

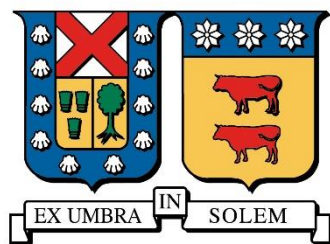
2021-10-14

METODOLOGÍA DE DISEÑO PARA LAS CONEXIONES ENTRE PANELES DE MURO PARALELOS EN EDIFICIOS DE MEDIANA ALTURA ESTRUCTURADOS CON MUROS Y LOSAS DE CLT, EN ZONAS DE ALTA SISMICIDAD

FERCOVIC DE LA PRESA, JÉCAR ROBERTO

<https://hdl.handle.net/11673/50695>

Repositorio Digital USM, UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA



UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES

METODOLOGÍA DE DISEÑO PARA LAS CONEXIONES ENTRE PANELES DE MURO PARALELOS EN EDIFICIOS DE MEDIANA ALTURA ESTRUCTURADOS CON MUROS Y LOSAS DE CLT, EN ZONAS DE ALTA SISMICIDAD

JÉCAR ROBERTO FERCOVIC DE LA PRESA

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

14 Octubre 2021



UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES

METODOLOGÍA DE DISEÑO PARA LAS CONEXIONES ENTRE PANELES DE MURO PARALELOS EN EDIFICIOS DE MEDIANA ALTURA ESTRUCTURADOS CON MUROS Y LOSAS DE CLT, EN ZONAS DE ALTA SISMICIDAD

MEMORIA DE TÍTULO PRESENTADA POR:
JÉCAR ROBERTO FERCOVIC DE LA PRESA

COMO REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

PROFESOR GUÍA:
DIEGO NICOLÁS VALDIVIESO CASCANTE

PROFESOR CO-REFERENTE:
CRISTIAN EMANUEL CRUZ DOGGENWEILER

14 Octubre 2021

RESUMEN

La madera contralaminada o CLT (por sus siglas en inglés), es un producto de madera de ingeniería que ha ganado popularidad en aplicaciones residenciales y no residenciales en Europa y Norteamérica. Los paneles CLT tienen una rigidez muy alta en el plano y, como tales, permanecen elásticos cuando están en servicio, de modo que las deformaciones plásticas se concentran en las conexiones de anclaje de muros a fundación y las conexiones verticales entre paneles de muros paralelos.

En Chile, el diseño de estructuras de madera está regulado por la NCh 1198 Of. 2014, la cual no contempla la madera contralaminada entre sus disposiciones. Por ello, determinar una metodología para el diseño de conexiones verticales entre muros paralelos de CLT en edificios de mediana altura permitirá avanzar en la incorporación del CLT en la normativa nacional.

Mediante una revisión bibliográfica de las metodologías de diseño utilizadas en los códigos de diseño de Europa (EC5), Canadá (CSA O86) y Estados Unidos (NDS), así como las principales investigaciones sobre conexiones en CLT, como las realizadas por Uibel & Blaß (2006, 2007), se establecen tres metodologías de diseño compatibles con el modelo de fluencia utilizado en la normativa chilena: determinación de una longitud de aplastamiento equivalente (NDS), cálculo de la resistencia al aplastamiento con la ecuación de Hankinson extendida o con la relación derivada por Uibel & Blaß. Para esta última ecuación, se necesita la aplicación de un factor de ajuste, debido a que está desarrollada para la metodología de estados límites de diseño. Realizando una comparación numérica de la capacidad de carga lateral estimada utilizando el modelo de fluencia de la normativa nacional en conjunto con los diferentes modelos estudiados, se determinó que la ecuación de resistencia al aplastamiento para medios de unión de tipo cilíndrico derivada por Uibel & Blaß dividida por un factor de ajuste igual a 2,0, es idónea para ser usada en conjunto con el modelo de fluencia de la NCh 1198 Of. 2014. Adicionalmente debe ser aplicado un factor de corrección de 1,05 sobre la capacidad de carga en extracción lateral de los modos de falla frágil. Con este modelo, se pueden diseñar de forma sencilla y satisfactoria las conexiones entre muros paralelos de CLT.

Junto con los factores de ajuste y corrección para el uso de la ecuación de Uibel & Blaß, se recomiendan espaciamientos y distancias mínimas para CLT, así como factores de sobrerresistencia y degradación de resistencia utilizados en el diseño por desempeño de edificios de mediana altura fabricados con paneles de madera contralaminada.

La idoneidad del uso de la ecuación de Uibel & Blaß en conjunto con el modelo de fluencia nacional, así como los resultados obtenidos en esta Memoria, deben ser validados experimentalmente.

ABSTRACT

Cross-laminated Timber or CLT, is an engineered wood product that has gained popularity in residential and non-residential applications in Europe and North America. CLT panels have very high in-plane stiffness and as such remain elastic when in service, so plastic deformations are concentrated in the anchor connections of walls to foundation and the vertical connections between parallel wall panels.

In Chile, the design of wooden structures is regulated by NCh 1198 Of. 2014, which does not include cross-laminated timber among its provisions. Therefore, determining a methodology for the design of vertical connections between parallel CLT walls in medium-rise buildings will allow to make progress in incorporating CLT into national regulations.

After carrying out a bibliographic review of the design methodologies used in the design codes of Europe (EC5), Canada (CSA O86) and the United States (NDS), as well as the main research on connections in CLT, such as those conducted by Uibel & Blaß (2006, 2007), three design methodologies compatible with the yield model used in Chilean regulations are established: determination of an equivalent bearing length (NDS), calculation of bearing resistance with the extended Hankinson equation or with the equation derived by Uibel & Blaß. For this latter equation, the application of an adjustment factor is needed, since it is developed for the limit state design method. Carrying out a numerical comparison of the estimated lateral load capacity using the national regulations' yield model in conjunction with the different models studied, it was determined that the bearing resistance equation for dowel-type fasteners derived by Uibel & Blaß divided by an adjustment factor equal to 2.0, is suitable to be used in conjunction with the yield model of the NCh 1198 Of. 2014. Additionally, a correction factor of 1.05 must be applied on the load capacity in lateral extraction of brittle failure modes. With this model, the connections between parallel CLT walls can be easily and satisfactorily designed.

Along with the adjustment and correction factors for the use of the Uibel & Blaß equation, minimum spacings and distances are recommended for CLT, as well as over-strength and strength degradation factors used in the performance design of mid-rise buildings manufactured with cross-laminated wood panels.

The suitability of using the Uibel & Blaß equation in conjunction with the national yield model, as well as the results obtained in this Thesis, must be experimentally validated.

GLOSARIO

Eurocódigo 5:

$A_{net,t}$:	área neta de tracción.
$A_{net,v}$:	área neta de corte.
D :	diámetro del medio de unión.
D_R :	diámetro externo de la zona roscada.
D_{ef} :	diámetro efectivo del medio de unión.
D_h :	diámetro de la cabeza del tornillo.
D_r :	diámetro interno (raíz) de la zona roscada.
$F_{ax,\alpha,Rk}$:	capacidad admisible de extracción directa de la conexión en un ángulo α con la fibra.
	capacidad admisible de punzonamiento de la conexión en un ángulo α con la fibra.
F_{ax} :	capacidad axial en extracción directa.
$F_{ax,Rk}$:	capacidad axial característica del medio de unión.
$F_{ax,Rd}$:	capacidad axial de diseño del medio de unión.
$F_{bs,Rk}$:	capacidad de falla frágil.
F_{Jh} :	capacidad admisible de carga en extracción lateral determinada con las ecuaciones de fluencia de Johansen.
$F_{t,Rk}$:	capacidad admisible a tracción del medio de unión.
$F_{v,ad}$:	capacidad admisible de carga en extracción lateral del medio de unión.
$F_{v,Rd}$:	capacidad de carga en extracción lateral de diseño del medio de unión.
$F_{v,Rk}$:	capacidad de carga en extracción lateral característica del medio de unión.
$M_{y,Rk}$:	momento de fluencia característico del medio de unión.
a_1 :	espaciamiento entre medios de unión en una hilera paralela a la fibra.
$a_{1,CG}$:	distancia mínima al extremo del centro de gravedad de la parte roscada del tornillo.
a_2 :	espaciamiento entre hileras de medios de unión perpendiculares a la fibra.
$a_{2,CG}$:	distancia mínima al borde del centro de gravedad de la parte roscada del tornillo.

$a_{3,c}$:	distancia entre el medio de unión y el extremo descargado.
$a_{3,t}$:	distancia entre el medio de unión y el extremo cargado.
$a_{4,c}$:	distancia entre el medio de unión y el borde descargado.
$a_{4,t}$:	distancia entre el medio de unión y el borde cargado.
$f_{ax,k}$:	capacidad de extracción directa característica perpendicular a la fibra.
$f_{ax,\alpha,k}$:	capacidad de extracción directa característica en ángulo α respecto a la fibra.
$f_{h,k}$:	resistencia al aplastamiento característica
$f_{head,k}$:	parámetro característico de hundimiento del tornillo determinado en acuerdo con EN 14592 para la densidad asociada ρ_a .
$f_{h,0,k}$:	resistencia al aplastamiento característica paralela a la fibra.
$f_{h,1,k}$:	resistencia al aplastamiento característica del miembro lateral.
$f_{h,2,k}$:	resistencia al aplastamiento característica del miembro principal.
$f_{h,\alpha,k}$:	resistencia al aplastamiento característica para carga en ángulo a la fibra.
$f_{tens,k}$:	capacidad admisible de tracción del tornillo.
$f_{t,0,k}$:	resistencia de tracción de diseño paralela a la fibra.
f_u :	resistencia a tracción del acero.
$f_{u,k}$:	resistencia a tracción característica del acero.
$f_{v,k}$:	resistencia de corte de diseño.
k_{mod} :	factor de modificación de la resistencia.
l_{ef} :	longitud de penetración de la zona roscada en el miembro del lado de la punta.
n :	número de medios de unión actuando juntos en una conexión.
n_{ef} :	número efectivo de medios de unión.
t_1 :	longitud de apoyo del medio de unión en el miembro lateral.
t_2 :	longitud de apoyo del medio de unión en el miembro principal.
α :	ángulo entre la fuerza y la dirección de la fibra.
γ_M :	coeficiente de seguridad parcial del material.
ξ :	porcentaje de contribución del efecto cuerda.
ρ_a :	densidad asociada para $f_{ax,k}$.

ρ_k : densidad característica de la madera.

Γ : contribución del efecto cuerda.

CSA Engineering design in wood (CSA O86-14):

D : diámetro del medio de unión.

F_y : resistencia de fluencia a flexión del medio de unión.

G : densidad relativa media.

J_E : factor de colocación en el extremo de la pieza.

J_G : factor para un grupo de medios de unión.

J_{PL} : factor para penetración reducida.

J_x : factor de ajuste para CLT.

K_D : factor de modificación por duración de carga.

K_{SF} : factor de modificación por condición de servicio.

K_T : factor de modificación por tratamiento de la madera.

L_{pt} : longitud de penetración de la zona roscada en el miembro principal.

L_t : longitud de penetración de la zona roscada en el miembro principal sin incluir la longitud de la punta.

N_r : capacidad de carga en extracción lateral de diseño de una conexión.

P_{pt} : capacidad de punzonamiento de la cabeza.

P_r : capacidad de carga en extracción lateral de diseño, para carga paralela a la fibra.

P_{rw} : capacidad de extracción directa de diseño.

Q_r : capacidad de carga en extracción lateral de diseño, para carga perpendicular a la fibra.

a : espaciamiento entre medios de unión en una hilera paralela a la fibra.

b : distancia al extremo paralela a la fibra.

c : espaciamiento entre medios de unión perpendicular a la fibra.

d : distancia al extremo perpendicular a la fibra.

f_y : resistencia de fluencia del medio de unión.

f_1 : resistencia al aplastamiento del miembro lateral.

f_2 :	resistencia al aplastamiento del miembro principal cuando la falla es por aplastamiento de la madera (tornillos) o resistencia al aplastamiento del miembro principal (tirafondos).
f_3 :	resistencia al aplastamiento del miembro principal cuando la falla es por fluencia del medio de unión.
n_F :	número de medios de unión en la conexión.
n_S :	número de planos de corte por medio de unión.
n_u :	capacidad admisible de carga en extracción lateral por medio de unión.
p_u :	capacidad admisible de carga en extracción lateral, para carga paralela a la fibra.
q_u :	capacidad admisible de carga en extracción lateral, para carga perpendicular a la fibra.
t_1 :	longitud de apoyo del medio de unión en el miembro lateral o espesor del miembro lateral o espesor del miembro lateral.
t_2 :	longitud de apoyo del medio de unión en el miembro principal.
γ_w :	capacidad de extracción directa por milímetro de penetración de la zona roscada en el miembro principal.

National Design Specification for wood construction (NDS):

$A_{critical}$:	superficie de cizalle mínima de cualquier medio de unión en la i -ésima.
$A_{group-net}$:	sección transversal crítica neta del grupo entre las hileras "1" y " n ".
A_m :	sección transversal bruta del miembro principal.
A_{net} :	sección transversal neta.
A_s :	suma de las secciones transversales brutas de los miembros laterales.
C_D :	factor de duración de carga.
C_{eg} :	factor de colocación en el extremo de la pieza.
C_g :	factor de acción de grupo.
C_M :	factor de servicio húmedo.
C_t :	factor de temperatura.
C_Δ :	factor de geometría.
D :	diámetro del medio de unión.
D_H :	diámetro de la cabeza del medio de unión.
D_r :	diámetro interno (raíz) de la zona roscada.

E_m :	módulo de elasticidad del miembro principal.
E_s :	módulo de elasticidad de los miembros laterales.
F_{es} :	resistencia al aplastamiento del miembro lateral.
F_{em} :	resistencia al aplastamiento del miembro principal.
$F_{e\parallel}$:	resistencia al aplastamiento cuando la carga es paralela a la fibra.
$F_{e\perp}$:	resistencia al aplastamiento cuando la carga es perpendicular a la fibra.
$F_{e\theta}$:	resistencia al aplastamiento cuando la carga está en ángulo respecto a la fibra.
F_t' :	tensión de diseño en tracción paralela.
F_v' :	tensión de diseño en cizalle paralelo a la fibra.
F_{yb} :	tensión de fluencia en flexión del medio de unión.
G :	gravedad específica de la madera.
K_F :	factor de conversión de formato (solo por método LRFD).
M_p :	momento plástico del medio de unión
R_d :	factor de reducción.
W :	capacidad admisible extracción directa del medio de unión.
W' :	capacidad de extracción directa de diseño.
W'_{ASD} :	capacidad de extracción directa de diseño del medio de unión por método ASD.
W'_{LRFD} :	capacidad de extracción directa de diseño del medio de unión por método LRFD.
W_H :	capacidad admisible de punzonamiento.
W_H' :	capacidad de punzonamiento de diseño.
$W_H'_{ASD}$:	capacidad de punzonamiento de diseño para método ASD.
$W_H'_{LRFD}$:	capacidad de punzonamiento de diseño para método LRFD.
Z :	capacidad de carga en extracción lateral admisible por medio de unión.
Z' :	capacidad de carga en extracción lateral de diseño por medio de unión.
Z_{adm} :	capacidad admisible de carga en extracción lateral.
Z'_{ASD} :	capacidad de carga en extracción lateral de diseño para el método ASD.
Z_{GT}' :	capacidad admisible de desgarro de grupo.
Z'_{LRFD} :	capacidad de carga en extracción lateral de diseño para el método LRFD.
Z_{NT}' :	capacidad de tracción de la sección transversal neta.

Z_{RT}' :	capacidad admisible de desgarro de múltiples hileras.
Z_{RTi}' :	capacidad de desgarro admisible de la i-ésima hilera.
Z_{RT-1} :	capacidad admisible de desgarro de la hilera "1" de medios de unión que rodea el área de grupo crítica.
l_{corr} :	longitud de aplastamiento corregida.
$l_{i,0}$:	longitud de aplastamiento del medio de unión en la i-ésima capa, cuya dirección de la fibra es paralela a la fibra en el plano de corte.
$l_{i,90}$:	longitud de aplastamiento del medio de unión en la i-ésima capa, cuya dirección de la fibra es normal a la fibra en el plano de corte.
l_m :	longitud de apoyo del medio de unión en el miembro principal.
$l_{m,min}$:	longitud de penetración mínima del medio de unión en el miembro principal.
l_s :	longitud de apoyo del medio de unión en el miembro lateral.
n_i :	número de medios de unión en la i-ésima.
n_{row} :	número de hileras.
p_t :	longitud de penetración de la rosca en el miembro de madera.
s :	espaciamiento centro a centro entre los medios de unión adyacentes en una hilera.
$s_{critical}$:	espaciamiento mínimo en una hilera, considerado como el menor valor entre el espaciamiento al borde o el espaciamiento entre medios de unión.
t_{ns} :	espesor neto del miembro lateral.
γ :	módulo de carga/corrimiento para una conexión.
θ :	ángulo entre la dirección de la fuerza y la dirección de la fibra.
λ :	factor de efecto del tiempo.
ϕ :	factor de resistencia.

Norma Chilena 1198:

A_c :	sección transversal bruta del miembro principal.
$A_{crítica}$:	superficie de cizalle mínima de cualquier medio de unión en la i-ésima hilera.
A_l :	suma de las secciones transversales brutas de los miembros laterales.

A_{neta} :	sección transversal neta.
$A_{neta,grupo}$:	sección transversal crítica neta del grupo entre las hileras “1” y “n”.
C :	módulo de corrimiento de un medio de unión individual.
D :	diámetro del medio de unión.
D_R :	diámetro externo de la zona roscada.
$E_{cn,h}$:	índice de aplastamiento en compresión normal.
E_c :	módulo de elasticidad del miembro principal.
E_f :	módulo de elasticidad en flexión.
E_l :	módulo de elasticidad de los miembros laterales.
F_{cp} :	tensión admisible a compresión paralela.
F_{cn} :	tensión admisible a compresión normal.
F_{cz} :	tensión admisible a cizalle.
$F_{cz,dis}$:	tensión de diseño en cizalle paralelo a la fibra.
F_f :	tensión admisible a flexión.
F_{ff} :	tensión de fluencia en flexión del medio de unión.
F_{tp} :	tensión admisible a tracción paralela.
$F_{tp,dis}$:	tensión de diseño en tracción paralela.
FA :	factor de ajuste.
K_{ct} :	factor de modificación por concentración de tensiones.
K_D :	factor de modificación por duración de carga.
K_H :	factor de modificación por contenido de humedad.
K_{UH} :	factor de modificación por contenido de humedad.
K_{UT} :	factor de modificación por temperatura.
K_u :	factor de modificación por longitud de hilera.
M_p :	momento plástico del medio de unión.
$P_{ed,ad}$:	capacidad admisible de extracción directa del medio de unión.
$P_{ed,dis}$:	capacidad de extracción directa de diseño del medio de unión.
P_{el} :	capacidad de carga en extracción lateral por medio de unión.
$P_{el,ad}$:	capacidad de carga en extracción lateral admisible por medio de unión.
P_{dis} :	capacidad de carga en extracción lateral de diseño.
R_{ap} :	resistencia al aplastamiento.

$R_{ap,c}$:	resistencia al aplastamiento del miembro principal.
$R_{ap,l}$:	resistencia al aplastamiento del miembro lateral.
$R_{ap,p}$:	resistencia al aplastamiento cuando la carga es paralela a la fibra.
$R_{ap,n}$:	resistencia al aplastamiento cuando la carga es perpendicular a la fibra.
$R_{ap,\theta}$:	resistencia al aplastamiento cuando la carga está en ángulo a la fibra.
S_{bcn} :	distancia al borde cargado, medida normal a la fibra.
S_{bcp} :	distancia al borde cargado, medida paralela a la fibra.
S_{bdn} :	distancia al borde descargado, medida normal a la fibra.
S_{bdp} :	distancia al borde descargado, medida paralela a la fibra.
$S_{\max \parallel}$:	distancia máxima entre medios de unión en la dirección de la fibra.
$S_{\max \perp}$:	distancia máxima entre medios de unión en la dirección normal a la fibra.
S_n :	espaciamiento entre medios de unión en dirección normal a la fibra.
S_p :	espaciamiento entre medios de unión paralelo a la fibra.
$T_{AN,dis}$:	capacidad de tracción de la sección transversal neta.
$T_{DH_i,dis}$:	capacidad de desgarro admisible de la i-ésima hilera.
$T_{DH-1,dis}$:	capacidad admisible de desgarro de la hilera “1” de medios de unión que rodea el área de grupo crítica.
$T_{DH-n,dis}$:	capacidad admisible de desgarro de la n-ésima hilera de medios de unión que rodea el área de grupo crítica.
$T_{DG,dis}$:	capacidad admisible de desgarro del grupo.
l_c :	longitud de apoyo del medio de unión en el miembro principal.
l_l :	longitud de apoyo del medio de unión en el miembro lateral.
l_r :	longitud de penetración efectiva.
$l_{r,crit}$:	longitud de penetración de la zona roscada que desarrolla la capacidad admisible de tracción en la sección transversal crítica del tirafondo.
n :	número de medios de unión alineados consecutivamente según la dirección de la fuerza.
n_{hilera} :	número de hileras.
n_i :	número de medios de unión en la i-ésima hilera.
p_r :	longitud de penetración de la zona roscada del tornillo en el miembro del lado de la punta.

$s_{crítico}$:	espaciamiento mínimo en una hilera, considerado como el menor valor entre el espaciamiento al borde o el espaciamiento entre medios de unión.
t :	espesor del miembro de madera.
α_{max} :	máxima desangulación entre la dirección de la fuerza y de la fibra en cualquier miembro en una conexión.
θ :	ángulo (agudo) entre la dirección de la sollicitación y la dirección de la fibra.
ρ_k :	densidad característica de la madera.
ρ_0 :	densidad anhidra media de la madera.

Otros términos:

D :	diámetro del medio de unión.
F :	capacidad de carga en extracción lateral.
FA_{CLT} :	factor de ajuste para modelo de Uibel & Blaß.
FC_{CLT} :	factor de corrección para la capacidad de carga en extracción lateral de los modos de falla I ₁ , I _c y II.
F_t :	Resistencia al aplastamiento.
L :	longitud de aplastamiento total del medio de unión en el panel.
$P_{corr,B\&U}$:	capacidad de carga en extracción lateral corregida para modos de falla I ₁ , I _c y II determinada con modelo de Uibel & Blaß en conjunto con el modelo de fluencia de la NCh 1198.
$P_{fr,B\&U}$:	capacidad de carga en extracción lateral para modos de falla I ₁ , I _c y II determinada con modelo de Uibel & Blaß en conjunto con el modelo de fluencia de la NCh 1198.
$R_{ap,B\&U}$:	resistencia al aplastamiento utilizando la ecuación de Uibel & Blaß ajustada mediante FA_{CLT} .
$R_{ax,s,k}$:	capacidad de extracción directa de tornillos autorroscantes.
$R_{d,ductil}$:	resistencia de diseño de la conexión dúctil.
$R_{d,fragil}$:	resistencia de diseño de la conexión frágil.
$R_{i,ap,p}$:	resistencia al aplastamiento de la i-ésima capa cuando la carga es paralela a la fibra.
$R_{i,ap,n}$:	resistencia al aplastamiento de la i-ésima capa cuando la carga es normal a la fibra.

