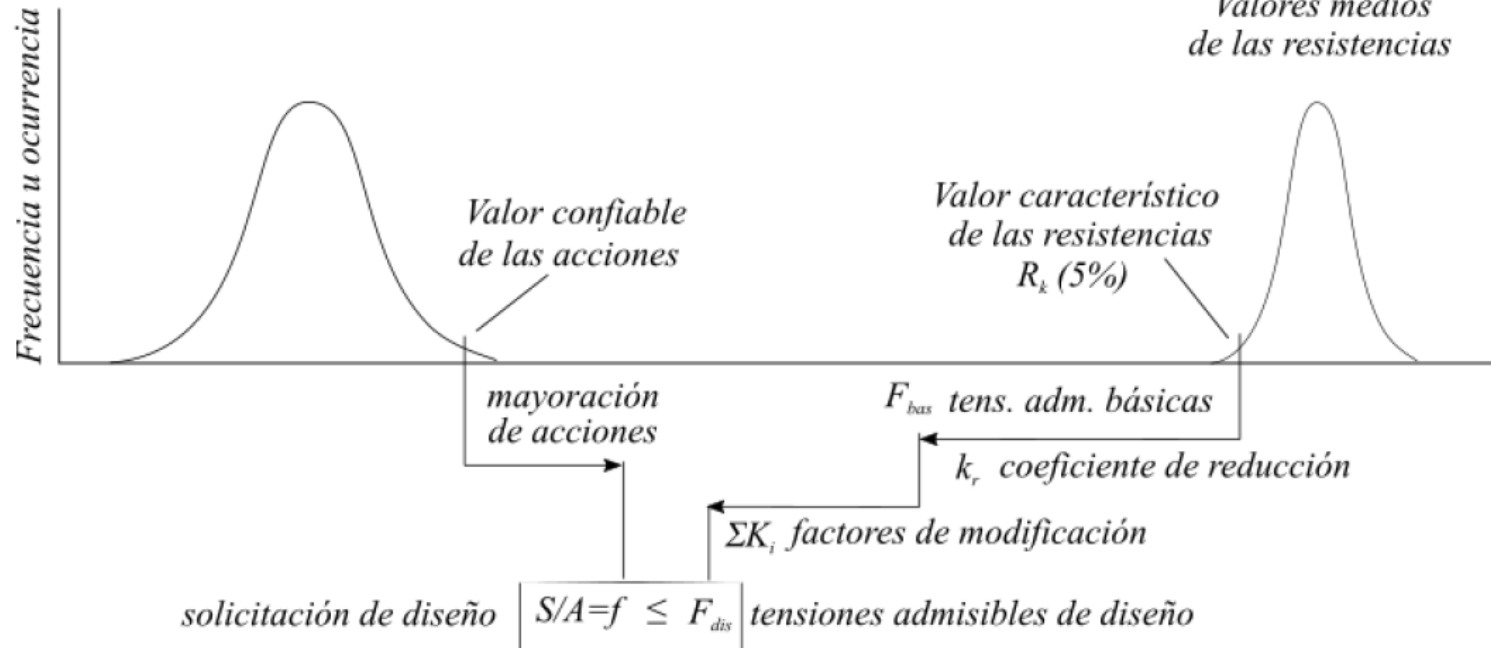
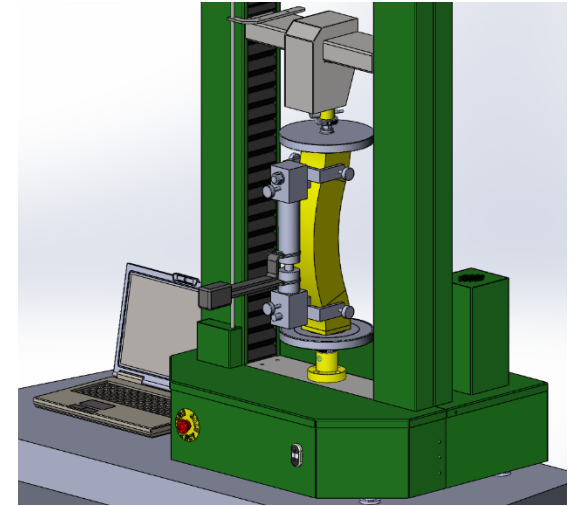
MÉTODO DE LAS TENSIONES ADMISIBLES (ASD)
NCh1198 (Chile), NDS 2015 (EE.UU.)

*Ensayos sobre probetas
limpias y pequeñas*



\bar{R}, ρ

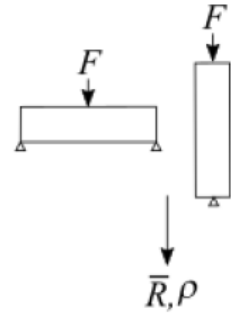
*Valores medios
de las resistencias*



Fundamentos del Diseño con NCh1989 y NCh1198

MÉTODO DE LAS TENSIONES ADMISIBLES (ASD)
NCh1198 (Chile), NDS 2015 (EE.UU.)

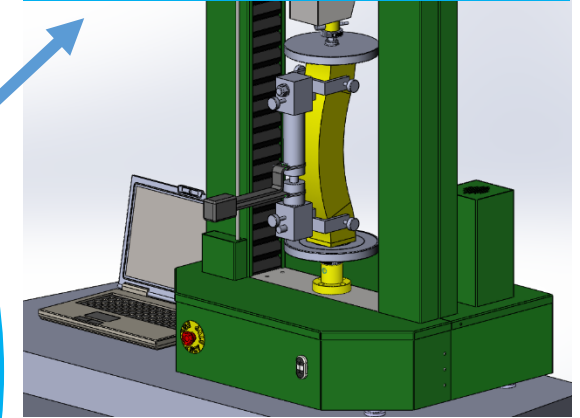
Ensayos sobre probetas
limpias y pequeñas



\bar{R}, ρ

Valores medios
de las resistencias

NCh1989



Valor confiable
de las acciones

Valor característico
de las resistencias
 R_k (5%)

mayoración
de acciones

F_{bas} tens. adm. básicas

k coeficiente de reducción

ΣK_i factores de modificación

solicitud de diseño $S/A = f \leq F_{dis}$ tensiones admisibles de diseño



NCh1198

Fundamentos del Diseño con NCh1989 y NCh1198

NCh1198

NCh1989

$$F/A = f_{\text{dis}} \leq F_{\text{dis}} = F_{\text{bas}} \cdot K_{\text{gen}} \cdot K_{\text{esp}}$$

K_{gen} = Tiempo, Humedad, Temperatura, Tratamiento

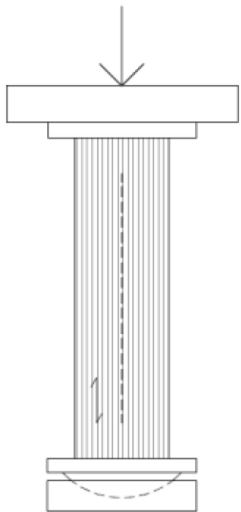
K_{esp} = Pandeo, Concentración de Tensiones, Aplastamiento, etc.



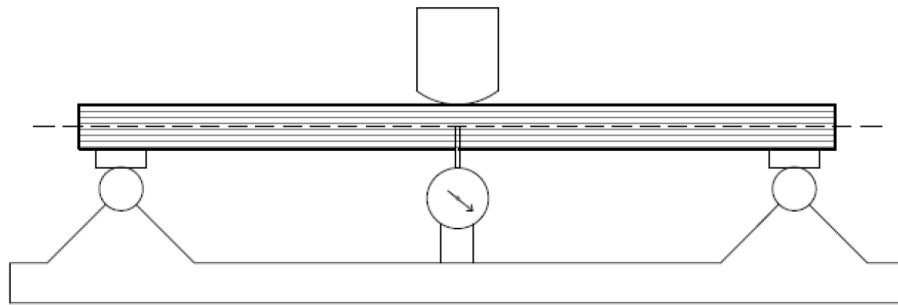
Tensiones Básicas Admisibles

NCh1989: Agrupamiento de Especie

F_{bas}



\overline{R}_c



$\overline{R}_f, \overline{E}_f$

Propiedad	Grupo y valor mínimo en MPa para la media de la propiedad que se indica						
	ES1	ES2	ES3	ES4	ES5	ES6	ES7
\overline{R}_f	130	110	94	78	65	55	45
\overline{E}_f	19 860	16 160	13 200	10 250	7 850	6 000	4 150
\overline{R}_c	77	65	55	46	38	32	26

Grupo determinado según			Asignación final
\overline{R}_f	\overline{E}_f	\overline{R}_c	
x	x	x - 1	x
x	x	x + 1	x
x	x - 1	x	x - 1
x	x + 1	x + 1	x
x	x - 2	x - 1	x - 1
x	x + 2	x + 1	x + 1
x	x + 1	x	x

Tensiones Básicas Admisibles

NCh1198: Asignación Tensión Básica Admisible

F_{bas}

Tabla W.10 Relación entre el agrupamiento de especies, el grado estructural y la clase estructural - Madera en estado seco

Clasificación visual		Agrupamiento de especies						
Grado estructural ^{*)}	Razón de resistencia	ES1	ES2	ES3	ES4	ES5	ES6	ES7
		Clase estructural						
Nº1	0,60	F34	F27	F22	F17	F14	F11	F8
Nº2	0,38	F22	F17	F14	F11	F8	F7	F5

*) Grados estructurales definidos en NCh1207 y NCh1970.

Tabla W.7 Todas las especies, excepto el Pino radiata, Pino ponderosa, Pino Oregón, Eucaliptus nitens, Raulí y Lenga

Clase estructural	Tensiones admisibles de				Módulo de elasticidad en flexión
	Flexión	Compresión paralela	Tracción paralela	Cizalle	
	F_f	F_{cp}	F_{tp}	F_{cz}	E_f
F 34	34,5	26,0	20,7	2,45	18 150
F 27	27,5	20,5	16,5	2,05	15 000
F 22	22,0	16,5	13,2	1,70	12 600
F 17	17,0	13,0	10,2	1,45	10 600
F 14	14,0	10,5	8,4	1,25	9 100
F 11	11,0	8,3	6,6	1,05	7 900
F 8	8,6	6,6	5,2	0,86	6 900
F 7	6,9	5,2	4,1	0,72	6 100
F 5	5,5	4,1	3,3	0,62	5 500
F 4	4,3	3,3	2,6	0,52	5 000
F 3	3,4	2,6	2,0	0,43	4 600
F 2	2,8	2,1	1,7	0,36	4 350

Nota: P. Radiata, P. Oregón, E. Nitens y Lenga asignan F_{bas} directa según clasific visual o mecánica

Resumen de Factores de Modificación

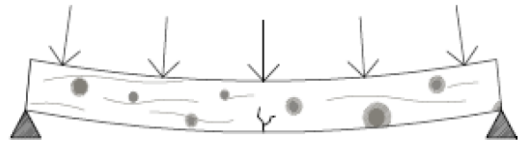
Variable		Consideración en la normativa chilena
Variables físicas	Temperatura	K_T y K_{UT}
	Humedad	H_C , H_S , K_H y K_{UH}
	Densidad	Indirecta. Tensión aplastamiento y tracción perpendicular. Clasificación mecánica, agrupación especies.
Volumen		K_{bf} y K_V
Tiempo	Duración de carga	K_D
	Creep	ρ
	Relajación	Ninguna
	Fatiga	Ninguna
Anatomía	Envejecimiento	Ninguna
	Defectos	Clasificación Visual
Durabilidad	Madera juvenil	No explícita
	Pudrición y degradación	Ninguna
Ángulo de aplicación de carga	Tratamientos químicos	K_Q
Colaboración y redundancia		Fórmula de Hankinson
Inestabilidad		K_C
	Pandeo	K_λ
	Vuelco lateral	K_{λ_v}

Variable		Consideración en la normativa chilena
Concentración de tensiones	Rebajes	K_r , K_{ri} y K_{rs}
	Perforaciones	K_{ct}
	Compresión perpendicular	K_{cn}
Efectos propios de uniones	Hilera	K_u
	Penetración	K_{pct} y K_{ce}
	Espaciamiento	K_{sc}
Efectos propios MLE	Excentricidad	K_{Ue}
	Curvatura	K_{cl}
Efectos propios piezas curvas	Devastado	K_d
	Tratamiento	K_{pv}
	Estado seco	K_s

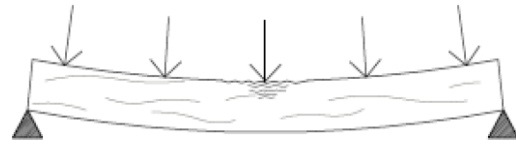
$$K_{gen} \cdot K_{esp}$$

Ejemplo de Aplicación: Vigas en Flexión

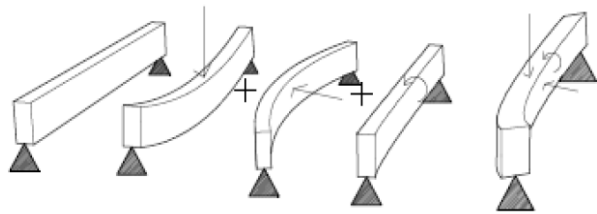
$$F/A = f_{\text{dis}} \leq F_{\text{dis}} = F_{\text{bas}} \cdot K_{\text{gen}} \cdot K_{\text{esp}}$$



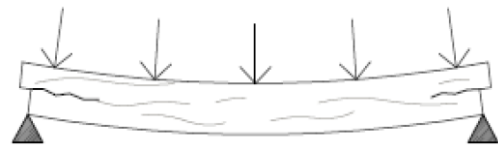
1) Fallo en borde flexo-traccionado



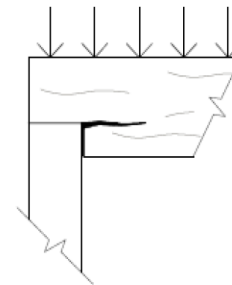
2) Fallo en borde flexo-comprimido



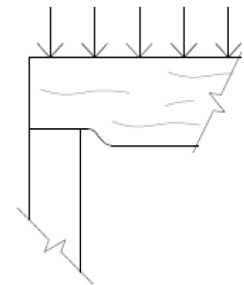
3) Inestabilidad por vuelco lateral-torsional



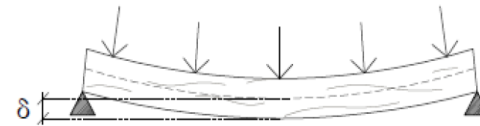
4) Fallo de cortante longitudinal



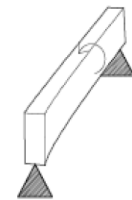
5) Fallo de corte y tracción perpendicular en rebaje



6) Fallo por compresión perpendicular u oblicua



7) Deflexión excesiva (instantánea y diferida)



8) Torsión

Verificaciones NCh1198

Madera Aserrada

$$F/A = f_{dis} \leq F_{dis} = F_{bas} \cdot K_{gen} \cdot K_{esp}$$

Madera Aserrada												
ASD		ASD & LRFD										
Duración de la Carga 6.1.2	Contenido de Humedad 6.1.1	Efecto de Temperatura Anexo H	Tratamiento Químico 6.1.5 + Anexo I	Trabajo Conjunto 6.1.3	Efecto de la Altura 7.2.2.3	Efecto de la Altura 7.2.4	Efecto del Volcamiento 7.2.2.4 + 7.2.2.5	Rebaje en Apoyos 7.2.3.5	Efecto de la Esbeltez 7.3.2.3	Concentración de Tensiones 7.4.3	Aplastamiento 7.5.3	
$F_{ft,dis} = F_f \times$	K_D	K_H	K_T	K_Q	K_C	K_{hf}	-	-	-	-	-	-
$F_{fv,dis} = F_f \times$	K_D	K_H	K_T	K_Q	K_C	-	-	$K_{\lambda V}$	-	-	-	-
$F_{cz,dis} = F_{cz} \times$	K_D	K_H	K_T	K_Q	-	-	-	K_r	-	-	-	-
$F_{cp,dis} = F_{cp} \times$	K_D	K_H	K_T	K_Q	-	-	-	-	K_{λ}	-	-	-
$F_{tp,dis} = F_{tp} \times$	K_D	K_H	K_T	K_Q	-	K_{hf}	-	-	-	K_{ct}	-	-
$F_{cn,dis} = F_{cn} \times$	-	K_H	K_T	K_Q	-	-	-	-	-	-	K_{cn}	-
$E_{dis} = E_{fk} \times$	-	K_H	K_T	K_Q	-	-	K_{hE}	-	-	-	-	-