$R_{ap,\theta,CLT}$:	resistencia al aplastamiento en el CLT cuando la carga está en ángulo a la fibra.
$a_{1,BU}$:	espaciamiento entre medios de unión medido en la dirección paralela a la fibra de la capa externa.
$a_{2,BU}$:	espaciamiento entre medios de unión medido perpendicular a la fibra de la capa externa.
$a_{3,t,BU}$:	distancia al borde cargado en la dirección paralela a la fibra de la capa externa.
$a_{3,c,BU}$:	distancia al borde descargado en la dirección paralela a la fibra de la capa externa.
$a_{4,t,BU}$:	distancia al borde cargado perpendicular a la dirección de la fibra de la capa externa.
$a_{4,c,BU}$:	distancia al borde descargado perpendicular a la dirección de la fibra de la capa externa.
$f_{h,k}$:	resistencia al aplastamiento característica.
$f_{h,pred}$:	resistencia al aplastamiento para CLT.
$f_{h,s,k}$:	resistencia al aplastamiento característica.
l_{ef} :	longitud de penetración efectiva del medio de unión en el miembro del lado de la punta.
l_i :	longitud de aplastamiento del medio de unión en la i-ésima capa.
t :	espesor del panel de CLT.
$t_{0,i}$:	espesor de cada capa orientada paralela a la dirección de la fibra de la capa externa.
$t_{90,i}$:	espesor de cada capa orientada normal a la dirección de la fibra de la capa externa.
$\emptyset$:	diámetro del medio de unión.
α :	ángulo entre la fuerza y la dirección de la fibra de la capa externa.
β_{sd} :	factor de degradación de la resistencia debido a carga cíclica.
γ_{Rd} :	factor de sobrerresistencia.
ε :	ángulo entre el eje del medio de unión y la superficie del panel.
ζ :	relación entre el espesor de las capas longitudinales y transversales del panel.

θ_i :	dirección entre la carga y la fibra de la i-ésima capa.
λ :	relación de esbeltez del medio de unión.
ρ_0 :	densidad anhidra media del panel del CLT.
ρ_k :	densidad característica del panel de CLT.
$\rho_{layer,k}$:	densidad característica de la(s) capa(s) relevante(s).

ÍNDICE

RESUMEN	i
ABSTRACT.....	ii
GLOSARIO	iii
Eurocódigo 5:.....	iii
CSA Engineering design in wood (CSA O86-14):	v
National Design Specification for wood construction (NDS):	vi
Norma Chilena 1198:.....	viii
Otros términos:.....	xi
ÍNDICE	xiv
ÍNDICE DE TABLAS	xviii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xlvi
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo General.....	2
1.2. Objetivos específicos	2
1.3. Normativas analizadas	2
1.3.1. Europa	2
1.3.2. Canadá.....	2
1.3.3. Estados Unidos.....	2
1.3.4. Chile.....	3
1.3.5. Limitaciones.....	3
2. ANTECEDENTES GENERALES	4
2.1. Madera	4
2.1.1. Definición	4
2.1.2. Composición	4
2.1.3. Propiedades físicas y mecánicas	4
2.2. Productos de madera de ingeniería	5
2.3. Madera contralaminada.....	5
2.3.1. Estatus del CLT en Europa	7
2.3.2. Estatus del CLT en Norteamérica	7
2.3.3. Estatus del CLT en Chile	8

3.	CAPACIDAD LATERAL EN CONEXIONES EN MIEMBROS DE MADERA	10
3.1.	Capacidad a corte en medios de unión de tipo cilíndrico.....	10
3.1.1.	Acción del medio de unión	10
3.1.2.	Parámetros influyentes del material	11
3.1.3.	Teoría de fluencia de Johansen	12
3.2.	Capacidad de corte en las normativas analizadas	14
3.2.1.	Capacidad de carga en extracción lateral en EC5	14
3.2.2.	Ecuaciones de resistencia lateral en CSA O86-14	21
3.2.3.	Ecuaciones de resistencia lateral en la NDS	26
3.2.4.	Ecuaciones de capacidad lateral en la NCh 1198.....	31
4.	SISTEMAS DE FIJACIÓN Y CONEXIÓN UTILIZADOS EN PANELES DE CLT	37
4.1.	Sistemas de fijación	37
4.1.1.	Tornillos autorroscantes y Tornillos para madera.....	37
4.1.2.	Clavos	38
4.1.3.	Pernos y pasadores	38
4.2.	Sistemas de conexión.....	38
4.2.1.	Conexión con listón individual:	38
4.2.2.	Conexión con listón doble:	39
4.2.3.	Conexión de traslape:.....	40
4.2.4.	Uniones de tope:.....	40
4.3.	Sistemas de conexión entre paneles de muros paralelos de CLT.....	40
4.3.1.	Conexiones entre muros paralelos como sistema de disipación de energía	41
4.3.2.	Revisión bibliográfica: Principales investigaciones sobre el rendimiento sísmico de estructuras fabricadas con paneles de CLT con conexiones verticales entre muros paralelos	42
5.	ESPACIAMIENTOS Y DISTANCIAS MÍNIMAS	45
5.1.	Espaciamientos y distancias mínimas en Eurocódigo 5.....	45
5.1.1.	Tornillos y clavos.....	45
5.2.	Espaciamientos y distancias mínimas propuestas por Blaß & Uibel	46
5.2.1.	Tornillos autorroscantes y clavos.....	46
5.3.	Espaciamiento y distancias mínimas en CSA O86-09.....	47
5.3.1.	Tornillos	47

5.3.2.	Tirafondos	48
5.4.	Espaciamiento y distancias mínimas en NDS	49
5.4.1.	Espaciamientos mínimos.....	49
5.5.	Espaciamiento y distancias mínimas en NCh 1198	51
5.5.1.	Tornillos.....	51
5.5.2.	Tirafondos	52
6.	ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	53
6.1.	Capacidad de carga en extracción lateral en conexiones entre paneles de muro de CLT 53	
6.1.1.	Antecedentes	53
6.1.2.	Método de análisis	56
6.1.3.	Casos de análisis	56
6.1.4.	Resultados	58
6.1.5.	Análisis y Discusión.....	65
6.2.	Número efectivo de medios de unión	69
6.3.	Requisitos de distancia y espaciamientos mínimos	69
6.4.	Modos de falla frágil.....	71
7.	CONCLUSIONES	72
	REFERENCIAS.....	75
	ANEXO A.....	81
A.	Factores de modificación de diseño	81
A.1.	Efecto de grupo	81
A.2.	Factores de modificación en Eurocódigo 5.....	81
A.3.	Factores de modificación en CSA O86-14.....	83
A.4.	Factores de modificación en NDS.....	85
A.5.	Factores de modificación en NCh 1198.....	89
	ANEXO B.....	93
B.	Modos de falla frágil	93
B.1.	Modos de falla frágil en Eurocode 5.....	93
B.2.	Modos de falla frágil en CSA O86.....	94
B.3.	Modos de falla frágil en NDS	94
B.4.	Modos de falla frágil en NCh 1198.....	96

ANEXO C.....	99
C. Modos de fluencia.....	99
C.1. Factores que influyen en el desarrollo de los modos de falla.....	99
ANEXO D.....	100
D. Resultados capacidad de carga en extracción lateral	100
D.1. Conexión de traslape.....	100
D.2. Conexión con listón de menor espesor que capa externa del panel de CLT	148
D.3. Conexión con listón de igual espesor que capa externa del panel de CLT	304

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1. Tensiones admisibles y módulo de elasticidad en flexión para pino radiata con 12% de contenido de humedad. (INN, 2014).....	7
Tabla 3-1. Modelo de fluencia de Eurocódigo 5 para medios de unión solicitados en extracción lateral. (CEN, 2004a).....	15
Tabla 3-2. Porcentaje de contribución del efecto cuerda según el medio de unión. (CEN, 2004a).....	20
Tabla 3-3. Modelo de fluencia de CSA O86 para tornillos solicitados en extracción lateral. (CSA, 2014).....	22
Tabla 3-4. Modelo de fluencia de CSA O86 para tirafondos solicitados en extracción lateral. (CSA, 2014)	22
Tabla 3-5. Diámetro y resistencia de fluencia mínima. (CSA, 2014).....	24
Tabla 3-6. Modelo de fluencia de NDS para medios de unión solicitados en extracción lateral. (AWC, 2017)	26
Tabla 3-7. Factor de ajuste para carga en extracción lateral de acuerdo con NDS. (AWC, 2017)	27
Tabla 3-8. Resistencia de fluencia en NDS. (AWC, 2017).....	29
Tabla 3-9. Modelo de fluencia de NCh 1198 para medios de unión solicitados en extracción lateral. (INN, 2014).....	31
Tabla 3-10. Factor de ajuste para carga en extracción lateral de acuerdo con NCh 1198. (INN, 2014).....	32
Tabla 3-11. Tensión de fluencia de acuerdo con NCh 1198. (INN, 2014).....	35
Tabla 4-1. Factores de sobrerresistencia y degradación de resistencia propuestos en diferentes estudios.....	42
Tabla 5-1. Espaciamiento mínimo para tornillos con diámetro no mayor a 6 [mm]. (CEN, 2004a)	45
Tabla 5-2. Espaciamiento mínimo para tornillos con diámetro mayor a 6 [mm]. (CEN, 2004a)	46
Tabla 5-3. Espaciamientos mínimos para medios de unión en la cara plana de paneles de CLT propuestos por Uibel & Blaß. (Blaß & Uibel, 2007)	47
Tabla 5-4. Espaciamiento mínimo para tornillos para madera. (CSA, 2014).....	47
Tabla 5-5. Espaciamiento mínimo entre tirafondos alineados paralelos a la carga. (CSA, 2014)	48
Tabla 5-6. Espaciamiento mínimo entre hileras. (CSA, 2014)	48
Tabla 5-7. Distancia mínima al extremo. (CSA, 2014).....	49

Tabla 5-8. Distancia mínima a los bordes. (CSA, 2014)	49
Tabla 5-9. Distancia mínima al extremo. (AWC, 2017)	50
Tabla 5-10. Espaciamiento entre medios de unión en una hilera. (AWC, 2017).....	50
Tabla 5-11. Distancia mínima a los bordes. (AWC, 2017)	50
Tabla 5-12. Espaciamiento mínimo entre hileras. (AWC, 2017)	50
Tabla 5-13. Espaciamientos mínimos para tornillos. (INN, 2014).....	51
Tabla 5-14. Distancias mínimas para tirafondos. (INN, 2014).....	52
Tabla 6-1. Características generales de los paneles de CLT analizados.	57
Tabla 6-2. Densidad de los paneles y listón analizados.....	57
Tabla 6-3. Longitud de tornillos SDW en los paneles considerados.	57
Tabla 6-4. Longitud tornillo ASSY VG Plus en los paneles considerados.....	58
Tabla 6-5. Características tornillos SDWS y SDWH. (UNIFORM Evaluation Service, 2020)	58
Tabla 6-6. Características tornillos ASSY VG Plus. (ICC Evaluation Service, 2018)	58
Tabla 6-7. Tipo de falla pronosticada para conexiones de traslape.	59
Tabla 6-8. Tipo de falla pronosticada con métodos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß con $FA_{CLT} = 2,0$ y $FC_{CLT} = 1,05$, para conexiones de traslape.	61
Tabla 6-9. Tipo de falla pronosticada con métodos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß con $FA_{CLT} = 2,0$ y $FC_{CLT} = 1,05$, para conexiones de traslape, considerando cumplimiento de penetración mínima.	61
Tabla 6-10. Modo de falla pronosticado con métodos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß con $FA_{CLT} = 2,0$ y $FC_{CLT} = 1,05$, para conexiones de traslape, considerando cumplimiento de longitud de penetración mínima.	62
Tabla 6-11. Tipo de falla pronosticada para conexiones con listón.....	63
Tabla 6-12. Tipo de falla pronosticada con métodos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß con $FA_{CLT} = 2,0$ y $FC_{CLT} = 1,05$, para conexiones con listón.	65
Tabla 6-13. Modo de falla pronosticado con métodos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß con $FA_{CLT} = 2,0$ y $FC_{CLT} = 1,05$, para conexiones con listón.....	65
Tabla 6-14. Distancia y espaciamientos mínimos propuesta para medios de unión en conexiones entre paneles de muro paralelos de CLT en zonas de alta sismicidad.....	70
Tabla A-1. Factor de modificación de resistencia. (Jacob, Harrington, & Robinson, 2018)	82
Tabla A-2. Coeficiente de seguridad parcial del material. (CEN, 2004a)	82
Tabla A-3. Valor de k_{ef} . (CEN, 2004a).....	83

Tabla A-4. Factor de modificación por duración de carga en CSA O86-14. (CSA, 2014)	83
Tabla A-5. Factor de modificación por condición de servicio. (CSA, 2014)	84
Tabla A-6. Factor de modificación por efecto de grupo para tirafondos. (CSA, 2014)	84
Tabla A-7. Factor de modificación por tratamiento. (CSA, 2014)	85
Tabla A-8. Factor de duración de carga C_D . (AWC, 2017)	86
Tabla A-9. Factor de servicio húmedo. (AWC, 2017)	86
Tabla A-10. Factor de modificación por temperatura. (AWC, 2017)	86
Tabla A-11. Factor de colocación en el extremo de la pieza. (AWC, 2017)	88
Tabla A-12. Factor de efecto del tiempo. (AWC, 2017)	89
Tabla A-13. Factor de modificación por duración de carga. (INN, 2014)	89
Tabla A-14. Factor de modificación por contenido de humedad de la madera. (INN, 2014)	90
Tabla A-15. Factor de modificación por temperatura. (INN, 2014)	90
Tabla B-1. Tensión admisible en tracción paralela para pino radiata con contenido de humedad de 12%. (INN, 2014)	97
Tabla C-1. Principales causas que generan los modos de falla. (Eberwein, 2018)	99
Tabla D-1. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de traslape utilizando métodos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	100
Tabla D-2. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de traslape utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	101
Tabla D-3. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de traslape utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	103
Tabla D-4. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de traslape utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	104
Tabla D-5. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de traslape utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.	105
Tabla D-6. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de traslape utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.	106

Tabla D-7. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de traslape utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.....	108
Tabla D-8. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de traslape utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.	109
Tabla D-9. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de traslape utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.	111
Tabla D-10. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de traslape utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.	112
Tabla D-11. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de traslape utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.	113
Tabla D-12. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de traslape utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.....	115
Tabla D-13. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de traslape utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.....	116
Tabla D-14. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de traslape utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	117
Tabla D-15. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de traslape utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.....	119
Tabla D-16. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de traslape utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	120
Tabla D-17. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de traslape utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.....	121

Tabla D-18. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de traslape utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa...	123
Tabla D-19. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de traslape utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.....	124
Tabla D-20. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de traslape utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.	126
Tabla D-21. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de traslape utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.	127
Tabla D-22. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de traslape utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.	128
Tabla D-23. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de traslape utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.	129
Tabla D-24. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de traslape utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.....	131
Tabla D-25. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de traslape utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.....	132
Tabla D-26. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de traslape utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	133
Tabla D-27. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de traslape utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.....	135
Tabla D-28. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de traslape utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	136

Tabla D-29. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de traslape utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.....	137
Tabla D-30. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de traslape utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa...	139
Tabla D-31. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de traslape utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.....	140
Tabla D-32. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de traslape utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.	142
Tabla D-33. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de traslape utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.	143
Tabla D-34. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de traslape utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.	144
Tabla D-35. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de traslape utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.	145
Tabla D-36. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de traslape utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.....	147
Tabla D-37. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y de menor espesor que la capa externa del panel, con modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	148
Tabla D-38. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	149
Tabla D-39. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.....	151

Tabla D-40. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	152
Tabla D-41. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y de menor espesor que la capa externa del panel, con modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.	154
Tabla D-42. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa... 155	155
Tabla D-43. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.....	156
Tabla D-44. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.	158
Tabla D-45. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y de menor espesor que la capa externa del panel, con modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.....	159
Tabla D-46. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.	161
Tabla D-47. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.	162
Tabla D-48. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.....	164

Tabla D-49. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y de menor espesor que la capa externa del panel, con modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	166
Tabla D-50. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	167
Tabla D-51. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	168
Tabla D-52. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	170
Tabla D-53. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y de menor espesor que la capa externa del panel, con modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.	171
Tabla D-54. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa... ..	173
Tabla D-55. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.	174
Tabla D-56. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.	175
Tabla D-57. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y de menor espesor que la capa externa del panel, con modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.	177
Tabla D-58. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus	

en panel con densidad de 420 [kg/m³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa. 178

Tabla D-59. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de con listón de densidad de 670 [kg/m³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 420 [kg/m³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa. 180

Tabla D-60. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 670 [kg/m³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 420 [kg/m³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa..... 181

Tabla D-61. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 700 [kg/m³] y de menor espesor que la capa externa del panel, con modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 420 [kg/m³] y carga paralela a la fibra de la capa externa. 183

Tabla D-62. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 700 [kg/m³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 420 [kg/m³] y carga paralela a la fibra de la capa externa. 184

Tabla D-63. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de con listón de densidad de 700 [kg/m³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 420 [kg/m³] y carga paralela a la fibra de la capa externa. 185

Tabla D-64. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 700 [kg/m³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 420 [kg/m³] y carga paralela a la fibra de la capa externa. 187

Tabla D-65. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 700 [kg/m³] y de menor espesor que la capa externa del panel, con modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 420 [kg/m³] y carga normal a la fibra de la capa externa. 188

Tabla D-66. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 700 [kg/m³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 420 [kg/m³] y carga normal a la fibra de la capa externa... 190

Tabla D-67. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de con listón de densidad de 700 [kg/m³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 420 [kg/m³] y carga normal a la fibra de la capa externa..... 191

Tabla D-68. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.	193
Tabla D-69. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y de menor espesor que la capa externa del panel, con modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.....	194
Tabla D-70. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.	195
Tabla D-71. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.	197
Tabla D-72. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.....	198
Tabla D-73. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y de menor espesor que la capa externa del panel, con modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	200
Tabla D-74. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	201
Tabla D-75. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.....	203
Tabla D-76. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	204

Tabla D-77. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y de menor espesor que la capa externa del panel, con modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.	206
Tabla D-78. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa... 207	
Tabla D-79. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.....	208
Tabla D-80. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.	210
Tabla D-81. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y de menor espesor que la capa externa del panel, con modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.....	211
Tabla D-82. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.	213
Tabla D-83. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.	214
Tabla D-84. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.....	215
Tabla D-85. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y de menor espesor que la capa externa del panel, con modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	217

Tabla D-86. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	218
Tabla D-87. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.....	220
Tabla D-88. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.....	221
Tabla D-89. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y de menor espesor que la capa externa del panel, con modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.....	223
Tabla D-90. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa...	224
Tabla D-91. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.....	225
Tabla D-92. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.....	227
Tabla D-93. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y de menor espesor que la capa externa del panel, con modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.....	228
Tabla D-94. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.....	230
Tabla D-95. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando	

modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.	231
Tabla D-96. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.....	232
Tabla D-97. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y de menor espesor que la capa externa del panel, con modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	234
Tabla D-98. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	235
Tabla D-99. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.....	237
Tabla D-100. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	238
Tabla D-101. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y de menor espesor que la capa externa del panel, con modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.	240
Tabla D-102. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa... ..	241
Tabla D-103. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.....	242
Tabla D-104. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y	

SDWS en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.	244
Tabla D-105. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y de menor espesor que la capa externa del panel, con modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.....	245
Tabla D-106. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.	247
Tabla D-107. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.	248
Tabla D-108. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.....	250
Tabla D-109. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y de menor espesor que la capa externa del panel, con modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	251
Tabla D-110. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	252
Tabla D-111. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.....	254
Tabla D-112. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	255
Tabla D-113. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y de menor espesor que la capa externa del panel, con modelos	

Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.	257
Tabla D-114. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa. ...	258
Tabla D-115. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.	260
Tabla D-116. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.	261
Tabla D-117. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y de menor espesor que la capa externa del panel, con modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.	263
Tabla D-118. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.	264
Tabla D-119. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.	265
Tabla D-120. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.	267
Tabla D-121. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y de menor espesor que la capa externa del panel, con modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	269
Tabla D-122. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando	

modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 500 [kg/m³] y carga paralela a la fibra de la capa externa. 270

Tabla D-123. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de con listón de densidad de 670 [kg/m³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 500 [kg/m³] y carga paralela a la fibra de la capa externa. 271

Tabla D-124. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 670 [kg/m³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 500 [kg/m³] y carga paralela a la fibra de la capa externa. 273

Tabla D-125. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 670 [kg/m³] y de menor espesor que la capa externa del panel, con modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 500 [kg/m³] y carga normal a la fibra de la capa externa. 274

Tabla D-126. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 670 [kg/m³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 500 [kg/m³] y carga normal a la fibra de la capa externa... 276

Tabla D-127. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de con listón de densidad de 670 [kg/m³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 500 [kg/m³] y carga normal a la fibra de la capa externa. 277

Tabla D-128. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 670 [kg/m³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 500 [kg/m³] y carga normal a la fibra de la capa externa. 278

Tabla D-129. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 670 [kg/m³] y de menor espesor que la capa externa del panel, con modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 500 [kg/m³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa. 280

Tabla D-130. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 670 [kg/m³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 500 [kg/m³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa. 281

Tabla D-131. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de con listón de densidad de 670 [kg/m³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con

densidad de 500 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.	283
Tabla D-132. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.	284
Tabla D-133. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y de menor espesor que la capa externa del panel, con modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	287
Tabla D-134. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	288
Tabla D-135. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	289
Tabla D-136. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	291
Tabla D-137. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y de menor espesor que la capa externa del panel, con modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.	292
Tabla D-138. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.	294
Tabla D-139. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.	295
Tabla D-140. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.	296

Tabla D-141. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y de menor espesor que la capa externa del panel, con modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.....	298
Tabla D-142. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.	299
Tabla D-143. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.	301
Tabla D-144. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y menor espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.....	302
Tabla D-145. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, con modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	304
Tabla D-146. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	305
Tabla D-147. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.....	306
Tabla D-148. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	308
Tabla D-149. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, con modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.	309

Tabla D-150. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa...	311
Tabla D-151. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.....	312
Tabla D-152. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.	314
Tabla D-153. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, con modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.....	315
Tabla D-154. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.	316
Tabla D-155. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.	318
Tabla D-156. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.....	319
Tabla D-157. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, con modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	321
Tabla D-158. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	322

Tabla D-159. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.....	324
Tabla D-160. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	325
Tabla D-161. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, con modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.	327
Tabla D-162. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa... 328	
Tabla D-163. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.....	329
Tabla D-164. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.	331
Tabla D-165. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, con modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.....	332
Tabla D-166. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.	334
Tabla D-167. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.	335

Tabla D-168. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.....	336
Tabla D-169. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, con modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	338
Tabla D-170. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	339
Tabla D-171. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	341
Tabla D-172. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	342
Tabla D-173. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, con modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.	344
Tabla D-174. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa... ..	345
Tabla D-175. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.....	346
Tabla D-176. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.	348
Tabla D-177. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, con modelos	

Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.....	349
Tabla D-178. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.	351
Tabla D-179. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.	352
Tabla D-180. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 420 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.....	354
Tabla D-181. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, con modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	355
Tabla D-182. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	356
Tabla D-183. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.....	358
Tabla D-184. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	359
Tabla D-185. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, con modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.	361
Tabla D-186. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando	

modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 450 [kg/m³] y carga normal a la fibra de la capa externa... 362

Tabla D-187. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de con listón de densidad de 630 [kg/m³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 450 [kg/m³] y carga normal a la fibra de la capa externa..... 364

Tabla D-188. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 630 [kg/m³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 450 [kg/m³] y carga normal a la fibra de la capa externa. 365

Tabla D-189. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 630 [kg/m³] y de igual espesor que la capa externa del panel, con modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 450 [kg/m³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa..... 367

Tabla D-190. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 630 [kg/m³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 450 [kg/m³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa. 368

Tabla D-191. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de con listón de densidad de 630 [kg/m³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 450 [kg/m³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa. 369

Tabla D-192. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 630 [kg/m³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 450 [kg/m³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa..... 371

Tabla D-193. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 670 [kg/m³] y de igual espesor que la capa externa del panel, con modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 450 [kg/m³] y carga paralela a la fibra de la capa externa. 372

Tabla D-194. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 670 [kg/m³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 450 [kg/m³] y carga paralela a la fibra de la capa externa. 374

Tabla D-195. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de con listón de densidad de 670 [kg/m³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando

modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.....	375
Tabla D-196. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	376
Tabla D-197. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, con modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.	378
Tabla D-198. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa...	379
Tabla D-199. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.....	381
Tabla D-200. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.	382
Tabla D-201. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, con modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.....	384
Tabla D-202. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.	385
Tabla D-203. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.	386
Tabla D-204. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y	

SDWS en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.....	388
Tabla D-205. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, con modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	389
Tabla D-206. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	391
Tabla D-207. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.....	392
Tabla D-208. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	394
Tabla D-209. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, con modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.	395
Tabla D-210. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa... ..	396
Tabla D-211. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.....	398
Tabla D-212. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.	399
Tabla D-213. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, con modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.....	401

Tabla D-214. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.	402
Tabla D-215. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.	404
Tabla D-216. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 450 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.....	405
Tabla D-217. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, con modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	407
Tabla D-218. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	408
Tabla D-219. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.....	409
Tabla D-220. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	411
Tabla D-221. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, con modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.	412
Tabla D-222. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa... ..	414

Tabla D-223. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.....	415
Tabla D-224. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.	416
Tabla D-225. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, con modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.....	418
Tabla D-226. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.	419
Tabla D-227. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.	421
Tabla D-228. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 630 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.....	422
Tabla D-229. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, con modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	424
Tabla D-230. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	425
Tabla D-231. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.....	426

Tabla D-232. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	428
Tabla D-233. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, con modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.	429
Tabla D-234. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa. ...	431
Tabla D-235. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.	432
Tabla D-236. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.	434
Tabla D-237. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, con modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.	435
Tabla D-238. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.	436
Tabla D-239. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.	438
Tabla D-240. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 670 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.	439

Tabla D-241. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, con modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	441
Tabla D-242. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	442
Tabla D-243. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	443
Tabla D-244. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga paralela a la fibra de la capa externa.	445
Tabla D-245. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, con modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.	446
Tabla D-246. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa... ..	448
Tabla D-247. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.	449
Tabla D-248. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga normal a la fibra de la capa externa.	451
Tabla D-249. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, con modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillo ASSY VG Plus en panel con densidad de 500 [kg/m ³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa.	452
Tabla D-250. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 700 [kg/m ³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillo ASSY VG Plus	

en panel con densidad de 500 [kg/m³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa. 453

Tabla D-251. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión de con listón de densidad de 700 [kg/m³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 500 [kg/m³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa. 455

Tabla D-252. Capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón de densidad de 700 [kg/m³] y de igual espesor que la capa externa del panel, utilizando modelo Uibel & Blaß con factor de ajuste y de corrección usando tornillos SDWH y SDWS en panel con densidad de 500 [kg/m³] y carga en ángulo de 45° respecto a la fibra de la capa externa..... 456

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1. Superficies ortótropas de la madera. (García Llera, 2020)	4
Figura 2-2. Panel de CLT con dimensiones: largo (l), ancho (b) y espesor (D). (Gagnon & Pirvu, 2011)	6
Figura 3-1. Unión de corte simple entre miembros de madera. (Izzi, et al., 2018)	10
Figura 3-2. Mecanismo de aplastamiento del medio de unión. (Swedish Forest Industries Federation, 2016a)	10
Figura 3-3. Influencia de la perforación previa en el aplastamiento del medio de unión. (Swedish Forest Industries Federation, 2016a)	11
Figura 3-4. Modos de fluencia de Johansen. Modo I, figuras (a), (b) y (c); Modo II, figuras (d) y (e); y Modo III, figura (f). (Swedish Forest Industries Federation, 2016a)	12
Figura 3-5. Comportamiento plástico de los materiales involucrados en una conexión de madera. (Wagner, 2018)	13
Figura 3-6. Influencia de la perforación previa en la resistencia al aplastamiento en función del diámetro del medio de unión	16
Figura 3-7. Distribución de las capas en el panel de CLT. (Uibel & Blaß, 2006)	18
Figura 3-8. Estado de esfuerzos en el medio de unión: (a) Momento de fluencia elástico, (b) Momento de fluencia efectivo y (c) Momento de fluencia plástico. (Ottenhaus, Li, Smith, & Quenneville, 2017)	19
Figura 4-1. (a) Tornillo autorroscante; (b) tornillo para madera completamente roscado. (MyTicon Timber Connectors, 2017a)	37
Figura 4-2. (a) Perno; (b) Pasador. (Dorn & Bader, 2017)	38
Figura 4-3. Conexión con listón individual. (Gagnon & Pirvu, 2011)	39
Figura 4-4. Conexión con listón doble. (Gagnon & Pirvu, 2011)	39
Figura 4-5. Conexión de traslape. (Gagnon & Pirvu, 2011)	40
Figura 4-6. Uniones de tope. (Hossain, Danzig, & Tannert, 2016)	40
Figura 4-7. Conexiones disipativas y no disipativas en una estructura de CLT. (Izzi, et al., 2018)	41
Figura 5-1. Espaciamientos para tornillos con diámetro no mayor a 6 [mm]. (Larsen & Enjily, 2009)	46
Figura 5-2. Espaciamientos para tornillos. (CSA, 2014)	48
Figura 5-3. Colocación de los tirafondos. (a) carga paralela a la fibra; (b) carga perpendicular a la fibra. (CSA, 2014)	49
Figura 5-4. Designación de spaciamientos y bordes.	51

Figura 6-1. Capacidad de carga en extracción lateral para modos de falla dúctil en conexión de traslape.....	59
Figura 6-2. Capacidad de carga en extracción lateral para modos de falla frágil en conexión de traslape.....	59
Figura 6-3. Capacidad de carga en extracción lateral para modos de falla dúctil en conexión de traslape aplicando factor de ajuste $FA_{CLT} = 2,0$ a método Uibel & Blaß. ...	60
Figura 6-4. Capacidad de carga en extracción lateral para modos de falla frágil en conexión de traslape aplicando factor de ajuste $FA_{CLT} = 2,0$ a método Uibel & Blaß. ...	60
Figura 6-5. Capacidad de carga en extracción lateral para modos de falla frágil en conexión de traslape aplicando factor de ajuste $FA_{CLT} = 2,0$ y de corrección $FC_{CLT} = 1,05$ a método Uibel & Blaß.....	61
Figura 6-6. Capacidad de carga en extracción lateral para modos de falla dúctil en conexión con listón.	62
Figura 6-7. Capacidad de carga en extracción lateral para modos de falla frágil en conexión con listón.	63
Figura 6-8. Capacidad de carga en extracción lateral para modos de falla dúctil en conexión con listón aplicando factor de ajuste $FA_{CLT} = 2,0$ a método Uibel & Blaß.....	63
Figura 6-9. Capacidad de carga en extracción lateral para modos de falla frágil en conexión con listón aplicando factor de ajuste $FA_{CLT} = 2,0$ a método Uibel & Blaß.....	64
Figura 6-10. Capacidad de carga en extracción lateral para modos de falla frágil en conexión con listón aplicando factor de ajuste $FA_{CLT} = 2,0$ y de corrección $FC_{CLT} = 1,05$ a método Uibel & Blaß.	64
Figura 6-11. Distancias a los bordes en panel de CLT. Modificado de (Larsen & Enjily, 2009).	70
Figura A-1. Efecto de grupo en conexiones con medios de unión de tipo cilíndrico. (Zahn, 1991)	81
Figura A-2. Número par de hileras con elementos de unión dispuestos en forma alternada. (INN, 2014)	91
Figura A-3. Número impar de hileras con elementos de unión dispuestos en forma alternada. (INN, 2014)	91
Figura A-4. Áreas de sección transversal. (INN, 2014).....	92
Figura B-1. Falla por bloque de corte. (Johnsson & Parida, 2013)	94
Figura B-2. Capacidad de tracción de la sección transversal neta. (INN, 2014)	96
Figura B-3. Capacidad de desgarro de una hilera de medios de unión. (INN, 2014) ...	97
Figura B-4. Capacidad de desgarro de un conjunto de hileras de medios de unión. (INN, 2014)	98

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente el uso de la madera para construcciones de mediana altura en el país no presenta un desarrollo acorde con las tasas de producción de este material (Madera 21 de CORMA, 2020), siendo relegada a proyectos específicos y aislados; esto evidencia las dificultades que presenta para ser considerada como alternativa en obras de dicha magnitud, frente a los materiales tradicionales como el hormigón y acero. Una alternativa constructiva que ha tomado protagonismo a nivel mundial, incluyendo países de alta sismicidad como Canadá o los Estados Unidos, corresponde a los paneles de madera contralaminada o (CLT, por sus siglas en inglés), los cuales han demostrado ser una opción competitiva frente a las construcciones de hormigón y acero, especialmente en estructuras de mediana altura (Gagnon & Pirvu, 2011).

La madera contralaminada es un producto de madera innovador desarrollado en Austria y Alemania, en la década de los 90, con el objetivo de reutilizar madera de menor valor (Daily, 2020). En el año 1996, Austria emprendió un esfuerzo conjunto de investigación entre la industria y la academia que resultó en el desarrollo del CLT moderno, cuyo uso en construcción tuvo un aumento significativo a partir de los años 2000, impulsado en parte por el movimiento de construcción ecológica, las mejoras en los canales de información, comercialización y distribución, así como la percepción del CLT como un sistema de construcción “no ligero”, similar a la albañilería y el hormigón (Gagnon & Pirvu, 2011). La contribución de las diferentes campañas investigativas como las realizadas por Blaß & Uibel (Blaß & Uibel, 2007) en conexiones entre paneles de CLT, las conducidas en el marco del Proyecto SOFIE o los estudios a cargo de FPInnovations para introducir el CLT a Norteamérica, han permitido avanzar aún más en el conocimiento y uso de este material.

El diseño y construcción de estructuras de madera contralaminada, incluso en regiones propensas a terremotos, se está convirtiendo en parte de la práctica habitual de ingeniería de la madera (Tannert, Follesa, Fragiaco, & González, 2018). Si bien los paneles de CLT han demostrado comportarse como cuerpos rígidos (Dujic & Zarnic, 2006), se puede lograr adecuados niveles de disipación de energía a través del diseño de conexiones dúctiles. Dentro de este mecanismo de disipación, las conexiones entre muros paralelos es una de las principales fuentes de ductilidad en estructuras constituidas con estos paneles.

En Chile, la norma que rige el diseño estructural en madera corresponde a la NCh 1198: Madera - Construcción en Madera – Cálculo (INN, 2014), la cual no considera al CLT dentro de sus disposiciones; por esta razón, surge la necesidad de realizar estudios que permitan el desarrollo de disposiciones específicas para este tipo de material. El Departamento de Ingeniería en Obras Civiles de la Universidad de Santiago ha dado uno de los primeros pasos en investigación y transferencia de resultados, a través de la investigación denominada “Estudios de Ingeniería para Introducir en Chile un Sistema Constructivo de Rápida Ejecución para Edificios de Mediana Altura Utilizando Elementos de Madera Contralaminada” (González, et al., 2014), la cual se enmarca en el proyecto Corfo 12BPC2 – 13553.

Uno de los pasos siguientes y que origina la motivación de esta Memoria, consiste en establecer una metodología de diseño para las conexiones entre paneles de muro paralelos en edificios de mediana altura, estructurados con muros y losas de CLT, en zonas de alta sismicidad, a través de la revisión bibliográfica de las normativas de los países de Europa y América del Norte, como son Canadá y Estados Unidos, junto con los principales estudios desarrollados en esta materia.

1.1. Objetivo General

Establecer una metodología de diseño para las conexiones verticales entre paneles de muro paralelos en edificios de mediana altura estructurados con muros y losas de CLT, en zonas de alta sismicidad.

1.2. Objetivos específicos

- i. Comparar las normativas de diseño en madera de Europa (CEN, 2004a), Canadá (CSA, 2014), Estados Unidos (AWC, 2017) y Chile (INN, 2014), junto con las ecuaciones de diseño específicas para CLT presentes en la bibliografía.
- ii. Determinar la aplicabilidad en Chile de las ecuaciones analizadas, verificando la compatibilidad con el modelo de fluencia de la NCh 1198 Of. 2014 (INN, 2014).
- iii. Definir los sistemas de fijación y conexión apropiados para zonas de alta sismicidad.
- iv. Establecer una metodología de diseño para el cálculo de la resistencia lateral en conexiones entre paneles de muro paralelos de CLT.
- v. Establecer requisitos de distancias y espaciamientos mínimos de los medios de unión en conexiones entre paneles de muro paralelos de CLT.

1.3. Normativas analizadas

1.3.1. Europa

- i. “Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings”, 2004 (CEN, 2004a).
- ii. “Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings”, 2004 (CEN, 2004b).

1.3.2. Canadá

- i. “CSA O86-14: Engineering design in wood”, 2014 (CSA, 2014).

1.3.3. Estados Unidos

- i. “NDS: National Design Specification for wood construction”, 2018 (AWC, 2017).

1.3.4. Chile

- i. “NCh 1198: Madera – Construcciones en madera – Cálculo”, Of. 2014 (INN, 2014).

1.3.5. Limitaciones

Las normas correspondientes al Eurocódigo 5 (CEN, 2004a) y CSA 86-14 (CSA, 2014), presentan actualizaciones en los años 2014 y 2019 respectivamente. Sin embargo, al no contar con los recursos suficientes para acceder a dichos ejemplares, se han utilizado las versiones mencionadas anteriormente y, mediante la revisión de la literatura, se han determinado los cambios correspondientes, pudiendo así desarrollar un estudio completo a pesar de las limitaciones presentadas.

2. ANTECEDENTES GENERALES

2.1. Madera

2.1.1. Definición

La NCh 173 Of. 1973 (INN, 1973) define formalmente la madera como “tejido principal de sostén y conducción de agua de los tallos y raíces”, incorporando la siguiente aclaración: “prácticamente es la parte sólida sin corteza, proveniente del tronco, ramas o raíces de un árbol” (INN, 1973).

2.1.2. Composición

La madera está principalmente formada por fibras de celulosa, las cuales conforman el esqueleto de los vegetales, y lignina, que le proporciona rigidez y dureza. Su composición principal corresponde a hidrógeno, oxígeno, carbono y nitrógeno, con cantidades menores de potasio, sodio, calcio, silicio y otros elementos. Al ser un material de origen biológico, está sujeto a la descomposición por parte de microorganismos tales como bacterias y hongos, así como el daño que puedan provocar algunos insectos; no obstante, mediante un tratamiento adecuado puede evitarse con total satisfacción su deterioro (Chile.Cubica, 2020).

2.1.3. Propiedades físicas y mecánicas

2.1.3.1. Anisotropía

La madera corresponde a un material anisotrópico ortótropo, es decir, sus propiedades mecánicas varían en función de la dirección que se considere, pero es uniforme en cada parte de los ejes considerados (Lamadera.net, 2020). De esta forma, en una pieza maderera se distinguen tres planos o superficies de importancia, y a la vez se definen tres ejes paralelos a dichas superficies los cuales se presentan en la Figura 2-1:

- i. Superficie transversal: perpendicular a las fibras de la madera y, por tanto, al eje del tronco;
- ii. Superficie tangencial: tangente a los anillos de crecimiento de la madera;
- iii. Superficie radial: paralelo a los anillos de crecimiento de la madera.

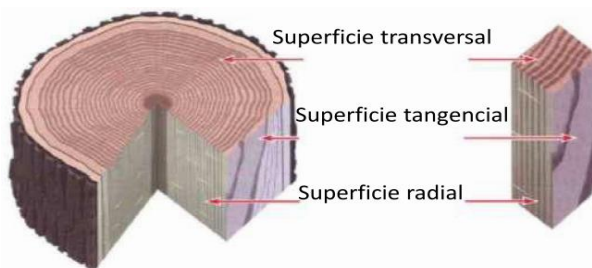


Figura 2-1. Superficies ortótropas de la madera. (García Llera, 2020)

2.1.3.2. Densidad

La densidad de la madera corresponde a la relación entre la masa y el volumen. De acuerdo con la NCh 176-2 (INN, 1988), debido al carácter higroscópico de la madera se distinguen diferentes densidades en función del contenido de humedad de esta, como lo son la densidad anhidra (0% de contenido de humedad) y normal (12% de contenido de humedad). La densidad además está correlacionada con la resistencia, ya que a mayor densidad mayor será la resistencia de la madera.

2.1.3.3. Resistencia

La resistencia está asociada a la capacidad de un material de transmitir y soportar carga. Debido a la ortotropía de la madera, la mayor resistencia mecánica está asociada a la dirección paralela a la fibra, mientras que su menor capacidad es en dirección perpendicular a la fibra.

2.1.3.4. Higroscopía y contenido de humedad

La higroscopía corresponde a la capacidad de la madera de captar y ceder humedad. El contenido de humedad corresponde a la cantidad de agua incluida dentro de la madera, la cual se expresa como un porcentaje de la masa anhidra. Por lo tanto, se deben considerar las condiciones de humedad en servicio a las cuales estará expuesta la madera, de forma que su contenido de humedad no varíe significativamente respecto de lo estimado en diseño.

2.2. Productos de madera de ingeniería

La madera aserrada es el más simple de los productos de madera elaborada, el más fácil de producir y a su vez, el que se utiliza desde hace más tiempo (FAO.ORG, 2020). Corresponde a piezas de madera maciza obtenidas por aserrado del árbol, generalmente escuadradas, es decir, con caras paralelas entre sí y cantos perpendiculares a las mismas (AITIM, 2020).

Los productos de madera de ingeniería son elaborados a partir de madera aserrada unidas mediante el uso de adhesivos estructurales u otros medios de fijación, de forma que sus aptitudes mecánicas y de densidad son conocidas, convirtiéndose así en elementos aptos para su uso estructural (Guindos, 2019). Algunos productos de madera de ingeniería son: la madera laminada encolada (MLE), que consiste en la unión de al menos dos tablas con la dirección paralela a la fibra, encoladas entre sí mediante sus caras (Guindos, 2019); y la madera contralaminada.

2.3. Madera contralaminada

La madera contralaminada o CLT (por sus siglas en inglés) es un producto de madera de ingeniería originado en Austria y Alemania en la década de los 90. Los paneles de CLT consisten en un número impar de capas de madera aserrada colocadas ortogonalmente entre sí respecto de la dirección de la fibra y encoladas a través de sus

caras anchas. Normalmente los paneles de CLT son fabricados con 3, 5 o 7 capas, como se observa en la Figura 2-2.

Usualmente se le denomina cara o lado plano a la sección del panel conformada por la superficie de las capas externas (delimitadas por las dimensiones $l \cdot b$), mientras que se usa indistintamente el término borde o lado estrecho para referirse a la superficie conformada por los bordes de las capas que componen el panel (delimitadas por las dimensiones $b \cdot D$ o $l \cdot D$).

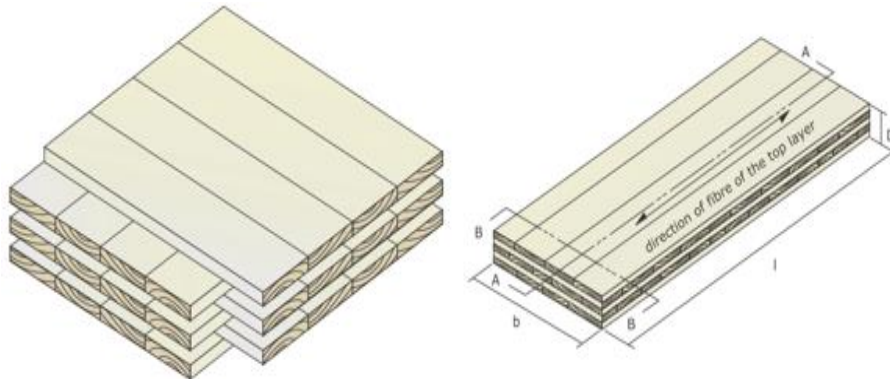


Figura 2-2. Panel de CLT con dimensiones: largo (l), ancho (b) y espesor (D). (Gagnon & Pirvu, 2011)

El espesor de las capas individuales puede variar de 10 [mm] a 50 [mm] y el ancho puede variar de aproximadamente 60 [mm] a 240 [mm]. A su vez, los tamaños de los paneles varían según los fabricantes; los anchos típicos son 0,6 [m], 1,2 [m] y 3 [m] mientras que la longitud puede ser de hasta 18 [m], con un espesor total de hasta 400 [mm] (Gagnon & Pirvu, 2011).