Verificaciones NCh1198

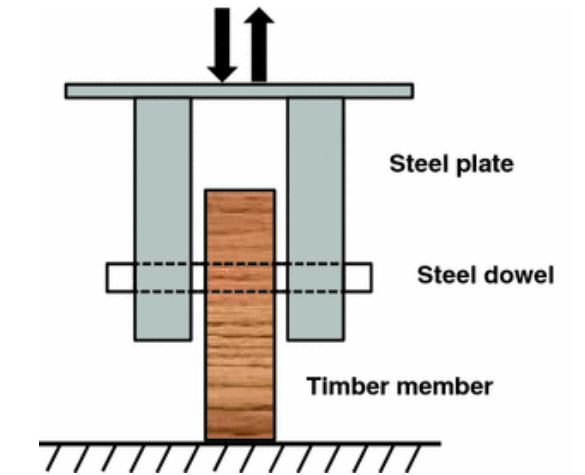
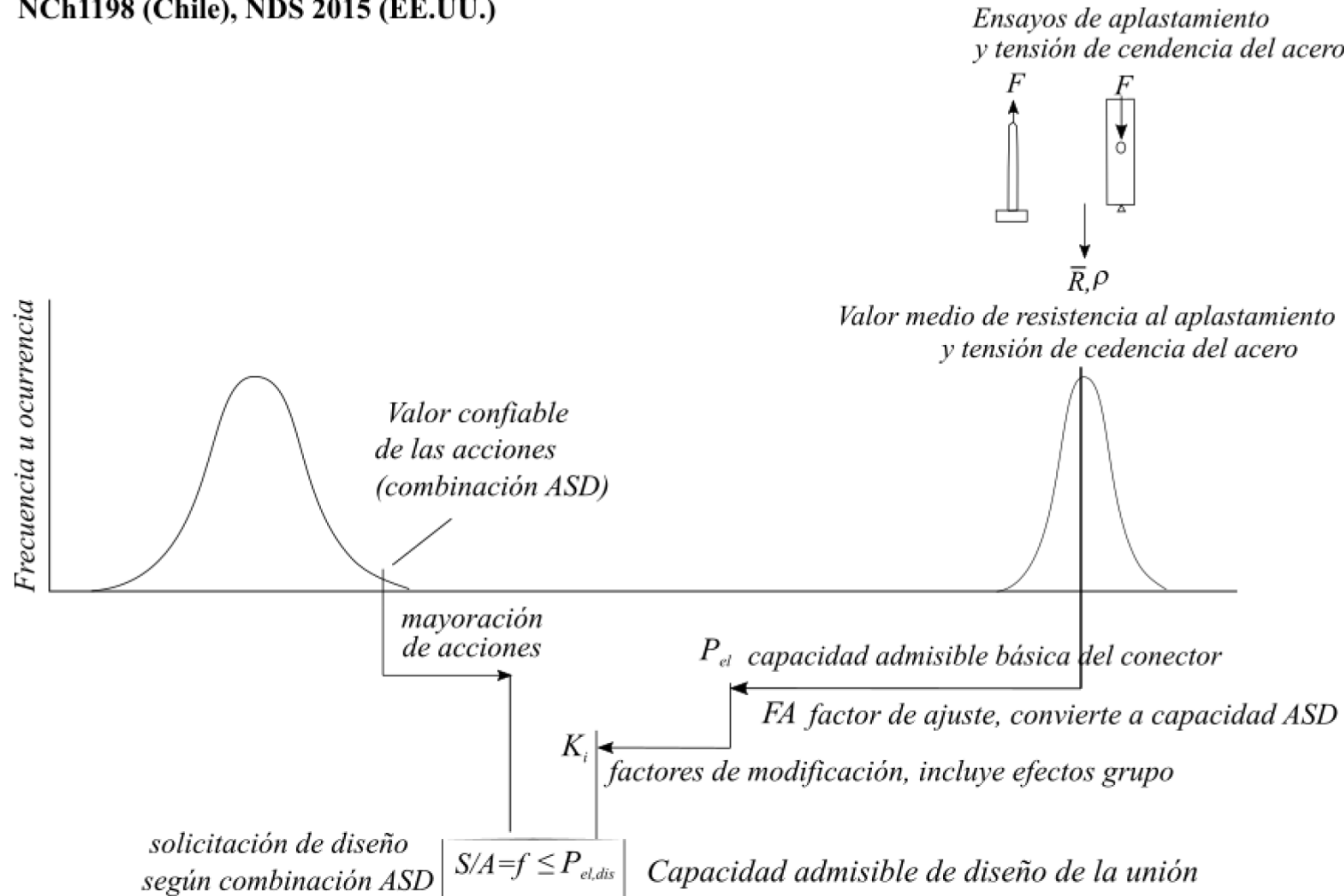
Madera Laminada Encolada

$$F/A = f_{dis} \leq F_{dis} = F_{bas} \cdot K_{gen} \cdot K_{esp}$$

Madera Laminada Encolada												
ASD		ASD & LRFD										
Duración de la Carga 6.1.2	Contenido de Humedad con $H_s \geq 16\%$	Efecto de Temperatura Anexo H	Tratamiento Químico 6.1.5 + Anexo I	Efecto de Curvatura 10.7.3 (si aplica)	Efecto de la Altura 10.3.1.4	Estado Tensional Complejo si aplica	Tensiones Perpendiculares si aplica	Efecto de la Altura 7.2.4	Efecto del Volcamiento 10.3.1.2 + 7.2.2.4	Efecto de la Esbeltez 10.3.1.3 + 7.3.2.3	Concentración de Tensiones 7.4.3	
$F_{ft,dis} = F_f \times$	K_D	K_H	K_T	K_Q	K_{cl}	K_V	k_{pt}	k_f	-	-	-	-
$F_{fc,dis} = F_f \times$	K_D	K_H	K_T	K_Q	K_{cl}	-	k_{pt}	-	-	$K_{\lambda V}$	-	-
$F_{cz,dis} = F_{cz} \times$	K_D	K_H	K_T	K_Q	K_{cl}	-	-	-	-	-	-	-
$F_{cp,dis} = F_{cp} \times$	K_D	K_H	K_T	K_Q	K_{cl}	-	-	-	-	-	K_{λ}	-
$F_{tp,dis} = F_{tp} \times$	K_D	K_H	K_T	K_Q	K_{cl}	K_V	-	-	-	-	-	K_{ct}
$F_{cn,dis} = F_{cn} \times$	-	K_H	K_T	K_Q	K_{cl}	-	-	-	-	-	-	-
$E_{dis} = E \times$	-	K_H	K_T	K_Q	-	-	-	-	K_{hE}	-	-	-

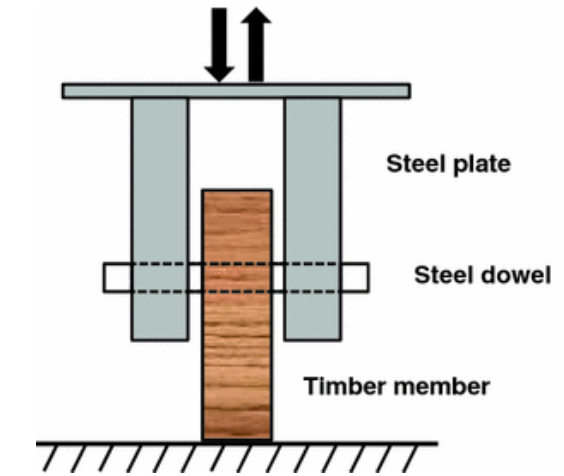
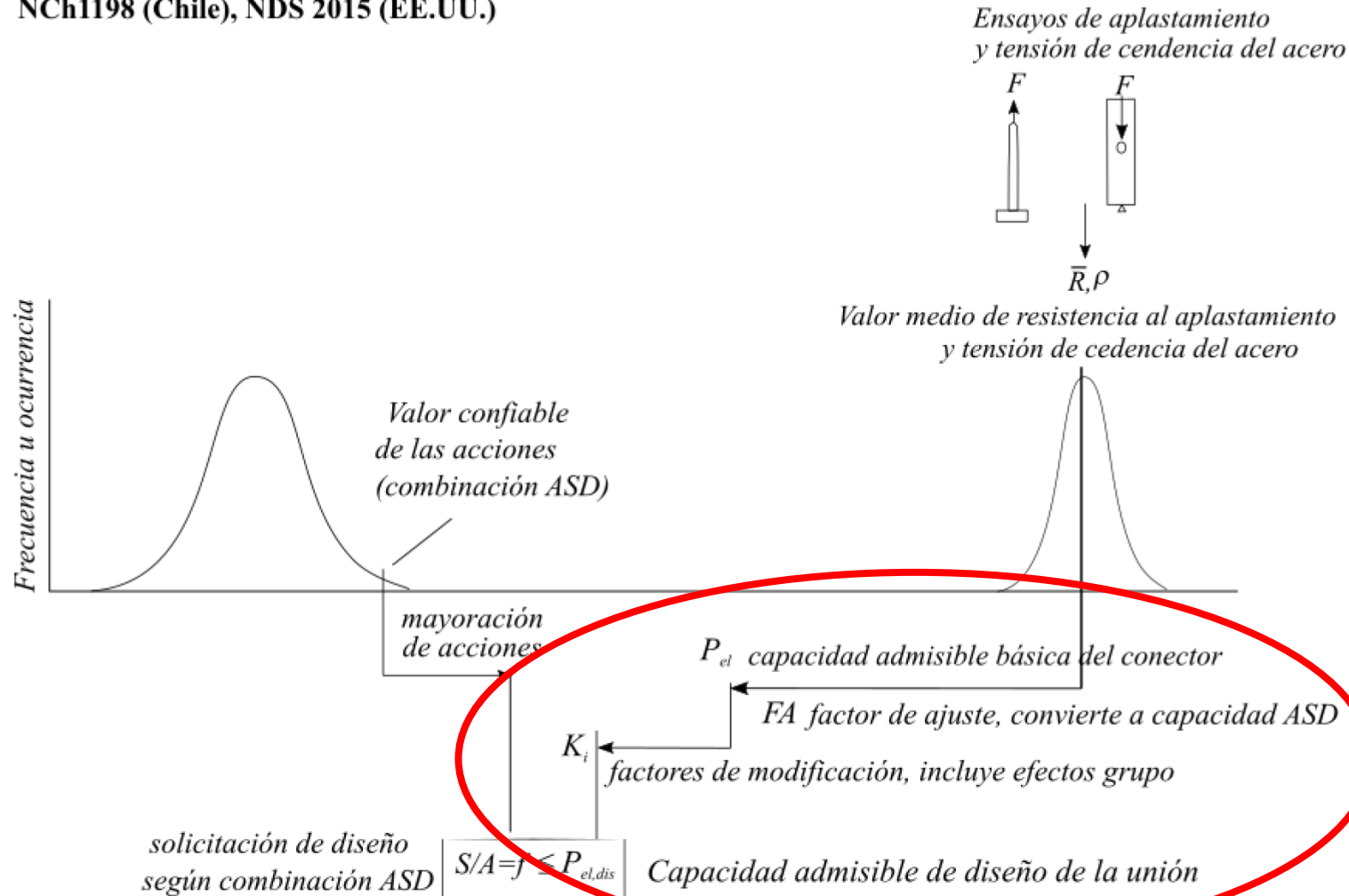
Diseño de Uniones con NCh1198