La madera contralaminada utilizada para paneles prefabricados de muros y losas ofrece muchas ventajas. La laminación cruzada de los paneles proporciona una estabilidad dimensional mejorada al producto, en comparación con otros productos de madera de ingeniería, lo que permite la prefabricación de paredes y losas de piso largas y anchas. Además, el laminado transversal proporciona propiedades de resistencia y rigidez en el plano y fuera del plano relativamente altas, lo que le otorga capacidades de acción bidireccional similares a una losa de hormigón armado (Gagnon & Pirvu, 2011). Adicionalmente, para conexiones con medios de unión de tipo cilíndrico la laminación cruzada genera un efecto de “refuerzo” sobre la resistencia a la división de la madera. En aplicaciones de paneles de CLT como muros, las capas externas se orientan paralelas a las cargas verticales para maximizar la resistencia del muro. Del mismo modo, para sistemas de piso y techo, se ubican los paneles de modo que la fibra de la capa externa sea paralela a la dirección principal del vano (Gagnon & Pirvu, 2011).

Las propiedades mecánicas de los paneles dependen de los maderos usados para producir los elementos de CLT. En el caso del pino radiata, las tensiones admisibles y el módulo de elasticidad se presentan en la Tabla 2-1.

Tabla 2-1. Tensiones admisibles y módulo de elasticidad en flexión para pino radiata con 12% de contenido de humedad. (INN, 2014)

Grado estructural	Tensiones admisibles de:					Módulo de elasticidad en flexión	Índice de aplastamiento en compresión normal
	Flexión	Compresión paralela	Tracción paralela	Compresión normal	Cizalle		
	F_f [Mpa]	F_{cp} [Mpa]	F_{tp} [Mpa]	F_{cn} [Mpa]	F_{cz} [Mpa]	E_f [Mpa]	$E_{cn,h}$ [Mpa/mm]
a) Visuales							
GS	11,0	8,5	6,0	2,5	1,1	10500	5,65
G1	7,5	7,5	5,0	2,5	1,1	10500	
G1 y mejor	9,5	7,8	5,5	2,5	1,1	10100	
G2	5,4	6,5	4,0	2,5	1,1	8900	
b) Mecánicos							
C24	9,3	8,0	4,7	2,5	1,1	10200	5,65
C16	5,2	7,5	3,5	2,5	1,1	7900	
MGP 10	8,4	10,0	4,0	2,5	1,3	10000	
MGP 12	13,5	15,5	6,0	2,5	1,3	12700	

2.3.1. Estatus del CLT en Europa

En Europa, el diseño de edificios y estructuras de madera se realiza de acuerdo con el Eurocódigo 5 (CEN, 2004a), el cual corresponde a la normativa vigente para los países de la Unión Europea (UE). La madera contralaminada, si bien ha visto extendido su uso notablemente los últimos 20 años en los países miembros de la UE (Muszynski, Hansen, Shanuka, Schwarzmanner, & Rainer, 2017), (Mohammad, Gagnon, Douglas, & Podesto, 2012), (Ringhofer, Brandner, & Blaß, 2017), aún no ha sido incluida en el Eurocódigo 5 (CEN, 2004a). No obstante, se cuenta con los Documentos de Idoneidad Técnica Europea ("European Technical Approval" - ETA) que corresponden a evaluaciones técnicas sobre la evaluación de desempeño de un producto (European Commission, 2020). Además, los principios generales de diseño de las estructuras de CLT se han incluido en el Anexo nacional austríaco del Eurocódigo 5 (Izzi, et al., 2018) .

Entre las construcciones más emblemáticas con CLT, destaca la Torre *Stadthaus* en Londres, que cuenta con ocho de sus nueve pisos fabricados con muros y losas de CLT (plataforma arquitectura, 2020).

2.3.2. Estatus del CLT en Norteamérica

Las normas de diseño de estructuras de madera en Canadá y de Estados Unidos, corresponden al *CSA O86-14: Engineering design in wood* (CSA, 2014) y *National Design Specification for wood construction* (AWC, 2017) respectivamente, las cuales consideran a la madera contralaminada entre sus disposiciones.

Con el fin de facilitar el conocimiento e incorporación del CLT en Norteamérica, el año 2011 en Canadá, FPInnovations desarrollo el "CLT Handbook" (Gagnon & Pirvu, 2011),

el cual provee información técnica relacionada con la fabricación, los aspectos de diseño y construcción, entre otros. En el año 2013 fue lanzada la versión estadounidense del “CLT Handbook” (Karacabeyli & Douglas, 2013), adaptando la edición canadiense del año 2011 a las condiciones imperantes en los Estados Unidos.

En Canadá y Estados Unidos, la fabricación y clasificación de paneles de CLT está regulada mediante el “Standard for Performance-Rated Cross-Laminated Timber” (APA, 2018), el cual proporciona dimensiones y tolerancias, requisitos de rendimiento, métodos de prueba, garantía de calidad y marca registrada para paneles de CLT.

En Canadá se adaptaron las ecuaciones preexistentes para otros tipos de madera (Mohammad, et al., 2018), mientras que en Estados Unidos se mantuvieron las ecuaciones existentes, agregando requisitos específicos para su uso en CLT.

La estructura más representativa construida con CLT en Norteamérica corresponde al edificio híbrido “UBC Tall Wood” de la Universidad de *Bristish Columbia* (Canadá), que cuenta con 18 pisos en total (UBC News, 2020).

2.3.3. *Estatus del CLT en Chile*

En Chile, el uso de la madera en construcción es muy limitado, donde la edificación de viviendas con este material alcanza menos del 20% del total (González, et al., 2014). Ante ese escenario, la madera contralaminada intenta erigirse como una alternativa válida para diseñadores y constructores, a través de los esfuerzos conjuntos por parte de la academia como de las autoridades gubernamentales. Desde el año 2011, tanto la Universidad del Bío Bío como la Universidad de Santiago de Chile han orientado diversas tesis de pregrado con el CLT como protagonista. A su vez, a través del Programa Estratégico Mesoregional - “INDUSTRIA DE LA MADERA DE ALTO VALOR”, CORFO acogió diferentes proyectos con el CLT como sistema constructivo, entre los que destacan la edificación de cuatro jardines infantiles JUNJI.

La norma que rige el diseño estructural en madera corresponde a la NCh 1198: Madera - Construcción en Madera – Cálculo (INN, 2014), la cual no considera a la madera contralaminada en sus disposiciones. Tampoco existen documentos técnicos para su proceso de fabricación, debiendo recurrir a las normativas extranjeras.

Para su uso y aplicabilidad en Chile, el Departamento de Ingeniería en Obras Civiles de la Universidad de Santiago desarrolló una investigación patrocinada por CORFO, que derivó en el texto “Sistema Constructivo en Madera Contralaminada para Edificios (González, et al., 2014), y en el cual se pueden encontrar las propiedades mecánicas de paneles de CLT fabricados con pino radiata crecido en territorio nacional, con una densidad de 470 [kg/m³] al 12% de contenido de humedad. Dicha investigación ha permitido el desarrollo de un anteproyecto de norma de fabricación de paneles contralaminados utilizando pino radiata crecido en Chile. Los principales resultados de las propiedades mecánicas de los paneles ensayados en esta campaña experimental, en conformidad con la NCh 806 Of. 71 (INN, 1971), se enumeran a continuación:

- i. Ensayo de carga horizontal: carga de rotura promedio de 6,79 [T/m], clasificación en categoría RH3b.

- ii. Ensayo de compresión: carga máxima registrada de 63,3 [T/m], clasificación en categoría RC3b.
- iii. Ensayo de flexión: carga máxima promedio de 23,2 [T], clasificación en categoría RT3c.

Estudios adicionales desarrollados por el Departamento de Ingeniería en Obras Civiles de la Universidad de Santiago, han permitido determinar un valor conservador de $R = 2$ para el factor de modificación de la respuesta, para estructuras de CLT provistas de medios dúctiles de conexión (González, et al., 2014).

3. CAPACIDAD LATERAL EN CONEXIONES EN MIEMBROS DE MADERA

Las conexiones entre paneles de muros de CLT paralelos deben diseñarse para transferir fuerzas de corte en el plano (Hossain, Popovski, & Tannert, 2019), (Lee Richardson, 2015). A su vez, los medios de unión de tipo cilíndrico en las conexiones disipativas deben ser instalados perpendicular a la dirección de la carga que es transferida, de modo que estén sometidos a cargas de corte (Mohammad, Gagnon, Douglas, & Podesto, 2012). Por lo tanto, en este capítulo se analizará la capacidad de carga de extracción lateral de las conexiones con medios de unión de tipo cilíndrico y los parámetros más influyentes.



Figura 3-1. Unión de corte simple entre miembros de madera. (Izzi, et al., 2018)

3.1. Capacidad a corte en medios de unión de tipo cilíndrico

3.1.1. Acción del medio de unión

Cuando un medio de unión está sometido a una fuerza perpendicular a su eje (Figura 3-1), ejerce presión contra los miembros de madera circundantes, los que a su vez crean una presión de aplastamiento contra el medio de unión, como se observa en la Figura 3-2. Debido a esta presión de aplastamiento, el medio de unión actúa como una viga sometida a carga distribuida, cuyo comportamiento estará influenciado principalmente por su tamaño (diámetro): si es robusto, permanecerá recto y no se flectará (Figura 3-2(a)); sin embargo, si el diámetro es pequeño, presentará deformación por flexión (Figura 3-2(b)), pudiendo desarrollar una o más rótulas plásticas, según la cantidad de miembros que atraviese.

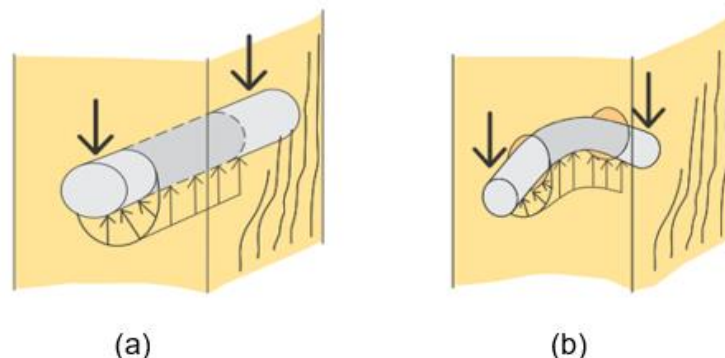


Figura 3-2. Mecanismo de aplastamiento del medio de unión. (Swedish Forest Industries Federation, 2016a)

Una vez que el medio de unión se deforma, la resistencia al corte se puede ver complementada mediante su resistencia a tracción (Swedish Forest Industries Federation, 2016a). Este fenómeno es conocido como efecto cuerda y solo ha sido considerado en la normativa europea, como se describe en la sección 3.2.1.3.

3.1.2. *Parámetros influyentes del material*

La capacidad de carga de una conexión con medios de unión de tipo cilíndrico sometida a corte se encuentra influenciada por tres parámetros propios de los materiales involucrados: resistencia al aplastamiento de la madera, resistencia del medio de unión en flexión y la capacidad de anclaje que permite el desarrollo de tracción en el medio de unión.

3.1.2.1. Resistencia al aplastamiento de la madera

La resistencia al aplastamiento es la presión que puede soportar la madera circundante a un medio de unión cargado lateralmente (Ringhofer, Brandner, & Blaß, 2017). Esta capacidad de la madera está influenciada por varios parámetros como son la densidad y contenido de humedad de la madera, el diámetro del medio de unión, el ángulo relativo entre la fibra de la madera y la dirección de la carga, y si el agujero utiliza perforación previa entre otros (Swedish Forest Industries Federation, 2016a), como sigue:

- i. Una mayor densidad o el uso de medios de unión de diámetro pequeño aumenta la resistencia de aplastamiento, mientras que un alto contenido de humedad afecta negativamente la resistencia de la madera.
- ii. La influencia de la dirección de la carga está asociada a la anisotropía de la madera, donde su mayor resistencia es paralela a la fibra y la menor ante carga perpendicular a esta.
- iii. La aplicación de perforación previa permite que ante carga paralela a la fibra, la mayor parte de la carga sea resistida mediante compresión paralela (Figura 3-3(a)), mientras que, en medios de unión colocados sin perforación previa, la resistencia al aplastamiento de la madera es resistida mediante una acción conjunta de compresión paralela y perpendicular a la fibra, como se observa en la Figura 3-3(b).

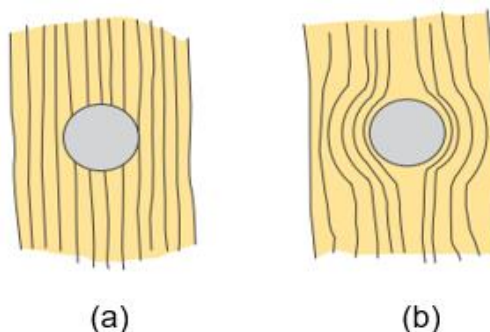


Figura 3-3. Influencia de la perforación previa en el aplastamiento del medio de unión. (Swedish Forest Industries Federation, 2016a)

3.1.2.2. Resistencia a flexión del medio de unión

La resistencia a flexión del medio de unión está referida al momento necesario para producir la plastificación de su sección transversal, es decir, desarrollar una rótula plástica. Esta capacidad de deformación es muy importante en el diseño de conexiones disipativas, ya que otorgan la ductilidad requerida mientras los miembros de madera permanecen el rango elástico. Las diferentes normas estudiadas consideran la plastificación parcial o total de la sección transversal, como se describe en la sección 3.2.

3.1.3. Teoría de fluencia de Johansen

La resistencia ante carga en extracción lateral de las conexiones con medios de unión de tipo cilíndrico está basada en la teoría propuesta por K. W. Johansen (Johansen, 1949), la cual fue derivada a partir de un análisis estático en conexiones entre miembros de madera usando pernos (Rammer & Line, 2006), considerando un comportamiento perfectamente plástico de los materiales involucrados.

El modelo de fluencia de Johansen predice la fluencia de las conexiones con medios de unión de tipo cilíndrico en una conexión entre miembros de madera cargada lateralmente en función del espesor de los miembros conectados, la resistencia al aplastamiento de la madera, el diámetro y la resistencia a flexión del medio de unión. Los mecanismos de falla se explican en 3.1.3.2 y se observan en la Figura 3-4, entre los cuales se distinguen tres modos principales, asociados a la cantidad de rótulas plásticas que se forman en el medio de unión:

- i. Modo de falla I, si el medio de unión no presenta fluencia;
- ii. Modo de falla II si hay formación de una rótula plástica en el medio de unión y;
- iii. Modo de falla III cuando se logra la formación de dos rótulas plásticas en el medio de unión.

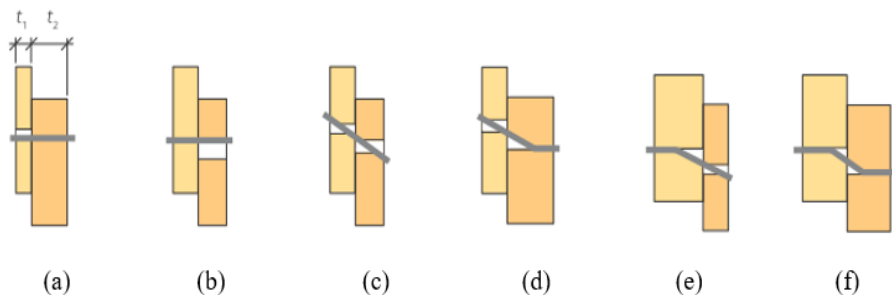


Figura 3-4. Modos de fluencia de Johansen. Modo I, figuras (a), (b) y (c); Modo II, figuras (d) y (e); y Modo III, figura (f). (Swedish Forest Industries Federation, 2016a)

3.1.3.1. Supuestos del modelo de fluencia de Johansen

- i. El modelo de fluencia supone que la resistencia de la conexión es alcanzada cuando se excede la resistencia a la compresión debajo del medio de unión o se forma una o más rótulas plásticas en el medio de unión (AWC, 2015).

- ii. La carga está uniformemente distribuida en el medio de unión y perpendicular a su eje (AWC, 2015).
- iii. Comportamiento de la conexión de acuerdo a los modos de fluencia descritos en la Figura 3-4, es decir, se evitan los modos de falla frágil como división o desgarro de la madera. Esto es normalmente es garantizado siguiendo las reglas de detalle estructural y cumplimiento de los requisitos mínimos de espesores de los miembros conectados (Larsen & Enjily, 2009).
- iv. Comportamiento perfectamente plástico tanto de los miembros de madera como del medio de unión, como se observa en la Figura 3-5.

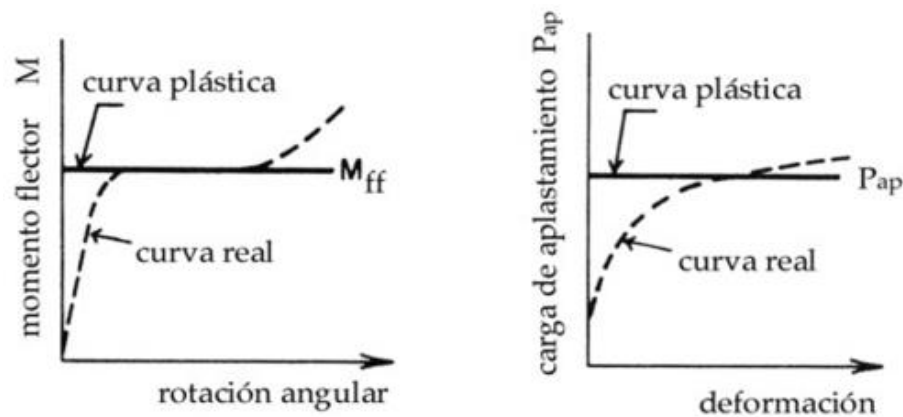


Figura 3-5. Comportamiento plástico de los materiales involucrados en una conexión de madera.
(Wagner, 2018)

3.1.3.2. Modos de falla en el modelo de fluencia de Johansen

3.1.3.2.1. Modo de falla I

En el modo de falla I ocurre un aplastamiento de los miembros de madera, permaneciendo el medio de unión sin deformación. Si el medio de unión cuenta con un diámetro suficiente para permanecer rígido ante la sollicitación lateral, mientras que la densidad y/o el espesor de los miembros de madera conectados es baja (Eberwein, 2018), la falla puede ser por aplastamiento del miembro lateral (Modo I_{lateral}, Figura 3-4(a)), aplastamiento del miembro principal (Modo I_{principal}, Figura 3-4(b)) o aplastamiento simultáneo de los miembros lateral y principal, debido al pivoteo del medio de unión en torno al plano de cizalle (Modo I_{lateral y principal}, Figura 3-4(c)).

El modo de falla I no es adecuado para conexiones disipativas, debido a la baja ductilidad que presenta.

3.1.3.2.2. Modo de falla II

En el modo de falla II ocurre la fluencia del medio de unión a través de la formación de una rótula plástica. Si el espesor, la longitud de aplastamiento y/o la densidad de los miembros conectados es alta, y el medio de unión utilizado en la conexión no tiene el diámetro suficiente para mantenerse rígido ante la carga aplicada (Eberwein, 2018), este

se flectará dentro de la madera generando una rótula plástica, la cual puede estar localizada en el miembro principal (Modo II_{lateral}, Figura 3-4(d)) o en el miembro lateral (Modo II_{principal}, Figura 3-4(e)).

El modo de falla II es adecuado para conexiones disipativas debido a que involucra la deformación en fluencia del medio de unión, otorgándole capacidad de deformación a la conexión.

3.1.3.2.3. *Modo de falla III*

En el modo de falla III ocurre la fluencia del medio de unión a través de la formación de rótulas plásticas en cada uno de los miembros conectados (Modo III, Figura 3-4(f)). Similar al caso del modo de falla II, este modo de falla ocurrirá si el espesor, la longitud de aplastamiento y/o la densidad de los miembros conectados es alta, y el medio de unión utilizado en la conexión no tiene el diámetro suficiente para mantenerse rígido ante la carga aplicada (Eberwein, 2018), flectándose dentro de los maderos conectados.

El modo de falla III es el más satisfactorio para conexiones disipativas debido a la alta ductilidad que presenta al involucrar de mayor forma la capacidad de deformación del medio de unión.

3.2. **Capacidad de corte en las normativas analizadas**

3.2.1. *Capacidad de carga en extracción lateral en EC5*

Si bien en Europa el uso de la madera contralaminada es extenso, el Eurocódigo 5 (CEN, 2004a) aún no incluye a este producto de madera de ingeniería entre sus disposiciones. No obstante, sí ha sido considerado en algunos Anexos Nacionales al Eurocódigo, como el correspondiente a Austria (Izzi, et al., 2018).

Uibel & Blaß (Uibel & Blaß, 2006) investigaron la capacidad de carga en distintas configuraciones de unión entre paneles de CLT, desarrollando diferentes modelos para diferentes tipos de medios de unión debido a que, en medios de unión esbeltos, como el caso de tornillos y clavos, el efecto de la dirección de la carga respecto a la fibra suele ser insignificante (Muñoz, Mohammad, & Gagnon, 2010).

Los principales resultados obtenidos de dichos estudios corresponden a la derivación de ecuaciones específicas para el cálculo de resistencia al aplastamiento de medios de unión de tipo cilíndrico en paneles de CLT que cumplan con condiciones de “armado” específico, así como la recomendación del uso de las ecuaciones contenidas en el Eurocódigo 5 (CEN, 2004a) para madera maciza. La capacidad de carga en extracción lateral se determina a su vez, mediante el modelo de fluencia europeo provisto por el EC5 (CEN, 2004a) y presentado a continuación.

Las ecuaciones de capacidad de carga en extracción lateral del Eurocódigo 5 (CEN, 2004a), basadas en el modelo de fluencia de Johansen (Johansen, 1949), se presentan en la Tabla 3-1.

Tabla 3-1. Modelo de fluencia de Eurocódigo 5 para medios de unión solicitados en extracción lateral. (CEN, 2004a)

Modo de Falla	Ecuación
I lateral: (a), (g)	$F_{v,Rk} = f_{h,1,k} \cdot D_{ef} \cdot t_1$
I principal: (b), (h)	$F_{v,Rk} = f_{h,2,k} \cdot D_{ef} \cdot t_2$
I lateral y principal: (c)	$F_{v,Rk} = \frac{f_{h,1,k} \cdot D_{ef} \cdot t_1}{1 + \beta} \cdot \left(\sqrt{\beta + 2 \cdot \beta^2 \cdot \left(1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right)} + \beta^3 \cdot \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 - \beta \cdot \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right) + \Gamma$
II lateral: (d), (j)	$F_{v,Rk} = 1,05 \cdot \frac{f_{h,1,k} \cdot D_{ef} \cdot t_1}{2 + \beta} \cdot \left(\sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot D_{ef} \cdot t_1^2}} - \beta \right) + \Gamma$
II principal: (e)	$F_{v,Rk} = 1,05 \cdot \frac{f_{h,1,k} \cdot D_{ef} \cdot t_2}{(1 + 2 \cdot \beta)} \cdot \left(\sqrt{2 \cdot \beta^2 (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (1 + 2 \cdot \beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot D_{ef} \cdot t_2^2}} - \beta \right) + \Gamma$
III: (f)	$F_{v,Rk} = 1,15 \cdot \sqrt{\frac{(2 \cdot \beta)}{(1 + \beta)}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot D_{ef}} + \Gamma$

En relación a la Tabla 3-1, se tiene:

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} \quad (3-1)$$

$F_{v,Rk}$: capacidad de carga en extracción lateral por medio de unión, [N].

$f_{h,1,k}$: resistencia al aplastamiento característica del miembro lateral, [MPa], según se define en 3.2.1.1.

$f_{h,2,k}$: resistencia al aplastamiento característica del miembro principal, [MPa], según se define en 3.2.1.1.

t_1 : longitud de apoyo del medio de unión en el miembro lateral, [mm].

t_2 : longitud de apoyo del medio de unión en el miembro principal, [mm], sin considerar la longitud de la punta.

$M_{y,Rk}$: momento de fluencia característico del medio de unión, [Nmm], según se define en 3.2.1.2.

D_{ef} : diámetro efectivo del medio de unión, [mm], según se define en 3.2.1.5.1.

Γ : contribución del efecto cuerda, [N], según se define en 3.2.1.3.

3.2.1.1. Resistencia al aplastamiento característica

3.2.1.1.1. Ecuación del EC5 para tornillos con diámetro $D \leq 6$ [mm]

Para tornillos con diámetro $D \leq 6$ [mm], la resistencia al aplastamiento característica se debe calcular considerando las ecuaciones dadas para clavos, las cuales diferencian según el uso de perforación previa.

- Sin perforación previa:

$$f_{h,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot D^{-0,3} \quad (3-2)$$

- Con perforación previa:

$$f_{h,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot (1 - 0,01 \cdot D) \quad (3-3)$$

$f_{h,k}$: resistencia al aplastamiento característica, [MPa].

ρ_k : densidad característica de la madera, [kg/m³].

D : diámetro del medio de unión, [mm].

La consideración de perforación previa puede generar una diferencia en la estimación del valor de resistencia al aplastamiento característica de hasta un 38%, como se muestra en la Figura 3-6.

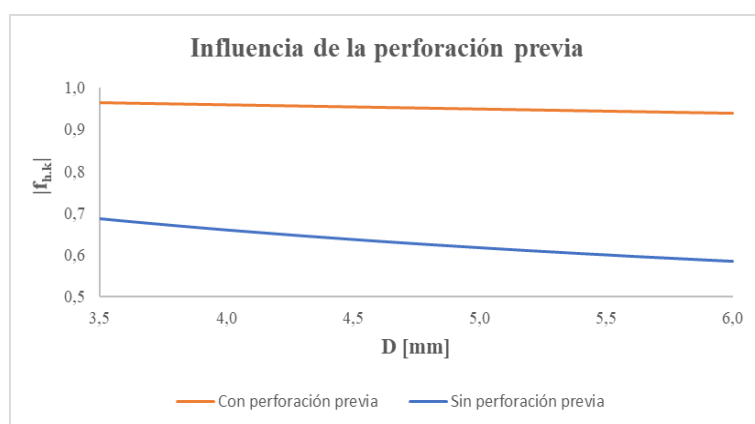


Figura 3-6. Influencia de la perforación previa en la resistencia al aplastamiento en función del diámetro del medio de unión.

De acuerdo con el ETA-06/0009 (European Technical Assessment, 2017), que regula el uso de “elementos de losa de madera maciza para ser usados como elemento estructural en edificios” e incluye los paneles de CLT en sus disposiciones, las ecuaciones (3-2) y (3-3) son válidas en conexiones entre elementos de losa de madera maciza que utilicen tornillos autorroscantes insertados perpendicularmente a la capa externa del panel.

3.2.1.1.2. Ecuación del EC5 para tornillos con diámetro $D > 6$ [mm]

Para tornillos con $D > 6$ [mm], los valores característicos de resistencia al aplastamiento se determinan con las ecuaciones dadas para pernos, como sigue:

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2(\alpha) + \cos^2(\alpha)} \quad (3-4)$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot (1 - 0,01 \cdot D) \quad (3-5)$$

$$k_{90} = \begin{cases} 1,35 + 0,015 \cdot D, & \text{para maderas blandas} \\ 1,30 + 0,015 \cdot D, & \text{para LVL} \\ 0,90 + 0,015 \cdot D, & \text{para maderas duras} \end{cases} \quad (3-6)$$

$f_{h,\alpha,k}$: resistencia al aplastamiento característica para carga en ángulo a la fibra, [MPa].

$f_{h,0,k}$: resistencia al aplastamiento característica paralela a la fibra, [MPa].

ρ_k : densidad característica de la madera, [kg/m³].

α : ángulo entre la fuerza y la dirección de la fibra de la capa externa, [°].

D : diámetro del medio de unión, [mm].

3.2.1.1.3. Ecuación de Uibel & Blaß para pasadores

Uibel & Blaß (Uibel & Blaß, 2006) investigaron la capacidad de carga de uniones con medios de unión de tipo cilíndrico en CLT. Basándose en los resultados de 438 tests realizados con pasadores de 6, 8, 12, 16 y 24 [mm] de diámetro instalados perpendiculares al plano del panel y cargados en ángulos de 0°, 45° y 90° respecto a la orientación de la fibra de la capa externa (eje fuerte del panel). Los autores derivaron una ecuación para establecer la resistencia al aplastamiento $f_{h,pred}$ en CLT, la cual está dada por la ecuación (3-7):

$$f_{h,pred} = \frac{0,035 \cdot (1 - 0,015 \cdot D) \cdot \rho^{1,16}}{1,1 \cdot \sin^2(\alpha) + \cos^2(\alpha)} \quad (3-7)$$

$f_{h,pred}$: resistencia al aplastamiento para CLT, [N/mm²].

D : diámetro del medio de unión, [mm].

ρ : densidad del panel de CLT, [kg/m³].

α : ángulo entre la fuerza y la dirección de la fibra de la capa externa, [°].

Para ser utilizada en conjunto con las disposiciones del Eurocódigo 5 (CEN, 2004a), la ecuación anterior fue ajustada para predecir la capacidad característica, como sigue:

$$f_{h,k} = \frac{0,031 \cdot (1 - 0,015 \cdot D) \cdot \rho_k^{1,16}}{1,1 \cdot \sin^2(\alpha) + \cos^2(\alpha)} \quad (3-8)$$

$f_{h,k}$: resistencia al aplastamiento característica, [N/mm²].

ρ_k : densidad característica del panel de CLT, [kg/m³].

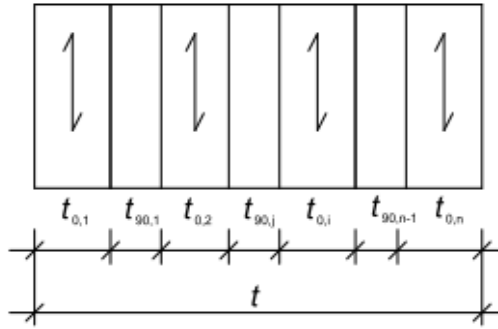


Figura 3-7. Distribución de las capas en el panel de CLT. (Uibel & Blaß, 2006)

El modelo anterior está limitado a las siguientes condiciones:

- Espesor máximo de una capa (t_i): 40 [mm].
- Relación ζ entre el espesor de las capas longitudinales y transversales, como se define en la Figura 3-7:

$$0,95 < \zeta = \frac{\sum t_{0,i}}{\sum t_{90,j}} < 2,1 \quad (3-9)$$

3.2.1.1.4. Ecuación de Uibel & Blaß para tornillos y clavos

Con base en un análisis de 179 pruebas en clavos de 4,2 [mm] de diámetro y tornillos de 6, 8 y 12 [mm] de diámetro (Uibel & Blaß, 2006), se estableció la siguiente relación para la resistencia al aplastamiento en paneles de CLT con un espesor máximo de cada capa de 9 [mm] ($t_i \leq 9$ [mm]):

$$f_{h,pred} = 0,13 \cdot D^{-0,53} \cdot \rho^{1,05} \quad (3-10)$$

$f_{h,k}$: resistencia al aplastamiento, [N/mm²].

D : diámetro nominal en clavos y diámetro externo de la rosca en tornillos, [mm].

ρ : densidad del panel de CLT, [kg/m³].

La resistencia al aplastamiento característica, está dada por la siguiente ecuación:

$$f_{h,k} = 0,112 \cdot D^{-0,5} \cdot \rho_k^{1,05} \quad (3-11)$$

$f_{h,k}$: resistencia al aplastamiento característica, [N/mm²].

ρ_k : densidad característica del panel de CLT, [kg/m³].

Debido a las limitaciones prácticas asociadas al espesor de panel, los mismos autores recomiendan utilizar las ecuaciones para madera maciza del Eurocódigo 5 (CEN, 2004a) para paneles de espesor mayor a 9 [mm] (Ringhofer, Brandner, & Blaß, 2017), (Uibel & Blaß, 2006).

3.2.1.2. Momento de fluencia característico

Blaß (Blaß, Bienhaus, & Krämer, 2001) observó en pruebas con medios de unión de tipo cilíndrico que en los modos de falla con formación de rótula plástica (Figura 3-4(d)-(f)),

la rótula a menudo no se desarrolla completamente. De esta forma, propuso el uso del momento efectivo de fluencia en las ecuaciones de Johansen (Johansen, 1949), que corresponde al estado de plastificación parcial del medio de unión, como se observa en la Figura 3-8(b).

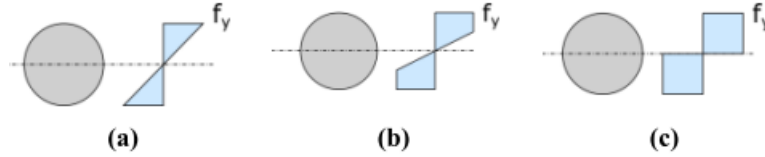


Figura 3-8. Estado de esfuerzos en el medio de unión: (a) Momento de fluencia elástico, (b) Momento de fluencia efectivo y (c) Momento de fluencia plástico. (Ottenhaus, Li, Smith, & Quenneville, 2017)

El Eurocódigo 5 (CEN, 2004a) adoptó el momento efectivo de fluencia propuesto por Blaß (Blaß, Bienhaus, & Krämer, 2001), con el fin de incentivar el uso de medios de unión de diámetro pequeño y con ello el diseño dúctil de las conexiones en madera (Ottenhaus, Li, Smith, & Quenneville, 2017).

3.2.1.2.1. Tornillos con diámetro no mayor a 6 [mm]

Para tornillos con diámetro $D \leq 6$ [mm], el momento de fluencia se debe calcular como si fuera un clavo, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$M_{y,Rk} = \begin{cases} 0,3 \cdot f_u \cdot D_{ef}^{2,6}, & \text{para round nails} \\ 0,45 \cdot f_u \cdot D_{ef}^{2,6}, & \text{para square y grooved nails} \end{cases} \quad (3-12)$$

$M_{y,Rk}$: momento de fluencia característico, [Nmm].

f_u : resistencia de tracción del acero, [MPa].

D_{ef} : diámetro efectivo del medio de unión, [mm].

Si bien en EC5 (CEN, 2004a) no se indica cuál de las dos ecuaciones para clavos usar, algunos textos (Larsen & Enjily, 2009), (Ottenhaus, Li, Smith, & Quenneville, 2017), (Porteus & Kermani, 2007), (TEMTIS, 2008) consideran la ecuación para clavos redondos en el diseño de uniones con tornillos.

3.2.1.2.2. Tornillos con diámetro mayor a 6 [mm]

Para tornillos con diámetro $D > 6$ [mm], el momento de fluencia se calcula considerando el tornillo como si fuera un perno, mediante la siguiente ecuación:

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot D^{2,6} \quad (3-13)$$

$M_{y,Rk}$: momento de fluencia característico, [Nmm].

$f_{u,k}$: resistencia a tracción característica del acero, [MPa].

D : diámetro nominal del medio de unión, [mm].

3.2.1.3. Efecto cuerda en EC5

En los modos de falla en que el medio de unión rota o se flecta (Figura 3-4(c)-(f)), parte de la carga que es resistida mediante una acción de corte en la conexión puede ser complementada mediante la acción de tracción. Este efecto, que depende de la superficie en contacto con la madera y la capacidad de anclaje del medio de unión, se conoce como efecto cuerda y se debe a la fricción que se genera al incrustarse el medio de unión en los miembros conectados. La superficie del medio de unión puede tener una alta resistencia a la extracción directa F_{ax} , debido a la existencia de una porción roscada, como en tornillos o tirafondos. A su vez, la capacidad de anclaje del medio de unión puede mejorarse mediante el uso de arandelas y tuercas en el lado de la cabeza o la punta (Swedish Forest Industries Federation, 2016a).

El efecto cuerda ha sido incluido únicamente en la normativa europea y su contribución está limitada a un porcentaje de la resistencia lateral obtenida con las ecuaciones de fluencia de Johansen, el cual varía según el tipo de medio de unión utilizado mediante la siguiente relación:

$$\Gamma = \min \left\{ \frac{F_{ax,Rk}}{4}, \xi \cdot F_{Jh} \right\} \quad (3-14)$$

Γ : contribución del efecto cuerda, [N].

$F_{ax,Rk}$: menor valor de la capacidad axial del medio de unión.

F_{Jh} : capacidad admisible de carga en extracción lateral determinada con las ecuaciones de fluencia de Johansen (Tabla 3-1), [N].

ξ : porcentaje de contribución del efecto cuerda, de acuerdo con Tabla 3-2.

Si el valor de $F_{ax,Rk}$ no se conoce, el efecto cuerda Γ no debe ser considerado (CEN, 2004a).

Tabla 3-2. Porcentaje de contribución del efecto cuerda según el medio de unión. (CEN, 2004a)

Tipo de medio de unión	Porcentaje de contribución ξ
Pasadores	0 %
Clavos redondos	15 %
Clavos cuadrados y roscados	25 %
Otro tipo de clavos	50 %
Pernos	25 %
Tornillos	100 %

3.2.1.4. Capacidad de carga en extracción lateral de diseño en EC5

El Eurocódigo 5 (CEN, 2004a) utiliza el método de diseño de estados límites (LSD), donde la capacidad de carga en extracción lateral de diseño de una conexión con medios de unión de tipo cilíndrico, está dada por la siguiente ecuación:

$$F_{v,Rd} = F_{v,Rk} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot n_{ef} \quad (3-15)$$

$F_{v,Rd}$: capacidad de carga en extracción lateral de diseño del medio de unión, [N].

$F_{v,Rk}$: capacidad de carga en extracción lateral característica del medio de unión, [N].

k_{mod} : factor de modificación de la resistencia, según se define en A.2.

γ_M : coeficiente de seguridad parcial del material, según se define en A.2.

n_{ef} : número efectivo de medios de unión, según se define en Anexo A.2

La capacidad admisible de carga en extracción lateral $F_{v,ad}$, corresponde al menor valor determinado mediante las ecuaciones de capacidad de carga en extracción lateral $F_{v,Rk}$ presentadas en la Tabla 3-1.

3.2.1.5. Otras consideraciones de diseño en EC5

3.2.1.5.1. *Diámetro efectivo*

El diámetro efectivo D_{ef} del medio de unión se determinará como sigue:

- i. $D_{ef} = D$, para tornillos donde el diámetro externo de la zona roscada D_R sea igual al diámetro del vástago liso D , siempre que la longitud de penetración en el miembro principal sea al menos $4 \cdot D$.
- ii. $D_{ef} = 1,1 \cdot D_r$, donde D_r corresponde al diámetro interno (raíz) de la zona roscada, cuando no se cumplan las condiciones para $D_{ef} = D$.

3.2.1.5.2. *Penetración mínima en el miembro principal*

La longitud de penetración en el miembro principal (t_2) no debe ser menor que $10 \cdot D$.

3.2.1.5.3. *Estructuras con comportamiento disipativo*

Además de las reglas definidas en EC5 (CEN, 2004a), para el diseño de edificios de madera se aplican reglas adicionales dadas en “Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance” (CEN, 2004b). De acuerdo con EC8 (CEN, 2004b) los edificios de madera diseñados bajo el concepto de estructura con comportamiento disipativo, deben disponer de zonas disipativas ubicadas en las conexiones. Tal como se explica en el Capítulo 4, las estructuras de CLT son diseñadas bajo este concepto. Por lo tanto, para la verificación de los estados límites últimos, deben utilizarse los coeficientes de seguridad parcial del material (γ_M) para combinaciones accidentales, definido en el Anexo A.2.

3.2.2. *Ecuaciones de resistencia lateral en CSA O86-14*

Para introducir la madera contralaminada en las disposiciones de la normativa canadiense, el Comité Técnico responsable optó por adoptar las ecuaciones que proporcionaran los valores más conservadores de resistencia para pernos, pasadores, tirafondos, tornillos y clavos, basado en las comparaciones con las ecuaciones propuestas por Uibel & Blaß (Mohammad, et al., 2018). Por simplicidad, se decidió utilizar las ecuaciones existentes para madera aserrada y madera encolada y

modificarlas por un factor de uso en CLT, J_x (Ringhofer, Brandner, & Blaß, 2017), (Mohammad, 2017), (Rocchi, 2017), (Mohammad, et al., 2018).

Las ecuaciones de capacidad de carga en extracción lateral del CSA O86-14 para tornillos y tirafondos se presentan en las Tabla 3-3 y Tabla 3-4, respectivamente.

Tabla 3-3. Modelo de fluencia de CSA O86 para tornillos solicitados en extracción lateral. (CSA, 2014)

Modo de Falla	Ecuación
I lateral: (a)	$n_u = f_1 \cdot D \cdot t_1$
I principal: (b)	$n_u = f_2 \cdot D \cdot t_2$
II lateral: (d)	$n_u = f_1 \cdot D^2 \cdot \left(\sqrt{\frac{1}{6} \cdot \frac{f_3}{(f_1 + f_3)} \cdot \frac{f_y}{f_1}} + \frac{1}{5} \cdot \frac{t_1}{D} \right)$
II principal: (e)	$n_u = f_1 \cdot D^2 \cdot \left(\sqrt{\frac{1}{6} \cdot \frac{f_3}{(f_1 + f_3)} \cdot \frac{f_y}{f_1}} + \frac{1}{5} \cdot \frac{t_2}{D} \right)$
I lateral y principal: (f)	$n_u = f_1 \cdot D^2 \cdot \frac{1}{5} \cdot \left(\frac{t_1}{D} + \frac{f_2}{f_1} \cdot \frac{t_2}{D} \right)$
III: (g)	$n_u = f_1 \cdot D^2 \cdot \sqrt{\frac{2}{3} \cdot \frac{f_3}{(f_1 + f_3)} \cdot \frac{f_y}{f_1}}$

Tabla 3-4. Modelo de fluencia de CSA O86 para tirafondos solicitados en extracción lateral. (CSA, 2014)

Modo de Falla	Ecuación
I lateral: (a)	$n_u = f_1 \cdot D \cdot t_1$
I principal: (b)	$n_u = f_2 \cdot D \cdot t_2$
II lateral: (c)	$n_u = f_1 \cdot D^2 \cdot \left(\sqrt{\frac{1}{6} \cdot \frac{f_2}{(f_1 + f_2)} \cdot \frac{f_y}{f_1}} + \frac{1}{5} \cdot \frac{t_1}{D} \right)$
II principal: (d)	$n_u = f_1 \cdot D^2 \cdot \left(\sqrt{\frac{1}{6} \cdot \frac{f_2}{(f_1 + f_2)} \cdot \frac{f_y}{f_1}} + \frac{1}{5} \cdot \frac{t_2}{D} \right)$
I lateral y principal: (e)	$n_u = f_1 \cdot D^2 \cdot \frac{1}{5} \cdot \left(\frac{t_1}{D} + \frac{f_2}{f_1} \cdot \frac{t_2}{D} \right)$
III: (f)	$n_u = f_1 \cdot D^2 \cdot \sqrt{\frac{2}{3} \cdot \frac{f_2}{(f_1 + f_2)} \cdot \frac{f_y}{f_1}}$

En relación a las Tabla 3-3 y Tabla 3-4, se tiene:

n_u : capacidad admisible de carga en extracción lateral por medio de unión, [N].

f_1 : resistencia al aplastamiento del miembro lateral, [MPa], según se define en 3.2.2.1.

f_2 : resistencia al aplastamiento del miembro principal cuando la falla es por aplastamiento de la madera (tornillos) o resistencia al aplastamiento del miembro principal (tirafondos), [MPa], según se define en 3.2.2.1.

- f_3 : resistencia al aplastamiento del miembro principal cuando la falla es por fluencia del medio de unión, [MPa], según se define en 3.2.2.1.
- f_y : resistencia de fluencia del medio de unión, [MPa], según se define en 3.2.2.2.
- t_1 : longitud de apoyo del medio de unión en el miembro lateral, [mm].
- t_2 : longitud de apoyo del medio de unión en el miembro principal sin considerar la longitud de la punta, [mm].
- D : diámetro del medio de unión, [mm].

Puede observarse que las ecuaciones de la norma canadiense presentan un formato más simple que el Eurocódigo 5 (CEN, 2004a), al incluir directamente la resistencia al aplastamiento según el tipo de falla. A su vez, estas ecuaciones no consideran el efecto cuerda entre los mecanismos de respuesta ante carga en extracción lateral.

3.2.2.1. Resistencia al aplastamiento

Los ajustes realizados en las ecuaciones del CSA O86-14 (CSA, 2014) aplican directamente sobre la resistencia al aplastamiento de los medios de unión. Las ecuaciones adaptadas se presentan a continuación.

3.2.2.1.1. Tornillos

(i) Para el miembro lateral, la resistencia al aplastamiento f_1 es:

$$f_1 = 50 \cdot G \cdot (1 - 0,01 \cdot D) \cdot J_x \quad (3-16)$$

$$J_x = 0,9 \quad (3-17)$$

(ii) Para el miembro principal, si la falla es por aplastamiento de la madera, la resistencia al aplastamiento f_2 es:

$$f_2 = 50 \cdot G \cdot (1 - 0,01 \cdot D) \cdot J_x \quad (3-18)$$

$$J_x = 0,9 \quad (3-19)$$

(iii) Para el miembro principal, si la falla es por fluencia del medio de unión, la resistencia al aplastamiento f_3 es:

$$f_3 = 110 \cdot G^{1,8} \cdot (1 - 0,01 \cdot D) \cdot J_x \quad (3-20)$$

$$J_x = 0,8 \quad (3-21)$$

G : densidad relativa media.