MÉTODO DE LAS TENSIONES ADMISIBLES (ASD)
NCh1198 (Chile), NDS 2015 (EE.UU.)



Diseño de Uniones con NCh1198

MÉTODO DE LAS TENSIONES ADMISIBLES (ASD)
NCh1198 (Chile), NDS 2015 (EE.UU.)



NCh1989

Diseño de Uniones con NCh1198

NCh1198: Verificación Conectores

$$F_{\text{dis}} \leq P_{\text{dis}} = P_{\text{bas}} \cdot K_{\text{gen}} \cdot K_{\text{esp}}$$

K_{gen} = Tiempo, Humedad, Temperatura, Efectos de Grupo

K_{esp} = Solo en casos muy especiales (Espaciamientos, etc.)

NCh1198: Verificación Madera de Unión

$$F/A = f_{\text{dis}} \leq F_{\text{dis}} = F_{\text{bas}} \cdot K_{\text{gen}} \cdot K_{\text{esp}}$$

K_{gen} = Tiempo, Humedad, Temperatura, Tratamiento

K_{esp} = Pandeo, Concentración de Tensiones, Aplastamiento, etc.

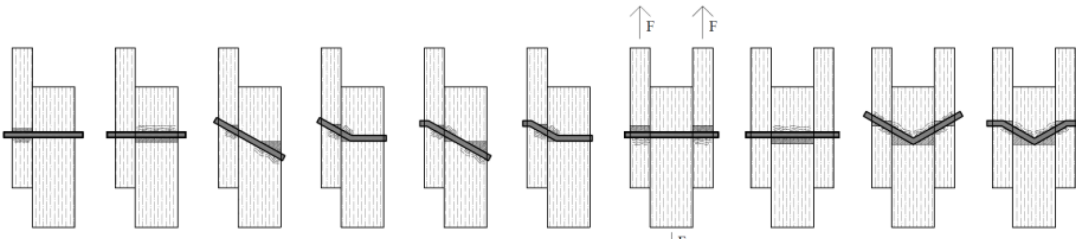


Capacidad Básica de una Unión

NCh1198: Verificación Conectores

P_{bas}

Aplicación Modos de Fallo de Johansen



Modo Ic	Modo I _l	Modo II	Modo III _c	Modo III _l	Modo IV	Modo Ic	Modo I _l	Modo III _l	Modo IV
Modo Ic						Modo Ic			

Modo Ic	$P_{el} = \frac{D \cdot l_c \cdot R_{ap,c}}{FA}$	Modo Ic	$P_{el} = \frac{D \cdot l_c \cdot R_{ap,c}}{FA}$
Modo II	$P_{el} = \frac{D \cdot l_l \cdot R_{ap,l}}{FA}$	Modo II	$P_{el} = \frac{2 \cdot D \cdot l_l \cdot R_{ap,l}}{FA}$
Modo I	$P_{el} = \frac{k_1 \cdot D \cdot l_l \cdot R_{ap,l}}{FA}$		
Modo III _c	$P_{el} = \frac{k_2 \cdot D \cdot l_c \cdot R_{ap,c}}{(1 + 2 \cdot R_e) \cdot FA}$		
Modo III _l	$P_{el} = \frac{k_3 \cdot D \cdot l_l \cdot R_{ap,c}}{(2 + R_e) \cdot FA}$	Modo III _l	$P_{el} = \frac{2 \cdot k_3 \cdot D \cdot l_l \cdot R_{ap,c}}{(2 + R_e) \cdot FA}$
Modo IV	$P_{el} = \frac{D^2}{FA} \sqrt{\frac{2 \cdot R_{ap,c} \cdot F_{ff}}{3 \cdot (1 + R_e)}}$	Modo IV	$P_{el} = \frac{2 \cdot D^2}{FA} \sqrt{\frac{2 \cdot R_{ap,c} \cdot F_{ff}}{3 \cdot (1 + R_e)}}$

Factores de Modificación de una Unión

NCh1198: Factores de Modificación de Uniones

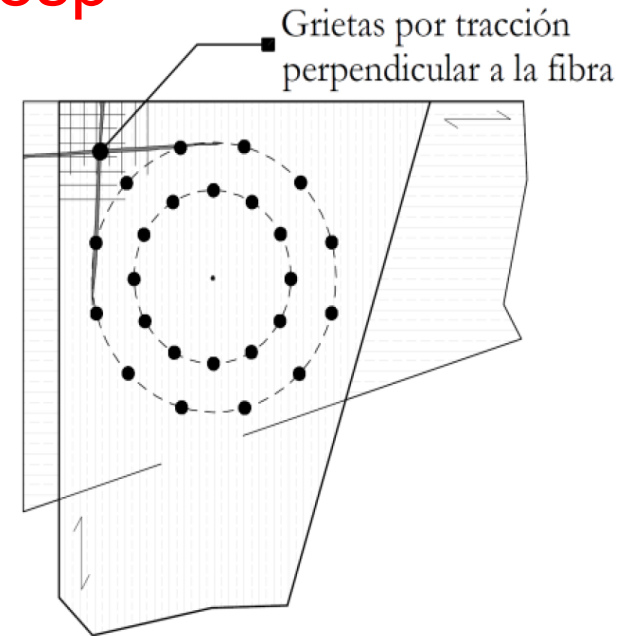
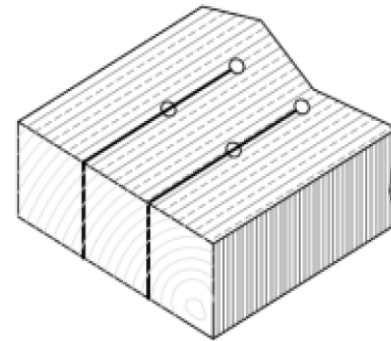
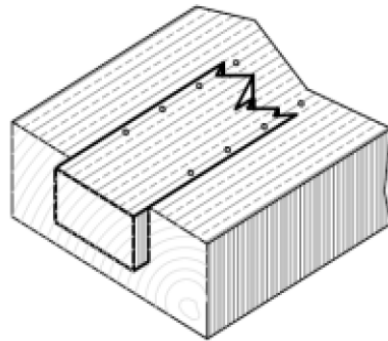
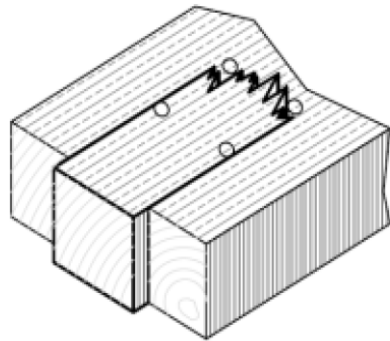
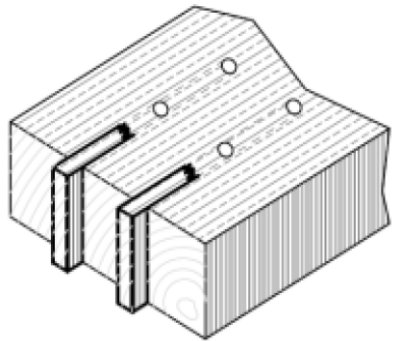
$$K_{gen} \cdot K_{esp}$$