J_x : factor de ajuste para CLT.

3.2.2.1.1.1. Tirafondos

Para tirafondos se tienen diferentes ecuaciones según la dirección de la carga respecto a la fibra.

(i) Para el miembro lateral, la resistencia al aplastamiento f_1 es:

$$f_1 = \begin{cases} 50 \cdot G \cdot (1 - 0,01 \cdot D) \cdot J_x, & \text{para carga paralela a la fibra} \\ 22 \cdot G \cdot (1 - 0,01 \cdot D), & \text{para carga perpendicular a la fibra} \end{cases} \quad (3-22)$$

$$J_x = 0,9 \quad (3-23)$$

(ii) Para el miembro principal, la resistencia al aplastamiento f_2 es:

$$f_2 = \begin{cases} 50 \cdot G \cdot (1 - 0,01 \cdot D) \cdot J_x, & \text{para carga paralela a la fibra} \\ 22 \cdot G \cdot (1 - 0,01 \cdot D), & \text{para carga perpendicular a la fibra} \end{cases} \quad (3-24)$$

$$J_x = 0,9 \quad (3-25)$$

J_x : factor de ajuste para CLT.

3.2.2.2. Resistencia de fluencia a flexión

La norma CSA O86-14 (CSA, 2014) considera en los cálculos de la capacidad de carga en extracción lateral la resistencia de fluencia a flexión del medio de unión, F_y .

3.2.2.2.1. Tornillos con diámetro no mayor a 5,48 [mm]

Para tornillos que cumplen con ASME B18.6.1. se proporcionan valores específicos de acuerdo con el diámetro con diámetro hasta 5,48 [mm], los cuales se presentan en la Tabla 3-5, permitiendo la interpolación lineal entre los rangos establecidos.

Tabla 3-5. Diámetro y resistencia de fluencia mínima. (CSA, 2014)

Diámetro [mm]	3,50	4,16	4,82	5,48
Resistencia de fluencia mínima [Mpa]	690	620	550	550

Para diámetros mayores a 5,48 [mm], se debe diseñar con las reglas establecidas para tirafondos.

3.2.2.2.2. Tirafondos y tornillos con diámetro mayor a 5,48 [mm]

Para tirafondos que cumplen con SAE J429 Grade 1 se da el valor único de 310 [MPa].

3.2.2.3. Capacidad de carga en extracción lateral de diseño en CSA O86-14

La normativa canadiense (CSA, 2014) utiliza el método de diseño de estados límites (LSD), donde la capacidad de carga en extracción lateral de diseño de una conexión con tornillos o tirafondos se indican en 3.2.2.3.1 y 3.2.2.3.2.

3.2.2.3.1. Tornillos

Para tornillos, la capacidad de carga en extracción lateral de diseño N_r , está dada por la siguiente ecuación:

$$N_r = \phi \cdot n_u \cdot n_F \cdot n_S \cdot J_E \cdot (K_D \cdot K_{SF} \cdot K_T) \quad (3-26)$$

$$\phi = 0,8 \quad (3-27)$$

Donde,

N_r : capacidad de carga en extracción lateral de diseño de una conexión, [N].

n_u : capacidad admisible de carga en extracción lateral por medio de unión, [N].

n_F : número de medios de unión en la conexión.

n_S : número de planos de corte por medio de unión.

J_E : factor de colocación en el extremo de la pieza, según se define en Anexo A.3.

K_D : factor de modificación por duración de carga, según se define en Anexo A.3.

K_{SF} : factor de modificación por condición de servicio, según se define en Anexo A.3.

K_T : factor de modificación por tratamiento de la madera, según se define en Anexo A.3.

3.2.2.3.2. Tirafondos

Para tirafondos, la capacidad de carga en extracción lateral de diseño depende de la dirección de la carga respecto a la dirección de la fibra.

i. Para carga es paralela a la fibra:

$$P_r = \phi \cdot p_u \cdot J_G \cdot J_{PL} \cdot n_F \cdot (K_D \cdot K_{SF} \cdot K_T) \quad (3-28)$$

$$\phi = 0,6 \quad (3-29)$$

ii. Para carga perpendicular a la fibra:

$$Q_r = \phi \cdot q_u \cdot n_F \cdot J_G \cdot J_{PL} \cdot (K_D \cdot K_{SF} \cdot K_T) \quad (3-30)$$

$$\phi = 0,6 \quad (3-31)$$

Donde,

P_r : capacidad de carga en extracción lateral de diseño, para carga paralela a la fibra, [N].

p_u : capacidad admisible de carga en extracción lateral, para carga paralela a la fibra, [N].

Q_r : capacidad de carga en extracción lateral de diseño, para carga perpendicular a la fibra, [N].

q_u : capacidad admisible de carga en extracción lateral, para carga perpendicular a la fibra, [N].

n_F : número de medios de unión en la conexión.

J_G : factor para un grupo de medios de unión, según se define en Anexo A.3.

- J_{PL} : factor para penetración reducida, según se define en Anexo A.3.
- K_D : factor de modificación por duración de carga, según se define en Anexo A.3.
- K_{SF} : factor de modificación por condición de servicio, según se define en Anexo A.3.
- K_T : factor de modificación por tratamiento de la madera, según se define en Anexo A.3.

3.2.2.4. Otras consideraciones de diseño en CSA O86

3.2.2.4.1. Penetración mínima en el miembro principal

La longitud de penetración mínima en el miembro principal (t_2) no debe ser menor que $5 \cdot D$.

3.2.2.4.2. Longitud de apoyo del medio de unión

La longitud de apoyo de un medio de unión de diámetro D en el miembro principal (t_2), no debe considerar la punta en la longitud de penetración.

3.2.3. Ecuaciones de resistencia lateral en la NDS

De acuerdo con CLT Handbook (Karacabeyli & Douglas, 2013), con base en los resultados de las pruebas realizadas por Uibel & Blaß (Uibel & Blaß, 2006) se comprobó la idoneidad del uso de las ecuaciones para diseño de conexiones en estructuras de madera del NDS (AWC, 2017) en CLT con ajustes menores, los cuales consisten en corregir la longitud de apoyo del medio de unión, tal como se explica en 3.2.3.4.2.

Las ecuaciones de capacidad de carga en extracción lateral de la NDS (AWC, 2017) se presentan en la Tabla 3-6.

Tabla 3-6. Modelo de fluencia de NDS para medios de unión solicitados en extracción lateral. (AWC, 2017)

Modo de Falla	Ecuación
I lateral: I_s	$Z = \frac{F_{es} \cdot D \cdot l_s}{R_d}$
I principal: I_m	$Z = \frac{F_{em} \cdot D \cdot l_m}{R_d}$
II lateral y principal: II	$Z = \frac{F_{es} \cdot D \cdot l_s}{(1 + R_e) \cdot R_d} \cdot \left(\sqrt{R_e + 2 \cdot R_e^2 \cdot (1 + R_t + R_t^2) + R_t^2 \cdot R_e^3} - R_e \cdot (1 + R_t) \right)$
II lateral: III _s	$Z = \frac{F_{em} \cdot D \cdot l_s}{(2 + R_e) \cdot R_d} \cdot \left(-1 + \sqrt{\frac{2 \cdot (1 + R_e)}{R_e} + \frac{2 \cdot F_{yb} \cdot (2 + R_e) \cdot D^2}{3 \cdot F_{em} \cdot l_s^2}} \right)$
II principal: III _m	$Z = \frac{F_{em} \cdot D \cdot l_m}{(1 + 2 \cdot R_e) \cdot R_d} \cdot \left(-1 + \sqrt{2 \cdot (1 + R_e) + \frac{2 \cdot F_{yb} \cdot (1 + 2 \cdot R_e) \cdot D^2}{3 \cdot F_{em} \cdot l_m^2}} \right)$
III: IV	$Z = \frac{D^2}{R_d} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot F_{em} \cdot F_{yb}}{3 \cdot (1 + R_e)}}$

En relación a la Tabla 3-6, se tiene:

$$R_e = \frac{F_{em}}{F_{es}} \quad (3-32)$$

$$R_t = \frac{l_m}{l_s} \quad (3-33)$$

- Z : capacidad de carga en extracción lateral admisible por medio de unión, [lbs].
- F_{es} : resistencia al aplastamiento del miembro lateral, [psi], según se define en 3.2.3.1 y 3.2.3.1.2.
- F_{em} : resistencia al aplastamiento del miembro principal, [psi], según se define en 3.2.3.1 y 3.2.3.1.2.
- F_{yb} : tensión de fluencia en flexión del medio de unión, [psi], según se define en 3.2.3.2.
- D : diámetro del medio de unión, [in], según se define en 3.2.3.4.1.
- l_s : longitud de apoyo del medio de unión en el miembro lateral, [in], considerando la corrección definida en 3.2.3.4.2.
- l_m : longitud de apoyo del medio de unión en el miembro principal, [in], considerando la corrección definida en 3.2.3.4.2.
- R_d : factor de reducción de acuerdo con Tabla 3-7.

Tabla 3-7. Factor de ajuste para carga en extracción lateral de acuerdo con NDS. (AWC, 2017)

Diámetro medio de unión	Modo de falla	R_d
0,25 [in] $\leq D \leq 1$ [in]	l_m, l_s	$4 \cdot K_\theta$
	II	$3,6 \cdot K_\theta$
	III _m , III _s , IV	$3,2 \cdot K_\theta$
$D < 0,25$ [in]	$l_m, l_s, II, III_m, III_s, IV$	$K_D^{(1)}$
θ : máxima desangulación entre la dirección de la fuerza y de la fibra en cualquier miembro en una conexión ($0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$) $K_D = 2,2$, si $D \leq 0,17$ [in] $K_D = 10 \cdot D + 0,5$, si $0,17$ [in] $< D < 0,25$ [in] D : diámetro del medio de unión [in]		
(1) Para medios de unión roscados cuyo diámetro nominal sea mayor o igual que 0,25 [in] y el diámetro del núcleo de la zona roscada sea menor que 0,25 [in], $R_d = K_D \cdot K_\theta$		

Las ecuaciones de la NDS (AWC, 2017) si bien tienen el mismo formato que las ecuaciones del EC5 (CEN, 2004a), presenta dos diferencias importantes: primero, la incorporación del factor de reducción R_d basado en el trabajo de Soltis (Soltis & Wilkinson, 1991) que permite adaptar el modelo de fluencia europeo en formato LSD al formato ASD y, segundo, la no consideración del efecto cuerda, debido a la dificultad para estimar con precisión su contribución, así como para proveer cierto margen de conservadurismo (AWC, 2015).

3.2.3.1. Resistencia al aplastamiento

3.2.3.1.1. Medios de unión con diámetro $D < 0,25$ [in] (6,4 [mm])

Para medios de unión con diámetro $D < 0,25$ [in] (6,4 [mm]), la resistencia al aplastamiento depende únicamente de la gravedad específica de la madera G , como sigue:

$$F_e = 16600 \cdot G^{1,84} \quad (3-34)$$

3.2.3.1.2. Medios de unión con diámetro $D \geq 0,25$ [in] (6,4 [mm])

Para medios de unión con diámetro $D \geq 0,25$ [in] (6,4 [mm]), la resistencia al aplastamiento depende de la dirección de la fuerza respecto a la fibra

- i. Para carga paralela a la fibra, se tiene:

$$F_{e\parallel} = 11200 \cdot G \quad (3-35)$$

- ii. Para carga perpendicular a la fibra, se tiene:

$$F_{e\perp} = \frac{6100 \cdot G^{1,45}}{\sqrt{D}} \quad (3-36)$$

- iii. Para carga en un ángulo θ respecto a la fibra:

$$F_{e\theta} = \frac{F_{e\parallel} \cdot F_{e\perp}}{F_{e\parallel} \cdot \sin^2(\theta) + F_{e\perp} \cdot \cos^2(\theta)} \quad (3-37)$$

$F_{e\parallel}$: resistencia al aplastamiento cuando la carga es paralela a la fibra, [psi].

$F_{e\perp}$: resistencia al aplastamiento cuando la carga es perpendicular a la fibra, [psi].

$F_{e\theta}$: resistencia al aplastamiento cuando la carga está en ángulo respecto a la fibra, [psi].

G : gravedad específica de la madera.

θ : ángulo entre la dirección de la fuerza y la dirección de la fibra, [°].

D : diámetro del medio de unión, [in].

La NDS (AWC, 2017) establece que, para los medios de unión de tipo cilíndrico instalados en la cara del panel de CLT, la resistencia al aplastamiento, F_e , debe basarse en la dirección de la carga respecto a la orientación de la capa de CLT en el plano de corte

3.2.3.2. Momento plástico en NDS

La norma NDS (AWC, 2017) utiliza implícitamente el momento plástico en las ecuaciones de fluencia, mediante la ecuación (3-38). De este modo, se asume que se alcanzará una plastificación completa en el medio de unión.

$$M_p = \frac{F_{yb} \cdot D^3}{6} \quad (3-38)$$

M_p : momento plástico del medio de unión, [lbs-in].

F_{yb} : tensión de fluencia en flexión del medio de unión, [psi].

D : diámetro del medio de unión, [in].

La normativa estadounidense no entrega ecuaciones para el cálculo de F_{yb} , debiendo obtenerse este valor a partir de la Tabla 3-8 o desde la información proporcionada por el fabricante.

Tabla 3-8. Resistencia de fluencia en NDS. (AWC, 2017)

Rango de diámetros	F_{yb} [psi]
$0,099'' \leq D \leq 0,142''$	100000
$0,142'' < D \leq 0,177''$	90000
$0,177'' < D \leq 0,236''$	80000
$0,236'' < D \leq 0,273''$	70000
$0,273'' < D \leq 0,344''$	60000
$0,344'' < D \leq 0,375''$	45000
$D \geq 0,375''$ ⁽¹⁾ (¹) Tirafondos y pernos	45000

3.2.3.3. Capacidad de carga en extracción lateral de diseño en NDS

La NDS (AWC, 2017) utiliza el método de diseño por tensiones admisibles (ASD), así como el método por factores de carga y resistencia (LRFD). El valor de la capacidad de carga en extracción lateral de diseño Z' para conexiones con medios de unión de tipo cilíndrico, se calcula mediante las siguientes ecuaciones, según se use el método de diseño ASD o LRFD:

$$Z'_{ASD} = Z_{adm} \cdot (C_M \cdot C_t \cdot C_g \cdot C_{\Delta} \cdot C_{eg}) \cdot C_D \quad (3-39)$$

$$Z'_{LRFD} = Z_{adm} \cdot (C_M \cdot C_t \cdot C_g \cdot C_{\Delta} \cdot C_{eg}) \cdot K_F \cdot \phi \cdot \lambda \quad (3-40)$$

Donde,

Z'_{ASD} : capacidad de carga en extracción lateral de diseño para el método ASD, [lbs].

Z'_{LRFD} : capacidad de carga en extracción lateral de diseño para el método LRFD, [lbs].

Z_{adm} : capacidad admisible de carga en extracción lateral, [lbs].

C_M : factor de servicio húmedo, según se define en Anexo A.4.

C_t : factor de temperatura, según se define en Anexo A.4.

C_g : factor de acción de grupo, según se define en Anexo A.4.

C_{Δ} : factor de geometría, según se define en Anexo A.4.

C_{eg} : factor de colocación en el extremo de la pieza, según se define en Anexo A.4.

- C_D : factor de duración de carga (solo para método ASD), según se define en Anexo A.4.
- K_F : factor de conversión de formato (solo para método LRFD), según se define en Anexo A.4.
- ϕ : factor de resistencia (solo para método LRFD), según se define en Anexo A.4.
- λ : factor de efecto del tiempo (solo para método LRFD), según se define en Anexo A.4.

La capacidad admisible de carga en extracción lateral Z_{adm} , corresponde al menor valor determinado mediante las ecuaciones de capacidad de carga en extracción lateral Z presentadas en la Tabla 3-6.

3.2.3.4. Otras consideraciones de diseño en NDS

3.2.3.4.1. Diámetro del medio de unión

En el cálculo de la capacidad de carga en extracción lateral, el diámetro del medio D de unión para tornillos y tirafondos debe ser tomado como $D = D_r$, donde D_r corresponde al diámetro interno (raíz) de la zona roscada.

3.2.3.4.2. Corrección de la longitud de apoyo

El efecto de la laminación cruzada en los paneles de CLT es considerada en el modelo de fluencia provisto en la NDS (AWC, 2017), a través de una corrección de la longitud de apoyo para medios de unión insertado en el panel. Cuando la dirección principal de la carga sea paralela a la dirección de la fibra en el plano de corte, la longitud de apoyo del medio de unión en las capas perpendiculares debe ser reducida. Para ello, se debe multiplicar la longitud de apoyo en las capas transversales por la relación entre la resistencia al aplastamiento perpendicular a la fibra y paralela a la fibra, es decir, $F_{e\perp}/F_{e\parallel}$. Si la dirección principal de la carga es perpendicular a la dirección de la fibra en el plano de corte, la longitud de apoyo puede conservadoramente permanecer sin corrección (AWC, 2017) o bien ajustarse por la relación $F_{e\parallel}/F_{e\perp}$ (Karacabeyli & Douglas, 2013). La longitud de apoyo corregida del miembro lateral o principal, puede ser determinada mediante la siguiente ecuación:

$$l_{corr} = \begin{cases} \sum_i^N l_{i,0} + l_{i,90} \cdot \frac{F_{e\perp}}{F_{e\parallel}}, & \text{para carga paralela a la fibra en el plano de corte} \\ \sum_i^N l_{i,0} + l_{i,90} \cdot \frac{F_{e\parallel}}{F_{e\perp}}, & \text{para carga normal a la fibra en el plano de corte} \end{cases} \quad (3-41)$$

l_{corr} : longitud de aplastamiento corregida, [in].

$l_{i,0}$: longitud de aplastamiento del medio de unión en la i -ésima capa, cuya dirección de la fibra es paralela a la fibra en el plano de corte, [in].

$l_{i,90}$: longitud de aplastamiento del medio de unión en la i -ésima capa, cuya dirección de la fibra es normal a la fibra en el plano de corte, [in].

Cabe destacar que, al considerar la dirección de la carga respecto a la fibra de la capa que contiene el plano de corte, esta depende del tipo de conexión y número de capas del panel, debido a que diferentes configuraciones de conexión pueden resultar en planos de corte paralelo o normal al eje fuerte del panel, tal como se explica en la sección 4.2.

3.2.3.4.3. Penetración mínima en el miembro principal

3.2.3.4.3.1. Tirafondos

En conexiones de corte, la longitud de penetración mínima ($l_{m,min}$) en el miembro que recibe la punta no debe ser menor que:

- i. $4 \cdot D$, para tirafondos, sin incluir la longitud de la punta;
- ii. $6 \cdot D$, para tornillos, incluyendo la longitud de la punta.

3.2.3.4.4. Disposiciones sísmicas adicionales

Junto a la NDS (AWC, 2017), se pueden encontrar disposiciones especiales para diseño sísmico de estructuras de madera en el standard “AWC - Special Design Provisions for Wind & Seismic” (SDPWS) (AWC, 2014). En el SPDWS (AWC, 2014) se indica que las conexiones que resistan cargas sísmicas deben ser diseñadas de acuerdo con lo establecido en la NDS (AWC, 2017), es decir, no se proveen disposiciones especiales para el diseño sísmico de conexiones en estructuras de madera.

3.2.4. Ecuaciones de capacidad lateral en la NCh 1198

La NCh 1198 Of. 2014 (INN, 2014) no considera la madera contralaminada en sus disposiciones. Sin embargo, las ecuaciones de diseño de conexiones en madera se presentan a continuación, con el fin de estudiar su idoneidad para ser utilizadas en estructuras de CLT.

Las ecuaciones de capacidad de carga en extracción lateral de la NCh 1198 Of. 2014 (INN, 2014) se presentan en la Tabla 3-9.

Tabla 3-9. Modelo de fluencia de NCh 1198 para medios de unión solicitados en extracción lateral. (INN, 2014)

Modo de Falla	Ecuación
I lateral: I _l	$P_{el} = \frac{R_{ap,l} \cdot D \cdot l_l}{FA}$
I principal: I _c	$P_{el} = \frac{R_{ap,c} \cdot D \cdot l_c}{FA}$
I lateral y principal: II	$P_{el} = \frac{R_{ap,l} \cdot D \cdot l_l}{(1 + R_e) \cdot FA} \cdot \left(\sqrt{R_e + 2 \cdot R_e^2 \cdot (1 + R_t + R_t^2) + R_t^2 \cdot R_e^3} - R_e \cdot (1 + R_t) \right)$
II lateral: III _l	$P_{el} = \frac{R_{ap,c} \cdot D \cdot l_l}{(2 + R_e) \cdot FA} \cdot \left(-1 + \sqrt{\frac{2 \cdot (1 + R_e)}{R_e} + \frac{2 \cdot F_{ff} \cdot (2 + R_e) \cdot D^2}{3 \cdot R_{ap,c} \cdot l_l^2}} \right)$
II principal: III _c	$P_{el} = \frac{R_{ap,c} \cdot D \cdot l_c}{(1 + 2 \cdot R_e) \cdot FA} \cdot \left(-1 + \sqrt{2 \cdot (1 + R_e) + \frac{2 \cdot F_{ff} \cdot (1 + 2 \cdot R_e) \cdot D^2}{3 \cdot R_{ap,c} \cdot l_c^2}} \right)$

Modo de Falla		Ecuación
III:	IV	$P_{el} = \frac{D^2}{FA} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot R_{ap,c} \cdot F_{ff}}{3 \cdot (1 + R_e)}}$

En relación a la Tabla 3-9, se tiene:

$$R_e = \frac{R_{ap,c}}{R_{ap,l}} \quad (3-42)$$

$$R_t = \frac{l_c}{l_l} \quad (3-43)$$

P_{el} : capacidad de carga en extracción lateral por medio de unión, [N].

$R_{ap,l}$: resistencia al aplastamiento del miembro lateral, [MPa], según se define en 3.2.4.1.

$R_{ap,c}$: resistencia al aplastamiento del miembro central, [MPa], según se define en 3.2.4.1.

F_{ff} : tensión de fluencia en flexión del medio de unión, [MPa], según se define en 3.2.4.2.

l_l : longitud de apoyo del medio de unión en el miembro lateral, [mm], según se define en 3.2.4.4.3.

l_c : longitud de apoyo del medio de unión en el miembro central, [mm], según se define en 3.2.4.4.3.

D : diámetro del medio de unión, [mm], según se define en 3.2.4.4.1.

FA : factor de ajuste de acuerdo con Tabla 3-10.

Tabla 3-10. Factor de ajuste para carga en extracción lateral de acuerdo con NCh 1198. (INN, 2014)

Diámetro medio de unión	Modo de falla	FA
6,4 [mm] ≤ D ≤ 25 [mm]	I _c , I _l	4 · K _α
	II	3,6 · K _α
	III _c , III _l , IV	3,2 · K _α
D < 6,4 [mm]	I _c , I _l , II, III _c , III _l , IV	K _d ⁽¹⁾
$K_{\alpha} = 1 + \frac{\alpha_{max}}{360^{\circ}}$ α_{max}: máxima desangulación entre la dirección de la fuerza y de la fibra en cualquier miembro en una conexión (0° ≤ θ ≤ 90°). $K_d = 2,2$, si D ≤ 4,3 [mm] $K_d = \frac{10 \cdot D + 12,7}{25,4}$, si 4,3 [mm] < D < 6,4 [mm] (1) Para tornillos y tirafondos cuyo diámetro nominal sea mayor o igual que 6,4 [mm] y el diámetro del núcleo de la zona roscada sea menor que 6,4 [mm], $FA = K_d \cdot K_{\alpha}$		

Se puede observar que las ecuaciones de diseño presentes en la normativa chilena corresponden a las ecuaciones presentadas en la NDS (AWC, 2017) amplificadas por los respectivos factores de conversión de unidades, para pasar desde el Sistema Inglés al Sistema Internacional de unidades; por lo tanto, el modelo de fluencia adoptado por

la NCh 1198 Of. 2014 (INN, 2014) se diferencia del modelo europeo por la incorporación del factor de ajuste FA y la no consideración del efecto cuerda.

3.2.4.1. Resistencia al aplastamiento nominal

3.2.4.1.1. Ecuación de la NCh 1198 para medios de unión con diámetro $D < 6,4$ [mm]

Para clavos y tirafondos con diámetro $D < 6,4$ [mm], la resistencia al aplastamiento nominal se determina mediante la siguiente ecuación:

$$R_{ap} = 115 \cdot \left(\frac{\rho_0}{1000} \right)^{1,84} \quad (3-44)$$

3.2.4.1.2. Ecuación de la NCh 1198 para medios de unión con diámetro $D \geq 6,4$ [mm]

Para pernos y tirafondos con diámetro $D \geq 6,4$ [mm], la resistencia al aplastamiento nominal depende de la dirección de la fuerza respecto a la fibra, distinguiendo dos casos:

- i. Para carga paralela a la fibra, se usa la siguiente ecuación:

$$R_{ap,p} = 77,2 \cdot \left(\frac{\rho_0}{1000} \right) \quad (3-45)$$

- ii. Para carga normal a la fibra, se usa la siguiente ecuación:

$$R_{ap,n} = \frac{212 \cdot \left(\frac{\rho_0}{1000} \right)^{1,45}}{\sqrt{D}} \quad (3-46)$$

- iii. Para carga en un ángulo θ respecto al plano de la fibra, se usa la siguiente ecuación, correspondiente a la ecuación de Hankinson:

$$R_{ap,\theta} = \frac{R_{ap,p} \cdot R_{ap,n}}{R_{ap,p} \cdot \sin^2(\theta) + R_{ap,n} \cdot \cos^2(\theta)} \quad (3-47)$$

Donde,

R_{ap} : resistencia al aplastamiento, [MPa].

$R_{ap,p}$: resistencia al aplastamiento cuando la carga es paralela a la fibra, [MPa].

$R_{ap,n}$: resistencia al aplastamiento cuando la carga es perpendicular a la fibra, [MPa].

$R_{ap,\theta}$: resistencia al aplastamiento cuando la carga está en ángulo a la fibra, [MPa].

ρ_0 : densidad anhidra media de la madera, [kg/m³].

θ : ángulo (agudo) entre la dirección de la sollicitación y la dirección de la fibra, [°].

D : diámetro del medio de unión, [mm].

3.2.4.1.3. Ecuación de Hankinson extendida

En un estudio reciente (Valdivieso Cascante, 2019) se analiza el cálculo de la resistencia al aplastamiento en paneles de CLT mediante el uso ecuación de Hankinson extendida, en función de la disposición y espesor de las capas del panel, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$R_{ap,\theta,CLT} = \frac{1}{L} \cdot \sum_{i=1}^N \frac{R_{i,ap,p} \cdot R_{i,ap,n}}{R_{i,ap,p} \cdot \sin^2(\theta_i) + R_{i,ap,n} \cdot \cos^2(\theta_i)} \cdot l_i \quad (3-48)$$

$R_{ap,\theta,CLT}$: resistencia al aplastamiento en el CLT cuando la carga está en ángulo a la fibra, [MPa].

$R_{i,ap,p}$: resistencia al aplastamiento de la i-ésima capa cuando la carga es paralela a la fibra, [MPa], determinada con las ecuaciones (3-44) a (3-47).

$R_{i,ap,n}$: resistencia al aplastamiento de la i-ésima capa cuando la carga es normal a la fibra, [MPa], determinada con las ecuaciones (3-44) a (3-47).

l_i : longitud de aplastamiento del medio de unión en la i-ésima capa, [mm].

θ_i : dirección entre la carga y la fibra de la i-ésima capa, [°].

L : longitud de aplastamiento total del medio de unión en el panel, [mm].

La capacidad de carga en extracción lateral es calculada con las expresiones presentadas en la Tabla 3-9. Si el diámetro del medio de unión es menor a 6,4 [mm], la resistencia al aplastamiento debe ser calculada con la ecuación (3-44) en lugar de la expresión (3-48).

3.2.4.2. Momento plástico en NCh 1198

La NCh 1198 Of. 2014 (INN, 2014) utiliza implícitamente el momento plástico en las ecuaciones de fluencia igual que la NDS (AWC, 2017), mediante la ecuación (3-49)(3-38). Por lo tanto, se asume que se alcanzará una plastificación completa en el medio de unión. La tensión de fluencia de los medios de unión se debe determinar mediante los métodos definidos en ASTM F1575 o ASTM F606.

$$M_p = \frac{F_{ff} \cdot D^3}{6} \quad (3-49)$$

M_p : momento plástico del medio de unión, [Nmm].

F_{ff} : tensión de fluencia en flexión del medio de unión, [Mpa].

D : diámetro del medio de unión, [mm].

3.2.4.2.1. Medios de unión con diámetro menor a 6,4 [mm]

Para clavos y tornillos con diámetro $D < 6,4$ [mm], la tensión de fluencia F_{ff} se puede determinar mediante la siguiente ecuación:

$$F_{ff} = 896 - 58 \cdot D \quad (3-50)$$

F_{ff} : tensión de fluencia en flexión del medio de unión, [MPa]

3.2.4.2.2. Medios de unión con diámetro igual o mayor a 6,4 [mm]

La tensión de fluencia para medios de unión con diámetro $D \geq 6,4$ [mm] se puede estimar de forma conservadora de acuerdo con la Tabla 3-11.

Tabla 3-11. Tensión de fluencia de acuerdo con NCh 1198. (INN, 2014)

Diámetro [mm]	6,4	8,0	9,5
Tensión de fluencia F_{ff} [Mpa]	480	410	310

3.2.4.3. Capacidad de carga en extracción lateral de diseño en NCh 1198

La normativa nacional utiliza el método de diseño por tensiones admisibles (ASD). La capacidad de carga en extracción lateral de diseño de los medios de unión está dada por la siguiente ecuación:

$$P_{dis} = P_{el,ad} \cdot K_D \cdot K_{UH} \cdot K_{UT} \cdot K_u \quad (3-51)$$

Donde,

P_{dis} : capacidad de carga en extracción lateral de diseño, [N].

$P_{el,ad}$: capacidad admisible de carga en extracción lateral por medio de unión, [N].

K_D : factor de modificación por duración de carga, según se define en Anexo A.5.

K_{UH} : factor de modificación por contenido de humedad, según se define en Anexo A.5.

K_{UT} : factor de modificación por temperatura, según se define en Anexo A.5.

K_u : factor de modificación por longitud de hilera, según se define en Anexo A.5.

La capacidad admisible de carga en extracción lateral $P_{el,ad}$, corresponde al menor valor determinado mediante las ecuaciones de capacidad de carga en extracción lateral P_{el} presentadas en la Tabla 3-9.

3.2.4.4. Otras consideraciones de diseño en NCh 1198

3.2.4.4.1. Diámetro del medio de unión

En el cálculo de la capacidad de carga en extracción lateral, el diámetro D del medio de unión para tornillos y tirafondos debe ser tomado como $D = D_R$, donde D_R corresponde al diámetro del núcleo de la zona ranurada.

3.2.4.4.2. Penetración mínima en el miembro principal

La longitud de penetración mínima en el miembro principal no debe ser menor que $4 \cdot D$.

3.2.4.4.3. *Longitud de apoyo del medio de unión*

La longitud de apoyo de un medio de unión de diámetro D en el miembro principal (l_c), considerará la longitud de la punta siempre que se cumpla la siguiente condición:

$$l_c \geq 10 \cdot D \quad (3-52)$$

En caso de que la penetración resulte inferior, la longitud de apoyo no incluirá el extremo correspondiente a la punta.

4. SISTEMAS DE FIJACIÓN Y CONEXIÓN UTILIZADOS EN PANELES DE CLT

La conexión entre elementos estructurales depende principalmente de dos factores: los elementos a unir y los sistemas de fijación que se utilizarán para realizar dicha conexión. En este capítulo se presentan los principales sistemas de fijación y su aplicabilidad en los paneles de CLT, así como los tipos de conexión más utilizados y adecuados para la unión entre paneles de muros paralelos.

4.1. Sistemas de fijación

Los sistemas de fijación son “elementos metálicos, generalmente cilíndricos y de acero que se hincan, insertan o atornillan en las piezas de madera que constituyen la unión. El mecanismo de traspaso de fuerzas se materializa por medio de un trabajo en flexión, aplastamiento o cizalle del medio de unión y del aplastamiento, cizalle y hendimiento de la madera” (CORMA, 2011).

Si bien los tornillos autorroscantes largos son típicamente recomendados por los fabricantes de CLT y se usan comúnmente para conectar paneles entre sí, los medios de unión de tipo cilíndrico tradicionales, como tornillos para madera, clavos, tirafondos y pernos también se pueden usar de manera efectiva en la conexión de elementos del panel (Karacabeyli & Douglas, 2013).

A continuación, se describen brevemente los principales sistemas de fijación usados en CLT.

4.1.1. Tornillos autorroscantes y Tornillos para madera

Principalmente los tornillos autorroscantes (Figura 4-1 (a)), aunque también los tornillos para madera (Figura 4-1 (b)) son usados ampliamente en Europa para el ensamblaje de paneles de CLT. La constante elección de este tipo de medios de unión por parte de diseñadores y constructores se debe a la facilidad de instalación y la alta capacidad lateral y de extracción, ya que pueden soportar cargas axiales y laterales combinadas (Karacabeyli & Douglas, 2013).

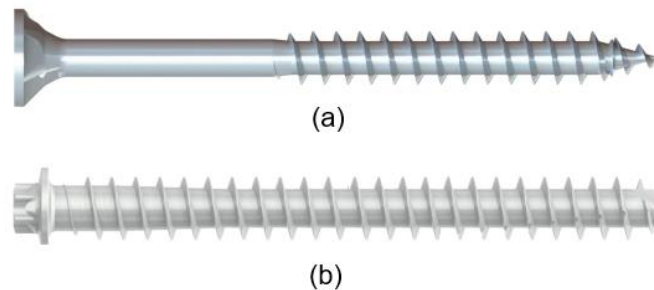


Figura 4-1. (a) Tornillo autorroscante; (b) tornillo para madera completamente roscado. (MyTicon Timber Connectors, 2017a)

Los tornillos autorroscantes no requieren perforaciones previas en la mayoría de los casos, a diferencia de los tornillos tradicionales de madera o tirafondos que sí requieren de orificios perforados previamente, cuyo tamaño depende de la densidad de los materiales a base de madera en los que se introducen y del diámetro de los tornillos (Karacabeyli & Douglas, 2013).

4.1.2. Clavos

El uso de clavos en el ensamblaje de paneles de CLT no es tan común como el de los tornillos para madera; sin embargo, los clavos con características superficiales específicas, como surcos o clavos roscados helicoidalmente, son usados principalmente con placas y soportes metálicos perforados y se instalan en la superficie/plano del panel (Karacabeyli & Douglas, 2013).

4.1.3. Pernos y pasadores

Tanto pernos como pasadores son muy comunes en la construcción con madera masiva, por lo que también pueden ser usados en el ensamblaje de paneles CLT, especialmente para carga en extracción lateral (Karacabeyli & Douglas, 2013).



Figura 4-2. (a) Perno; (b) Pasador. (Dorn & Bader, 2017)

4.2. Sistemas de conexión

La conexión entre paneles de muros paralelos puede tener su origen en las limitaciones de producción y transporte relacionadas con el tamaño del panel que se puede entregar a los sitios de construcción, así como en las decisiones de diseño, con el fin de “reducir la rigidez del muro y con ello disminuir la carga sísmica de entrada” (Popovski & Karacabeyli, 2012). Cuando se usan conexiones de panel a panel en el ensamblaje de un muro, la conexión debe estar diseñada para resistir y transferir cargas de corte en el plano del panel (Hossain, Popovski, & Tannert, 2019), (Lee Richardson, 2015). A continuación, se describen los tipos de conexión panel a panel más utilizadas.

4.2.1. Conexión con listón individual:

Esta conexión “se crea insertando una pieza de madera sólida o madera compuesta estructural en un vacío que se ha fresado en el borde del panel de CLT en la fábrica. El listón se asegura en su lugar con medios de unión como tornillos para madera o tornillos autorroscantes” (Lee Richardson, 2015), como se observa en la Figura 4-3. Debido a la naturaleza de la conexión, este tipo de unión requiere de dos hileras de medios de unión, tal como se observa en la Figura 4-3 (a) y (b).

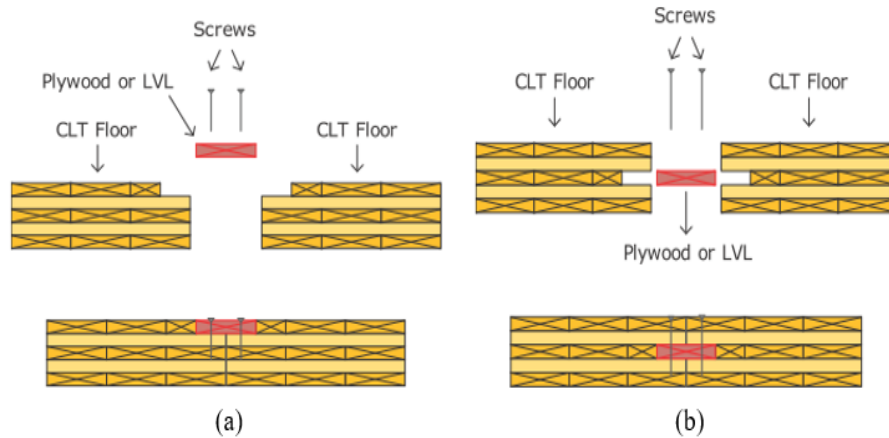


Figura 4-3. Conexión con listón individual. (Gagnon & Pirvu, 2011)

La conexión con listón puede ser superficial (Figura 4-3(a)) o interna (Figura 4-3(b)). Una conexión con listón superficial requiere menos detallamiento en el perfilado del panel y es más rápida de ensamblar “in situ”. Este tipo de conexión se recomienda para paneles con un número de capas igual o mayor a 5, ya que para 3 capas la ranura superior del panel hace que se elimine la capa cruzada, eliminando el efecto que esto produce (Aburto Solis, 2014). Además, dependiendo del espesor del listón respecto al espesor de la capa externa del panel, se tendrá un plano de corte paralelo o normal al eje fuerte del panel.

4.2.2. Conexión con listón doble:

Este tipo de conexión es similar a la con listón superficial, con la diferencia que se utilizan dos listones (una en cada superficie del panel, como se observa en la Figura 4-4), con lo cual se proveen dos planos de corte en la conexión. Los requerimientos de perfilado, así como se montaje “in situ” resultan también más complejos de realizar.

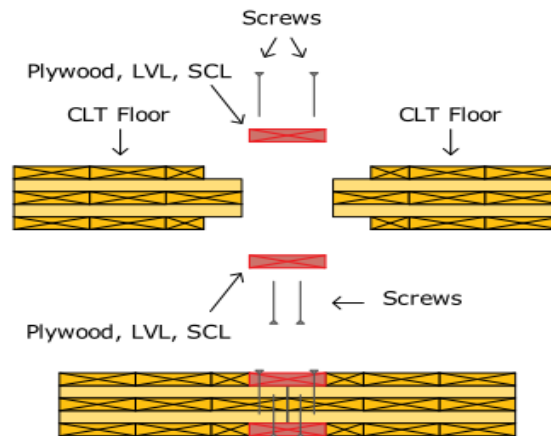


Figura 4-4. Conexión con listón doble. (Gagnon & Pirvu, 2011)

4.2.3. Conexión de traslape:

Este tipo de conexión se realiza mediante el traslape entre dos piezas de paneles, los cuales son perfilados en fábrica a la mitad de su espesor y unidas “in situ” mediante tornillos principalmente, como se observa en la Figura 4-5. Este tipo de conexión es comúnmente usada en ensamblajes de paneles de muro (Gagnon & Pirvu, 2011).

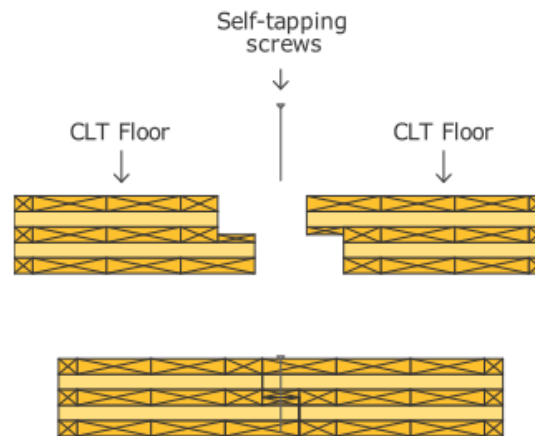


Figura 4-5. Conexión de traslape. (Gagnon & Pirvu, 2011)

El número de capas del panel determina si el plano de corte es paralelo o normal a la fibra de la capa externa. En paneles de 3 y 7 capas, el plano de corte se ubica en la capa ortogonal al eje fuerte del panel, mientras que en paneles de 5 capas el plano de corte estará ubicado en una capa paralela al eje fuerte del panel.

4.2.4. Uniones de tope:

Las uniones de tope mostrada en la Figura 4-6, a diferencia de las conexiones anteriores, no requiere del perfilado del panel, ya que esta unión se efectúa en contacto directo de los bordes (lado estrecho) de los paneles, mediante el uso de medios de unión inclinados que van desde un panel a otro.

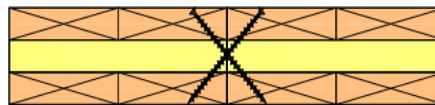


Figura 4-6. Uniones de tope. (Hossain, Danzig, & Tannert, 2016)

4.3. Sistemas de conexión entre paneles de muros paralelos de CLT

Tal como se presenta en el Capítulo 3, las conexiones verticales entre muros paralelos fabricados con paneles de CLT deben diseñarse para transferir fuerzas de corte en el plano (Hossain, Popovski, & Tannert, 2019), (Lee Richardson, 2015). Los medios de unión de tipo cilíndrico utilizados en las conexiones disipativas deben ser instalados perpendicular a la dirección de la carga que es transferida, de modo que estén sometidos a cargas de corte (Mohammad, Gagnon, Douglas, & Podesto, 2012).

4.3.1. Conexiones entre muros paralelos como sistema de disipación de energía

En “CLT Handbook” (Gagnon & Pirvu, 2011) se sugiere que el diseño sísmico de estructuras de CLT se base en el diseño por capacidad, de forma que, ante las altas solicitaciones de desplazamiento impuestas por un evento sísmico, la estructura disipe energía mediante la deformación de ciertos elementos previamente seleccionados para fallar en forma dúctil, permitiendo a su vez que los elementos frágiles permanezcan dentro del rango lineal de deformación. Debido a que los paneles de CLT se comportan prácticamente como cuerpos rígidos, de modo que permanecerán en el rango elástico frente a las solicitaciones de diseño (Dujic & Zarnic, 2006), (Ringhofer, Brandner, & Blaß, 2017), (Popovski & Karacabeyli, 2012), las “zonas disipativas” son principalmente las uniones de anclaje de los muros y las uniones verticales entre muros adyacentes (Izzi, et al., 2018), (Lauriola & Sandhass, 2006), como se indica en la Figura 4-7.

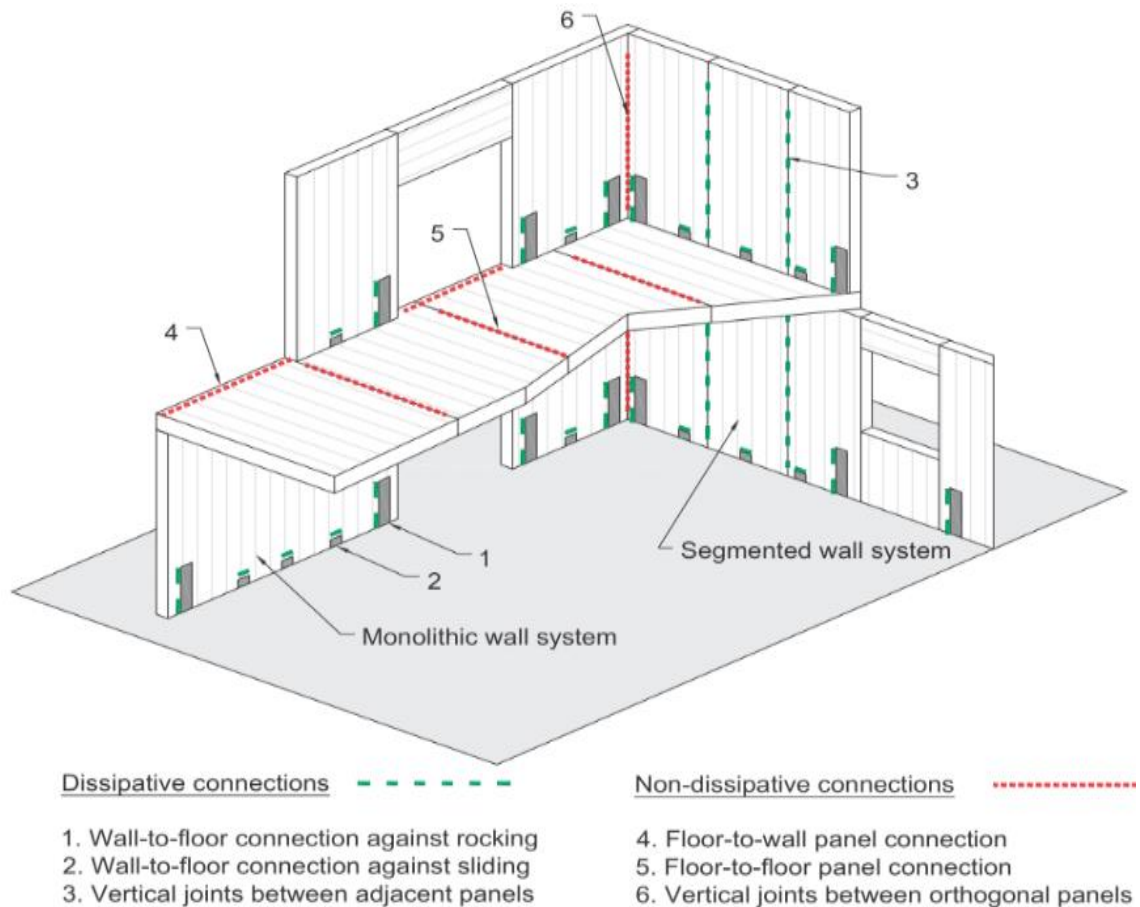


Figura 4-7. Conexiones disipativas y no disipativas en una estructura de CLT. (Izzi, et al., 2018)

Es una práctica común asumir como componentes disipativos las uniones cargadas lateralmente con medios de unión de tipo cilíndrico, los cuales deben insertarse en perpendicular a la dirección de la carga que se transfiere a lo largo de la unión (Izzi, et al., 2018). Para lograr conexiones disipativas, la fluencia de los medios de unión mediante la formación de al menos una rótula plástica es de vital importancia, siendo el

mecanismo donde se forman dos rótulas el que se considera como más deseable (Izzi, et al., 2018).