Factor de unión	Determinación
Duración de la carga, K_D	Idéntica a las piezas de madera
Humedad, K_{UH}	Valor unitario a no ser que H_c o/y $H_s > 19\%$, en cuyo caso deben obtenerse en T26, PG 70 .
Temperatura, K_{UT}	Valor unitario a no ser que la unión quede expuesta a temperaturas superiores a 38°C , en cuyo caso deben obtenerse en T27, PG 71 .
Efecto hilera, K_U , Únicamente para la componente de fuerza paralela a la fibra	Valor unitario cuando si $d \leq 6,4$ mm, en caso contrario se aplica: $K_u = \left[\frac{m \cdot (1 - m^{2n})}{n \cdot [(1 + R_{EA} \cdot m^n) \cdot (1 + m) - 1 + m^{2n}]} \right] \cdot \left[\frac{1 + R_{EA}}{1 - m} \right]$

Verificación de la Madera de Unión

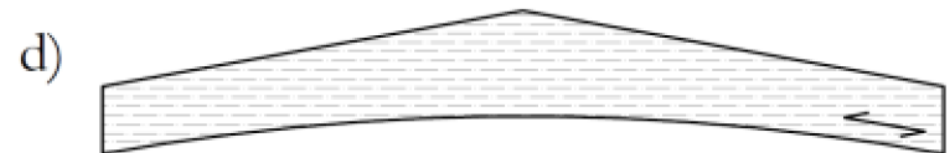
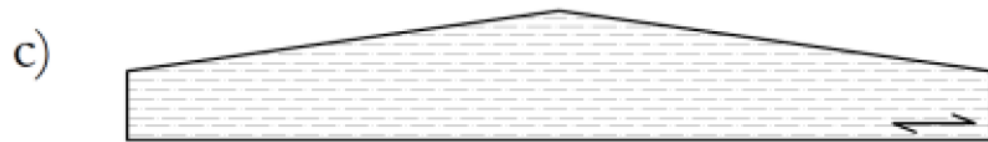
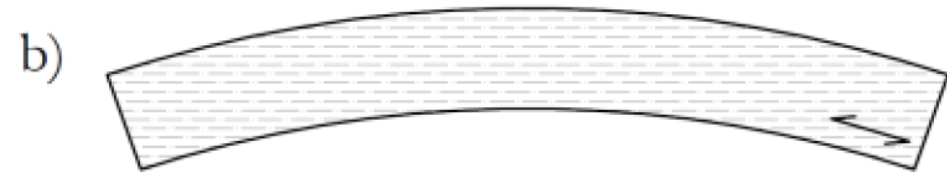
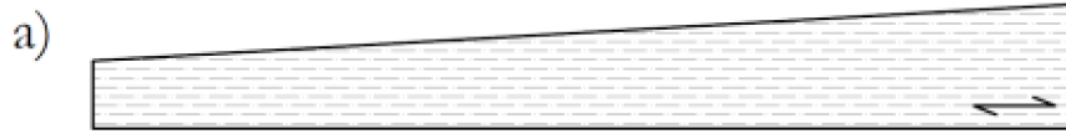
NCh1198: Verificación de la Madera de Unión

N^+ y V $F/A = f_{dis} \leq F_{dis} = F_{bas} \cdot K_{gen} \cdot K_{esp}$



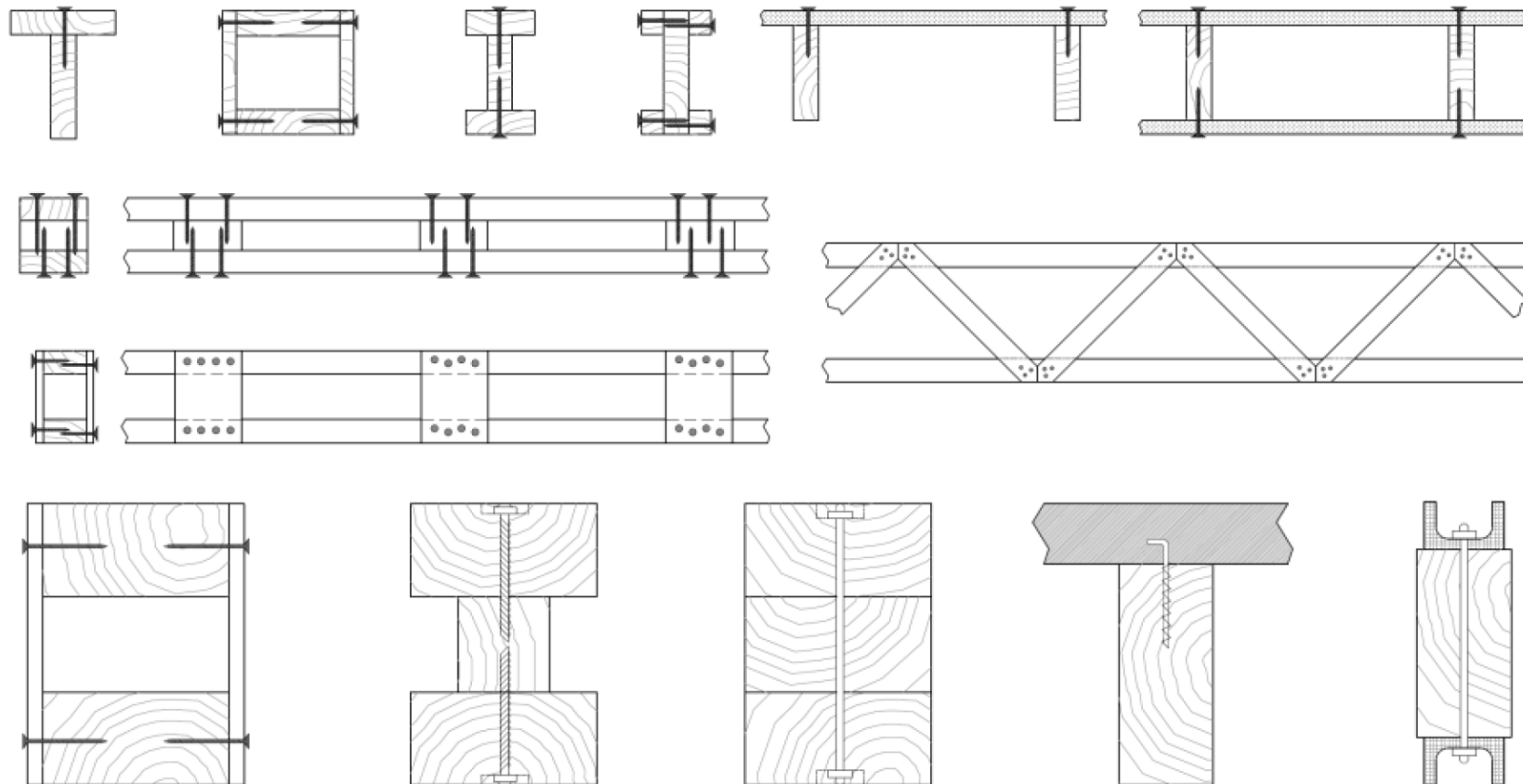
Resumen de Aplicaciones

Vigas y Columnas Simples: Sección Rectangular-Circular, Directriz Recta-Curva, Sección Variable-Constante



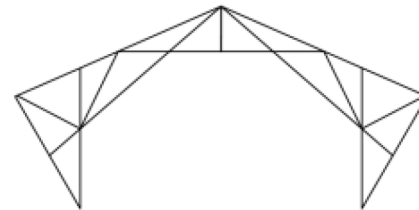
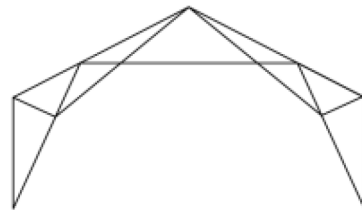
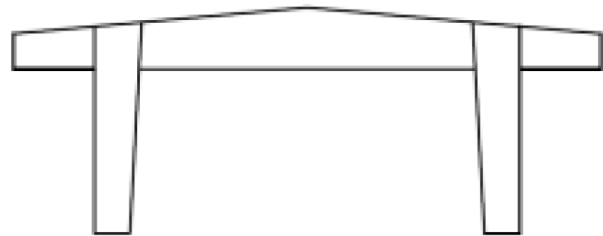
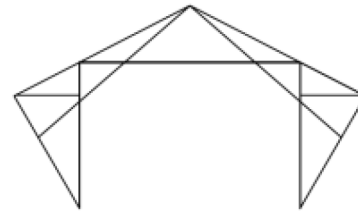
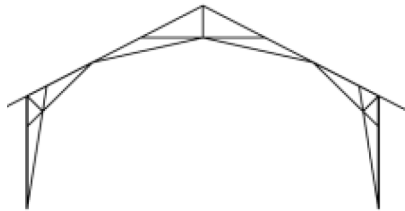
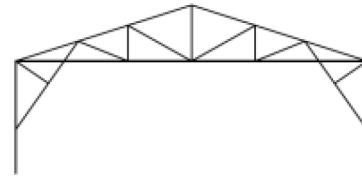
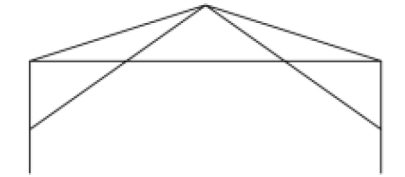
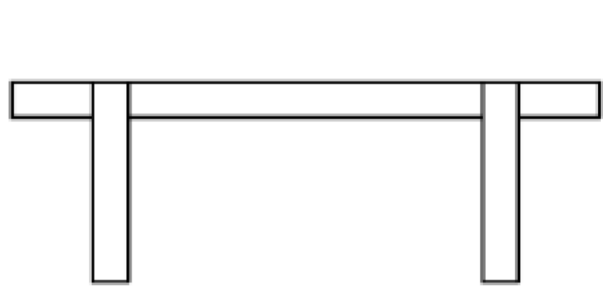
Resumen de Aplicaciones

Vigas y Columnas Compuestas: Vigas y Columnas en Celosía, Vigas/Columnas en I, Cajón, T, etc.

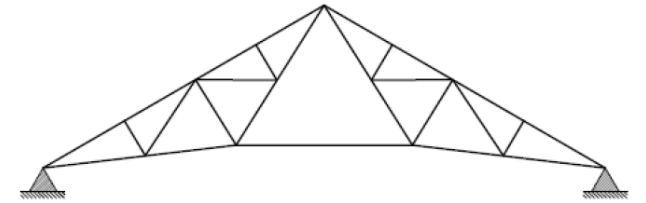


Resumen de Aplicaciones

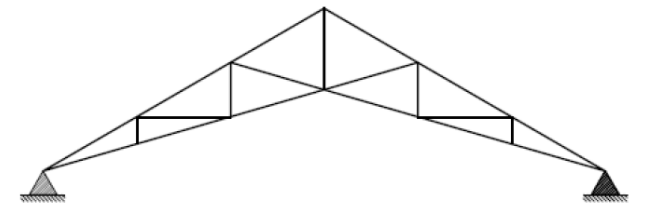
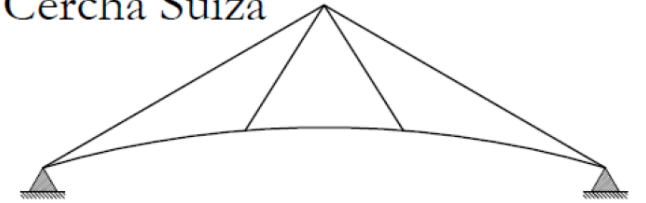
Diseño de Pórticos, Tijerales y Entramados



Cercha Polonceau peraltada

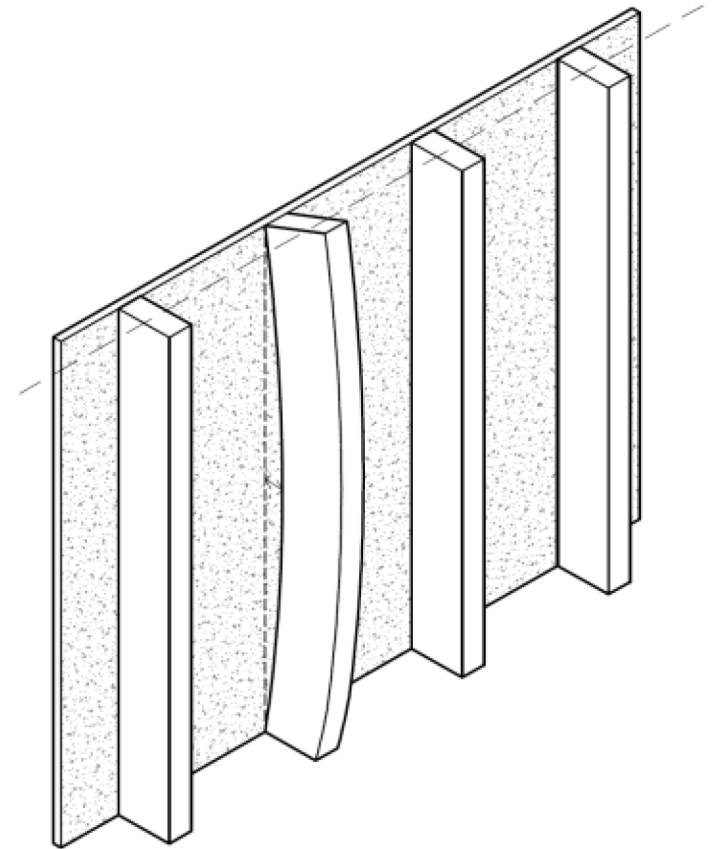
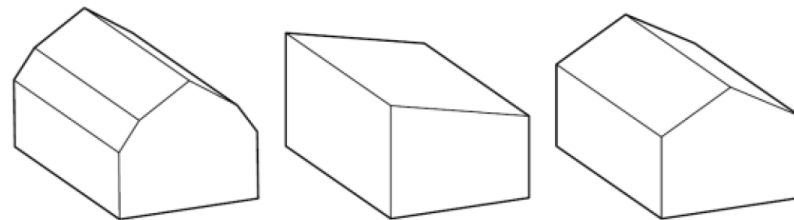
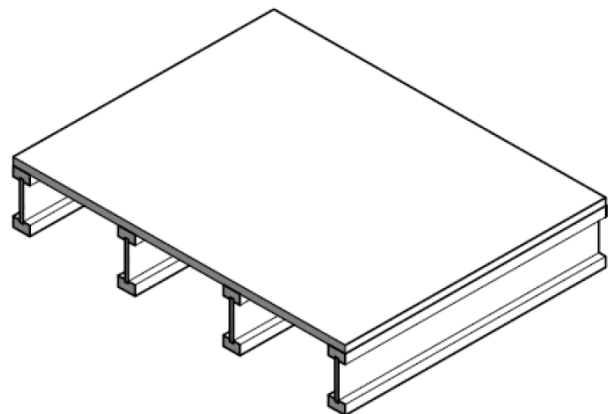
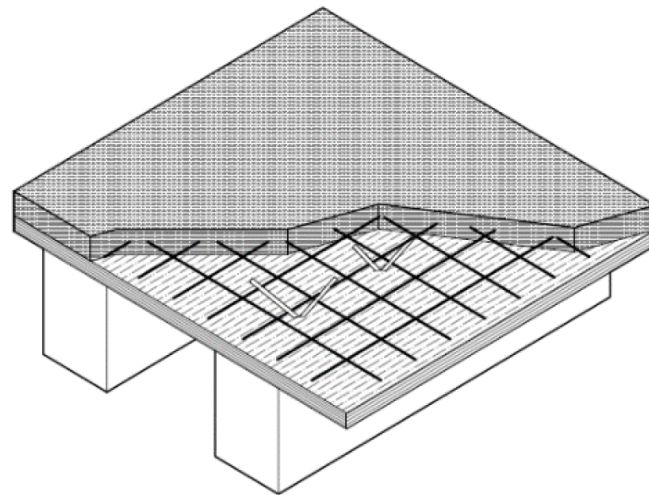
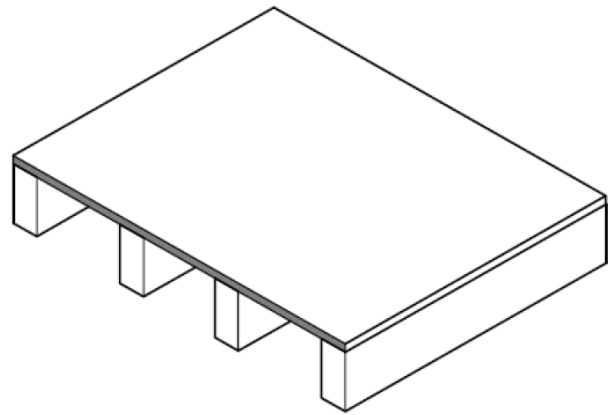


Cercha Suiza



Resumen de Aplicaciones

Diseño Gravitacional de Losas, Cubiertas y Muros



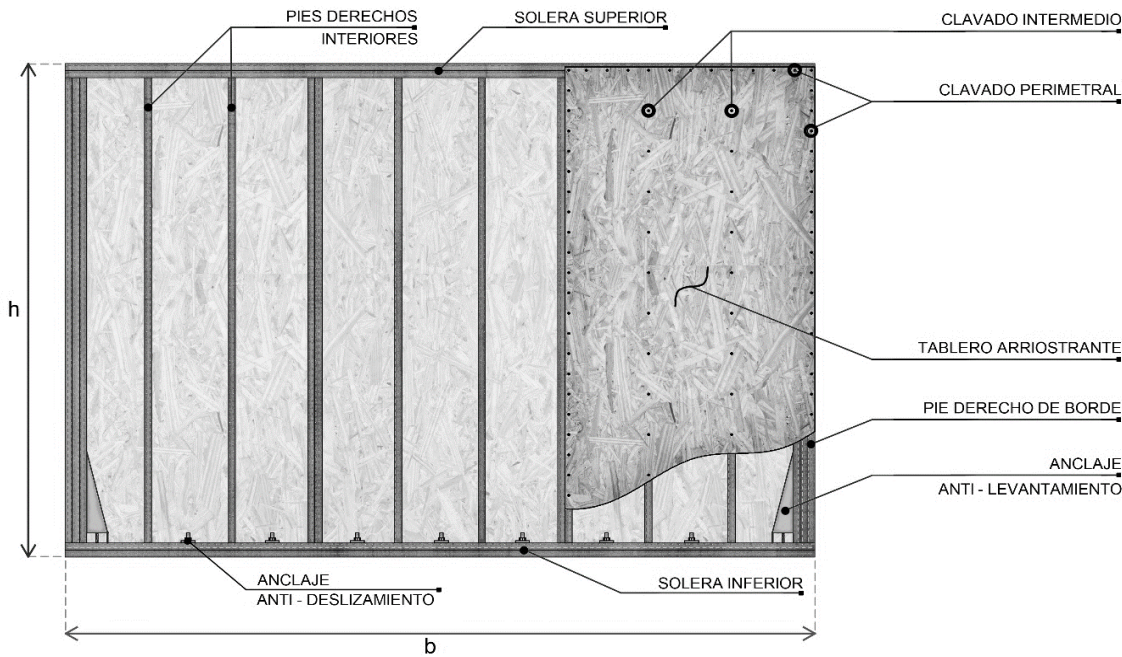
Contenidos

I.- Diseño Estructural con NCh1198 y NCh1989.

II.- Avances que están por llegar.

III.- Conclusiones

Verificación lateral de Muros con NCh1198 (anexos V y W)

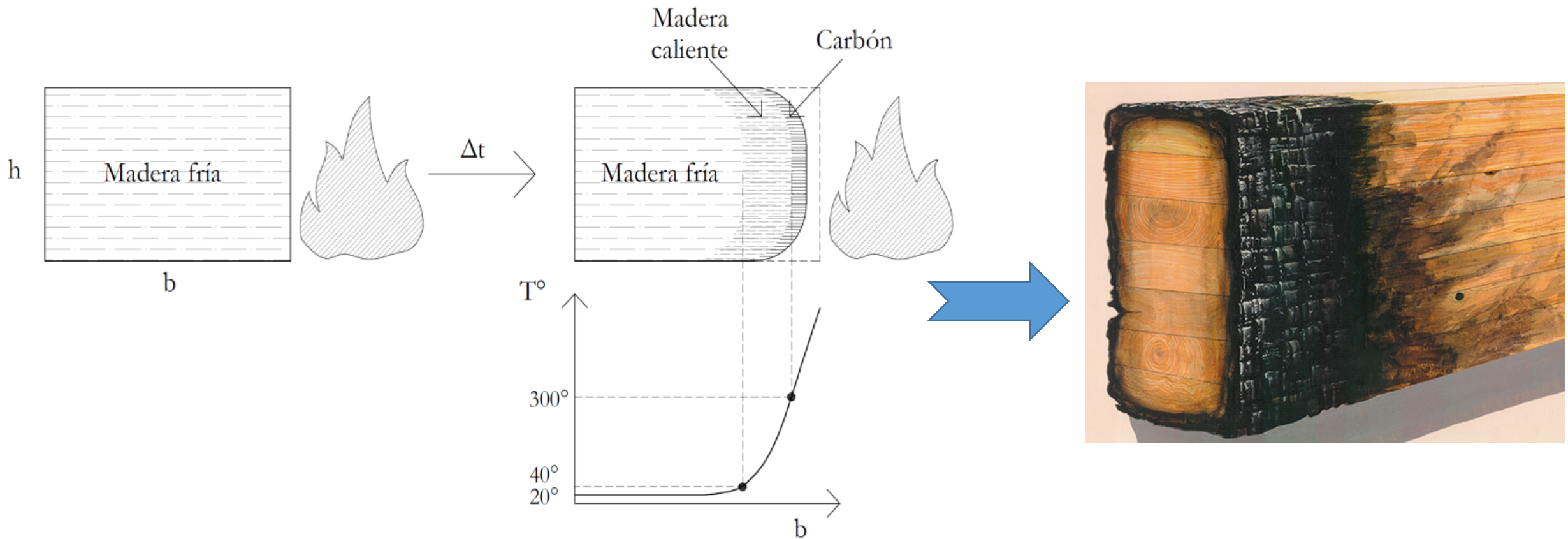


$$V_{c,dis} = V_c \times K_G \times K_n \quad (N/mm)$$

$$\delta_{mc} = \frac{2 \times v_c \times h^3}{3 \times E_{dis} \times A \times b} + \frac{v_c \times h}{G_{a,dis}} + \frac{h \times \Delta_a}{b} \quad (mm)$$

Tableros en base a madera										
Tablero arriostrante estructural	Espesor mínimo del tablero (mm)	Tipo y tamaño del conector (mm)	Espaciamiento entre clavos en el perímetro del tablero S_{ct} , en (mm)							
			150		100		75		50	
			V_c	G_a	V_c	G_a	V_c	G_a	V_c	G_a
			N/mm	N/mm	N/mm	N/mm	N/mm	N/mm	N/mm	N/mm
OSB ¹	11.1	Clavo helicoidal D=3.1mm y L=70mm ²	3.5	2628	5.1	3854	6.6	4905	8.5	7358

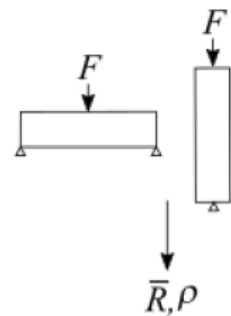
Verificación de Fuego con NCh1198.2



Verificación de Fuego con NCh1198.2

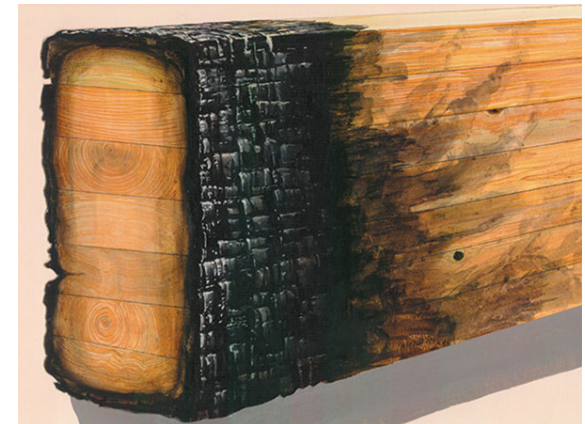
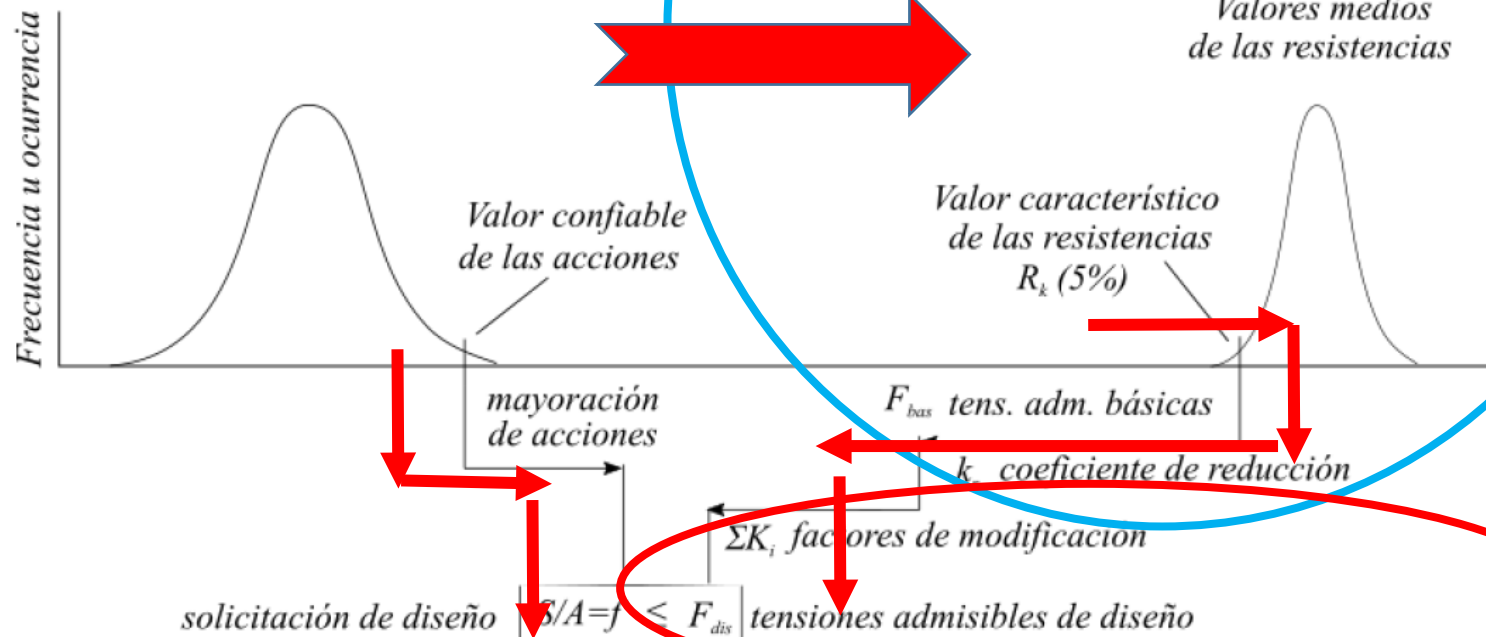
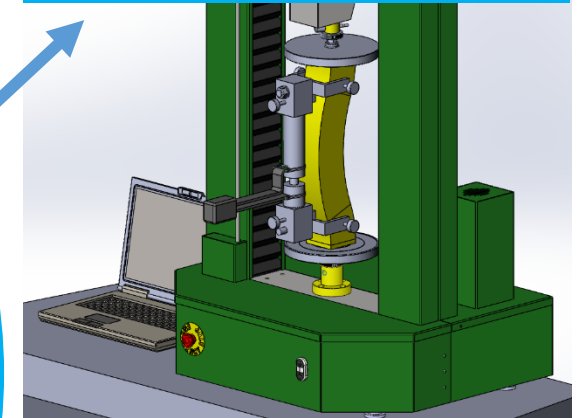
MÉTODO DE LAS TENSIONES ADMISIBLES (ASD)
NCh1198 (Chile), NDS 2015 (EE.UU.)

Ensayos sobre probetas
limpias y pequeñas



Valores medios
de las resistencias

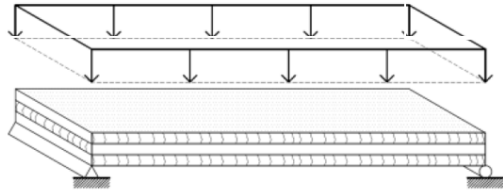
NCh1989



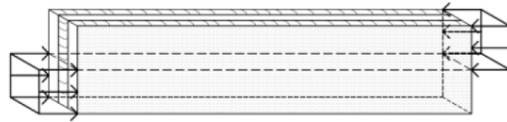
NCh1198.2

Verificación Tableros Delgados (NCh1198)

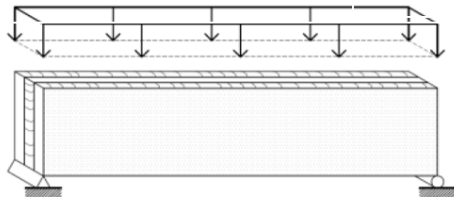
Flexión fuera del plano



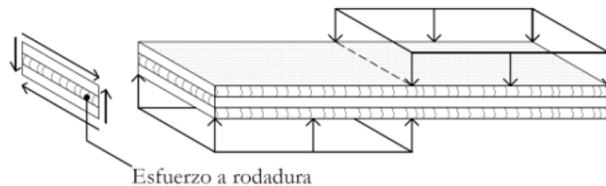
Corte fuera del plano, en el espesor



Flexión en el plano

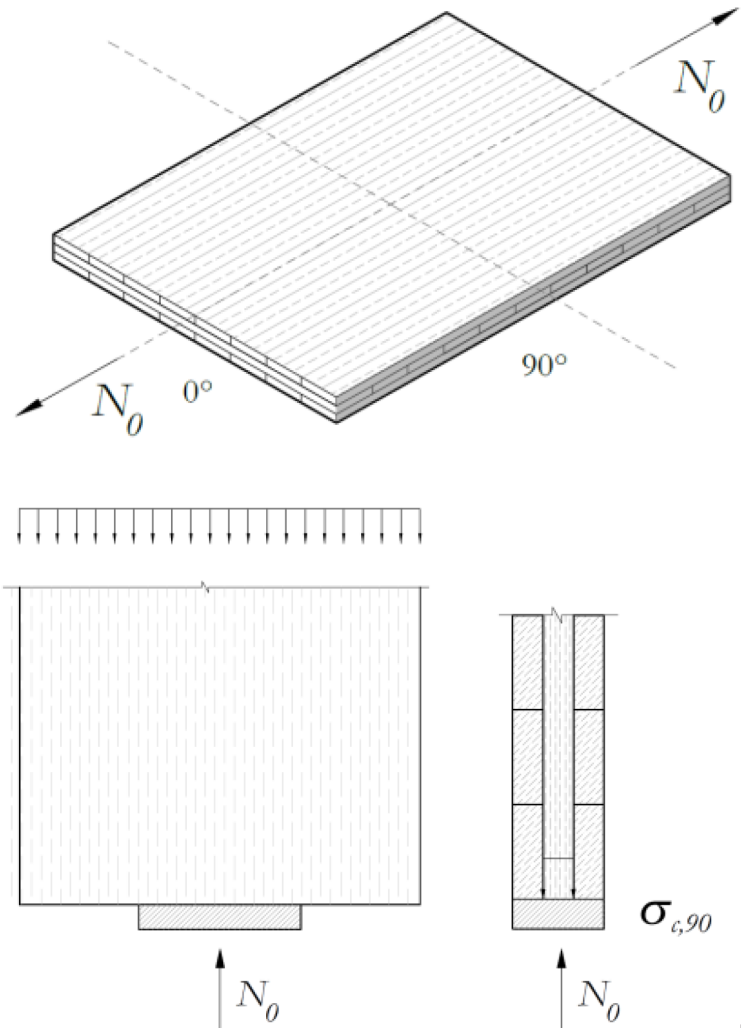


Corte en el plano, de rodadura



		ASD only	ASD and LRFD		
		Load Duration Factor	Wet Service Factor	Temperature Factor	Panel Size Factor
$F_b S' = F_b S$	x	C_D	C_M	C_t	C_s
$F_t A' = F_t A$	x	C_D	C_M	C_t	C_s
$F_v t_v' = F_v t_v$	x	C_D	C_M	C_t	-
$F_s (I_b/Q)' = F_s (I_b/Q)$	x	C_D	C_M	C_t	-
$F_c A' = F_c A$	x	C_D	C_M	C_t	-
$F_{c\perp}' = F_{c\perp}$	x	-	C_M	C_t	-
$EI' = EI$	x	-	C_M	C_t	-
$EA' = EA$	x	-	C_M	C_t	-
$G_v t_v' = G_v t_v$	x	-	C_M	C_t	-

Diseño con CLT: Fabricación, Tensiones admisibles y verificaciones (NCh1198)



		ASD only	ASD and LRFD				
		Load Duration Factor	Wet Service Factor	Temperature Factor	Beam Stability Factor	Column Stability Factor	Bearing Area Factor
$F_b(S_{eff})' = F_b(S_{eff})$	X	C_D	C_M	C_t	C_L	-	-
$F_t(A_{parallel})' = F_t(A_{parallel})$	X	C_D	C_M	C_t	-	-	-
$F_v(t_v)' = F_v(t_v)$	X	C_D	C_M	C_t	-	-	-
$F_s(Ib/Q)_{eff}' = F_s(Ib/Q)_{eff}$	X	-	C_M	C_t	-	-	-
$F_c(A_{parallel})' = F_c(A_{parallel})$	X	C_D	C_M	C_t	-	C_P	-
$F_{c\perp}(A)' = F_{c\perp}(A)$	X	-	C_M	C_t	-	-	C_b
$(EI)_{app}' = (EI)_{app}$	X	-	C_M	C_t	-	-	-
$(EI)_{app-min}' = (EI)_{app-min}$	X	-	C_M	C_t	-	-	-

Contenidos

I.- Diseño Estructural con NCh1198 y NCh1989.

II.- Avances que están por llegar.

III.- Conclusiones

Conclusiones

- NCh1198 y NCh1989 se basan en metodologías internacionales altamente aceptadas y reconocidas.
- NCh1198 es conservadora; en conjunción con un buen diseño, permite materializar estructuras muy seguras.
- NCh1198 permite diseño de entramados y porticos + diseño gravitacional de muros, losas y cubiertas.
- En los próximos meses NCh1198 incorporará avances notables que igualan a las normativas internacionales más avanzadas: diseño lateral de SRCL, fuego, tableros delgados, CLT.
- Lo anterior ha permitido construir edificios de hasta 18 pisos.

Muchas gracias

Centro UC
de Innovación
en Madera

<https://madera.uc.cl/es/>



2-5 SEPTIEMBRE
**SEMANA DE
LA MADERA**

<https://www.semanadelamadera.cl/>



WCTE²⁰₂₀

WORLD CONFERENCE ON TIMBER ENGINEERING
SANTIAGO, CHILE | 11 - 14 JANUARY 2021

www.wcte2020.com