Con base en el concepto de diseño basado en la capacidad, para asegurar que las conexiones con comportamiento dúctil sean el eslabón más débil en los caminos de carga, la resistencia de dichos elementos debe multiplicarse por un factor de sobrerresistencia y, bajo estas condiciones, cumplir con tener una menor capacidad que los componentes de comportamiento frágil (Ottenhaus, Li, Smith, & Quenneville, 2017). Además, se debe incorporar un factor que considere la degradación de la resistencia bajo eventos de carga cíclica, como corresponde al caso sísmico (Follesa, et al., 2015). Por lo tanto, a nivel global, las fallas dúctiles se logran gracias a la jerarquía de resistencias entre los componentes estructurales definida por la siguiente ecuación:

$$\frac{\gamma_{Rd}}{\beta_{sd}} \cdot R_{d,ductil} \leq R_{d,fragil} \quad (4-1)$$

Donde,

γ_{Rd} : factor de sobrerresistencia.

β_{sd} : factor de degradación de la resistencia debido a carga cíclica.

$R_{d,ductil}$: resistencia de diseño de la conexión dúctil.

$R_{d,fragil}$: resistencia de diseño de la conexión frágil.

Algunos valores propuestos en la literatura para los factores de sobrerresistencia y degradación de resistencia se presentan en la Tabla 4-1.

Tabla 4-1. Factores de sobrerresistencia y degradación de resistencia propuestos en diferentes estudios.

Factor	Valor	Tipo de conexión o estructura	Referencia
γ_{Rd}	1,6	CLT a CLT con tornillos (corte)	(Gavric, Fragiaco, & Ceccotti, 2015)
	1,8	Acero a CLT con clavos anulares (corte paralelo a la fibra)	(Ceccotti & Follesa, 2006)
	2,3	Acero a CLT con clavos anulares (corte normal a la fibra)	(Ceccotti & Follesa, 2006)
	1,3	Edificios fabricados con CLT	(Follesa, et al., 2015)
β_{sd}	0,8	Acero a CLT con clavos anulares (corte paralelo a la fibra)	(Ceccotti & Follesa, 2006)
	0,8	Acero a CLT con clavos anulares (corte normal a la fibra)	(Ceccotti & Follesa, 2006)
	0,8	Edificios fabricados con CLT	(Follesa, et al., 2015)

4.3.2. Revisión bibliográfica: Principales investigaciones sobre el rendimiento sísmico de estructuras fabricadas con paneles de CLT con conexiones verticales entre muros paralelos

Los principales programas de pruebas en CLT corresponden al Proyecto SOFIE y a los estudios realizados por FPInnovations. El primero consistió en una extensa campaña experimental sobre la viabilidad del CLT como “sistema de resistencia a fuerzas sísmicas” (SFRS, por sus siglas en inglés) en edificios de mediana altura, documentados en (Gavric, Fragiaco, & Ceccotti, 2014), (Gavric, Fragiaco, & Ceccotti, 2015). Con

base en pruebas a escala completa en edificios de tres y siete pisos, se estableció la idoneidad de edificios de mediana altura estructurados con paneles de CLT en regiones sísmicas (Ceccotti & Follesa, 2006), (Pei, et al., 2016). En tanto, las investigaciones de en el marco de FPInnovations, se realizaron un total de 32 pruebas monotónicas y cíclicas en paneles de muro de CLT con 12 configuraciones diferentes, distintos detalles de conexión de muro a piso, entre muros paralelos y entre muros en dos pisos consecutivos. Los resultados obtenidos por (Muñoz, Mohammad, & Gagnon, 2010) y (Popovski, Schneider, & Schweinsteiger, 2010) permitieron establecer los sistemas de conexión adecuados para paneles de muros paralelos de CLT en zonas de alta sismicidad, así como respaldar el uso de las ecuaciones de Uibel & Blaß (Uibel & Blaß, 2006) para predecir la capacidad de carga en este tipo de conexiones. Estos resultados han sido corroborados por un gran número de investigadores en diversos estudios realizados entre los años 2007 y 2019.

A continuación, se presentan las principales conclusiones obtenidas de la revisión bibliográfica:

- i. El proyecto SOFIE (Gavric, Fragiaco, & Ceccotti, 2014) demostró la capacidad y la idoneidad de las estructuras fabricadas con muros y losas de CLT, como edificios de mediana altura, en regiones de alta sismicidad.
- ii. Debido a la alta rigidez en el plano de los paneles de CLT, estos permanecen prácticamente sin deformaciones, por lo que la disipación de energía de las estructuras de CLT se concentra en los sistemas de conexión (Gavric, Fragiaco, & Ceccotti, 2014).
- iii. Las principales conexiones disipativas en las estructuras fabricadas con paneles de CLT son las uniones verticales entre muros paralelos, así como las conexiones de anclaje. De acuerdo con el modelo de fluencia de Johansen (Johansen, 1949), el modo de fluencia esperado debe corresponder a la formación de una o dos rótulas plásticas en el medio de unión (Gavric, Fragiaco, & Ceccotti, 2014).
- iv. Las conexiones verticales entre muros paneles de muro paralelos de CLT deben diseñarse para cargas de corte en el plano (Gavric, Fragiaco, & Ceccotti, 2014), (Lee Richardson, 2015), (Hossain, Popovski, & Tannert, 2019).
- v. Los sistemas de conexión de trasape y con listón permiten fabricar uniones dúctiles, por lo que son adecuados para la conexión entre muros paralelos en zonas de alta sismicidad. Estas uniones se efectúan insertando los medios de unión en la cara del panel de CLT (Sandhass, van de Kuilen, & Boukes, 2009), (Muñoz, Mohammad, & Gagnon, 2010), (Gavric, Fragiaco, & Ceccotti, 2012), (Sheikhtabaghi, 2015), (Gavric, Fragiaco, & Ceccotti, 2015).
- vi. Las uniones de tope tienen baja capacidad de deformación, por lo que no se recomiendan como conexiones entre muros paralelos en estructuras de CLT para zonas de alta sismicidad (Joyce, Ballerini, & Smith, 2011), (Hossain, Lakshman, & Tannert, 2015).
- vii. Se deben respetar los espaciamientos y distancias mínimas en el diseño de conexiones, con el fin de evitar los modos de falla frágil (Uibel & Blaß, 2006), (Blaß & Uibel, 2007), (Gavric, Fragiaco, & Ceccotti, 2015).

- viii. Las conexiones de traslape resultan más idóneas para zonas de alta sismicidad debido a que el mayor espesor de los miembros laterales permite una mayor capacidad de deformación, mediante la formación de dos rótulas plásticas. Por el bajo espesor del miembro lateral en las conexiones con listón, el modo de falla dúctil predominante corresponde a la formación de una rótula plástica en el miembro central (Sandhass, van de Kuilen, & Boukes, 2009), (Muñoz, Mohammad, & Gagnon, 2010), (Gavric, Fragiaco, & Ceccotti, 2012), (Gavric, Fragiaco, & Ceccotti, 2014), (Sheikhtabaghi, 2015), (Gavric, Fragiaco, & Ceccotti, 2015), (Shahnewaz, Sharia, & Tannert, 2018).
- ix. El efecto de grupo para medios de unión colocados perpendiculares a la cara plana del panel de CLT, de acuerdo con (Blaß & Uibel, 2007), puede ser estimado como:

$$n_{ef} = n \quad (4-2)$$

Sin embargo, para cargas cíclicas, el efecto de grupo se puede expresar de forma más precisa mediante la ecuación (4-3) (Hossain, Popovski, & Tannert, 2019):

$$n_{ef} = n^{0,9} \quad (4-3)$$

n_{ef} : número efectivo de medios de unión en la conexión.
 n : número de medios de unión en la conexión.

- x. En conexiones que utilicen tornillos como medios de unión el uso de la ecuación propuesta por Uibel & Blaß (Uibel & Blaß, 2006) para pasadores otorga aproximaciones satisfactorias de la resistencia al aplastamiento y más precisas que las estimadas utilizando las ecuaciones de las normativas europea y canadiense (Muñoz, Mohammad, & Gagnon, 2010), (Gavric, Fragiaco, & Ceccotti, 2015).
- xi. En todos los estudios citados en esta sección se utilizaron tornillos como sistemas de fijación en conexiones de traslape y con listón, por lo que se recomienda su uso en zonas de alta sismicidad hasta que se cuente con resultados de investigación que avalen el uso de otros medios de unión, como clavos o pernos.

5. ESPACIAMIENTOS Y DISTANCIAS MÍNIMAS

En este capítulo se presentan los requisitos de espaciamientos y distancias mínimos de acuerdo con las diferentes normas y estudios analizados.

5.1. Espaciamientos y distancias mínimas en Eurocódigo 5

5.1.1. Tornillos y clavos

5.1.1.1. Tornillos cargados lateralmente con diámetro no mayor a 6 [mm] y clavos

Para tornillos con diámetro $D \leq 6$ [mm], rigen los requisitos de espaciamiento mínimos establecidos para clavos, los cuales se presentan en la Tabla 5-1, donde:

- a_1 : espaciamiento entre medios de unión en una hilera paralela a la fibra, [mm], ver Figura 5-1.
- a_2 : espaciamiento entre hileras de medios de unión perpendiculares a la fibra, [mm], ver Figura 5-1.
- $a_{3,c}$: distancia entre el medio de unión y el extremo descargado, [mm], ver Figura 5-1.
- $a_{3,t}$: distancia entre el medio de unión y el extremo cargado, [mm] ver Figura 5-1.
- $a_{4,c}$: distancia entre el medio de unión y el borde descargado, [mm] ver Figura 5-1.
- $a_{4,t}$: distancia entre el medio de unión y el borde cargado, [mm], ver Figura 5-1.
- α : ángulo entre la fuerza y la dirección de la fibra de la capa externa, [mm], ver Figura 5-1.

Tabla 5-1. Espaciamiento mínimo para tornillos con diámetro no mayor a 6 [mm]. (CEN, 2004a)

Distancia	Ángulo α	Espaciamiento mínimo o distancia al extremo/borde		
		Sin perforación guía		Con perforación guía
		$\rho_k \leq 420$ [kg/m ³]	$420 < \rho_k \leq 500$ [kg/m ³]	
a_1	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$D < 5$ [mm] $[5 + 5 \cdot \cos(\alpha)] \cdot D$ $D \geq 5$ [mm] $[5 + 7 \cdot \cos(\alpha)] \cdot D$	$[7 + 8 \cdot \cos(\alpha)] \cdot D$	$[4 + \cos(\alpha)] \cdot D$
a_2	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$5 \cdot D$	$7 \cdot D$	$[3 + \sin(\alpha)] \cdot D$
$a_{3,t}$	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$[10 + 5 \cdot \cos(\alpha)] \cdot D$	$[15 + 5 \cdot \cos(\alpha)] \cdot D$	$[7 + 5 \cdot \cos(\alpha)] \cdot D$
$a_{3,c}$	$90^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$10 \cdot D$	$15 \cdot D$	$7 \cdot D$
$a_{4,t}$	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$D < 5$ [mm] $[5 + 2 \cdot \sin(\alpha)] \cdot D$ $D \geq 5$ [mm] $[5 + 5 \cdot \sin(\alpha)] \cdot D$	$D < 5$ [mm] $[7 + 2 \cdot \sin(\alpha)] \cdot D$ $D \geq 5$ [mm] $[7 + 5 \cdot \sin(\alpha)] \cdot D$	$D < 5$ [mm] $[3 + 2 \cdot \sin(\alpha)] \cdot D$ $D \geq 5$ [mm] $[3 + 4 \cdot \sin(\alpha)] \cdot D$
$a_{4,c}$	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$5 \cdot D$	$7 \cdot D$	$3 \cdot D$

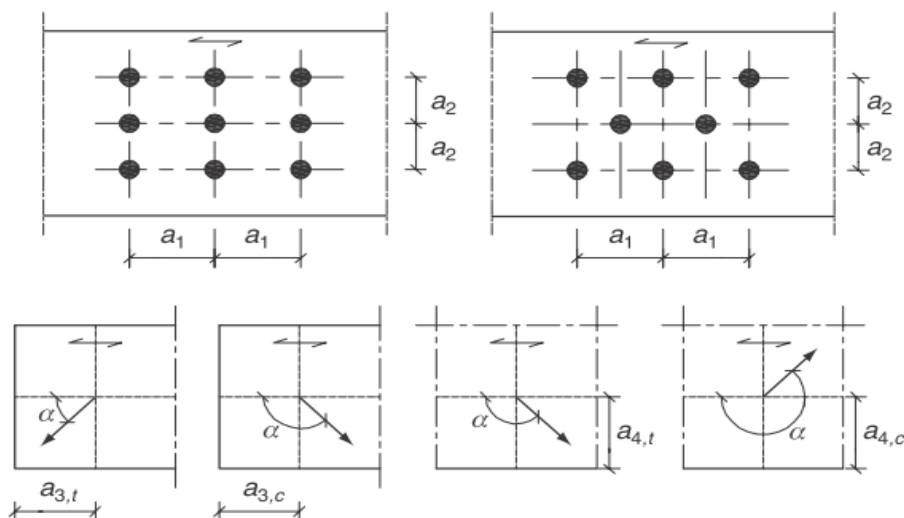


Figura 5-1. Espaciamientos para tornillos con diámetro no mayor a 6 [mm]. (Larsen & Enjily, 2009)

5.1.1.2. Tornillos cargados lateralmente con diámetro mayor a 6 [mm]

Para tornillos con diámetro $D > 6$ [mm], rigen los requisitos de espaciamiento mínimos establecidos para pernos y esquematizados en la Figura 5-1, los cuales se presentan en la Tabla 5-2.

Tabla 5-2. Espaciamiento mínimo para tornillos con diámetro mayor a 6 [mm]. (CEN, 2004a)

Distancia	Ángulo α	Distancia mínima
a_1	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$[4 + \cos(\alpha)] \cdot D$
a_2	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$4 \cdot D$
$a_{3,t}$	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$\max \{7 \cdot D ; 80 \text{ [mm]}\}$
$a_{3,c}$	$90^\circ \leq \alpha \leq 150^\circ$	$[1 + 6 \cdot \sin(\alpha)] \cdot D$
	$150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ$	$4 \cdot D$
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$[1 + 6 \cdot \sin(\alpha)] \cdot D$
$a_{4,t}$	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$\max \{ [2 + 2 \cdot \sin(\alpha)] \cdot D ; 3 \cdot D \}$
$a_{4,c}$	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3 \cdot D$

5.2. Espaciamientos y distancias mínimas propuestas por Blaß & Uibel

5.2.1. Tornillos autorroscantes y clavos

Blaß & Uibel (Blaß & Uibel, 2007) determinaron los requisitos mínimos de distancias a los bordes y espaciamiento entre medios de unión insertados perpendicularmente a la cara del panel de CLT, los cuales se presentan en la Tabla 5-3, donde:

$a_{1,BU}$: espaciamiento entre medios de unión medido en la dirección paralela a la fibra de la capa externa, [mm], ver Figura 5-1.

$a_{2,BU}$: espaciamiento entre medios de unión medido perpendicular a la fibra de la capa externa, [mm], ver Figura 5-1.

$a_{3,t,BU}$: distancia al borde cargado en la dirección paralela a la fibra de la capa externa, [mm], ver Figura 5-1.

$a_{3,c,BU}$: distancia al borde descargado en la dirección paralela a la fibra de la capa externa, [mm], ver Figura 5-1.

$a_{4,t,BU}$: distancia al borde cargado perpendicular a la dirección de la fibra de la capa externa, [mm], ver Figura 5-1.

$a_{4,c,BU}$: distancia al borde descargado perpendicular a la dirección de la fibra de la capa externa, [mm], ver Figura 5-1.

α : ángulo entre la fuerza y la dirección de la fibra de la capa externa, [°].

Tabla 5-3. Espaciamientos mínimos para medios de unión en la cara plana de paneles de CLT propuestos por Uibel & Blaß. (Blaß & Uibel, 2007)

Distancias mínimas [mm]	Tornillos autorroscantes	Clavos
$a_{1,BU}$	$4 \cdot D$	$[3 + 3 \cdot \cos(\alpha)] \cdot D$
$a_{2,BU}$	$2,5 \cdot D$	$3 \cdot D$
$a_{3,t,BU}$	$6 \cdot D$	$[7 + 3 \cdot \cos(\alpha)] \cdot D$
$a_{3,c,BU}$	$6 \cdot D$	$6 \cdot D$
$a_{4,t,BU}$	$6 \cdot D$	$[3 + 4 \cdot \sin(\alpha)] \cdot D$
$a_{4,c,BU}$	$2,5 \cdot D$	$3 \cdot D$

5.3. Espaciamiento y distancias mínimas en CSA O86-09

5.3.1. Tornillos

5.3.1.1. Espaciamientos mínimos

Para tornillos con diámetro D , rigen los requisitos de espaciamiento mínimos establecidos para clavos, los cuales se presentan en la Tabla 5-4, donde:

a : espaciamiento entre medios de unión en una hilera paralela a la fibra, ver Figura 5-2.

b : distancia al extremo paralela a la fibra, ver Figura 5-2.

c : espaciamiento entre medios de unión perpendicular a la fibra, ver Figura 5-2.

d : distancia al extremo perpendicular a la fibra, ver Figura 5-2.

Tabla 5-4. Espaciamiento mínimo para tornillos para madera. (CSA, 2014)

Distancia	Espaciamiento mínimo	
	Douglas Fir-Larch, Hem-Fir y Western Cedar	Spruce-Pine-Fir y Northern Species
a	$20 \cdot D$	$16 \cdot D$
b	$15 \cdot D$	$12 \cdot D$
c	$10 \cdot D$	$8 \cdot D$
d	$5 \cdot D$	$4 \cdot D$

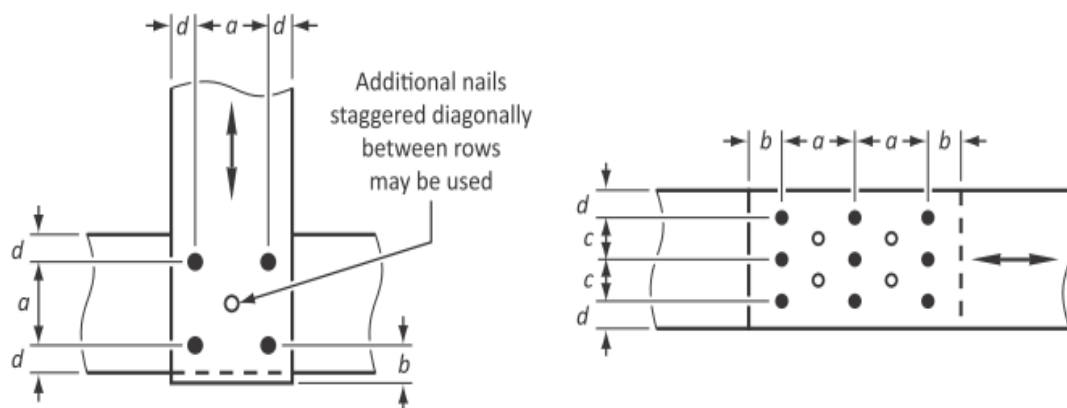


Figura 5-2. Espaciamientos para tornillos. (CSA, 2014)

5.3.2. Tirafondos

5.3.2.1. Espaciamientos mínimos

Para tirafondos con diámetro D (en [mm]), rigen los requisitos mínimos de espaciamiento presentados a continuación:

- (i) En una hilera de tirafondos alineados con la dirección de la carga, independiente de la dirección de la fibra, el espaciamiento mínimo entre tirafondos será el determinado de acuerdo con la Tabla 5-5.

Tabla 5-5. Espaciamiento mínimo entre tirafondos alineados paralelos a la carga. (CSA, 2014)

Dirección de la carga	Espaciamiento mínimo entre tirafondos
Paralela a la fibra	$4 \cdot D$
Perpendicular a la fibra	$3 \cdot D$

- (ii) El espaciamiento mínimo entre hileras será el determinado de acuerdo con la Tabla 5-6.

Tabla 5-6. Espaciamiento mínimo entre hileras. (CSA, 2014)

Dirección de la carga		Espaciamiento mínimo entre hileras
Paralela a la fibra		$2 \cdot D$
Perpendicular a la fibra	$t/D = 2$	$2,5 \cdot D$
	$t/D = 6$	$5 \cdot D$
	$2 < t/D < 6$	Interpolación lineal

- (iii) La distancia mínima al extremo será la determinada de acuerdo con la Tabla 5-7.

Tabla 5-7. Distancia mínima al extremo. (CSA, 2014)

Extremo	Distancia mínima al extremo
Cargado	$\max \{7 \cdot D ; 50 \text{ mm}\}$
Descargado	$\max \{4 \cdot D ; 50 \text{ mm}\}$

- (iv) La distancia mínima a los bordes, será la determinada de acuerdo con la Tabla 5-8 y esquematizada en la Figura 4-3.

Tabla 5-8. Distancia mínima a los bordes. (CSA, 2014)

Naturaleza del borde	Distancia mínima	
	Carga paralela	Carga perpendicular
Cargado	$\max \{1,5 \cdot D ; 0,5 \cdot \text{distancia entre filas}\}$	$4 \cdot D$
Descargado	$\max \{1,5 \cdot D ; 0,5 \cdot \text{distancia entre filas}\}$	$1,5 \cdot D$

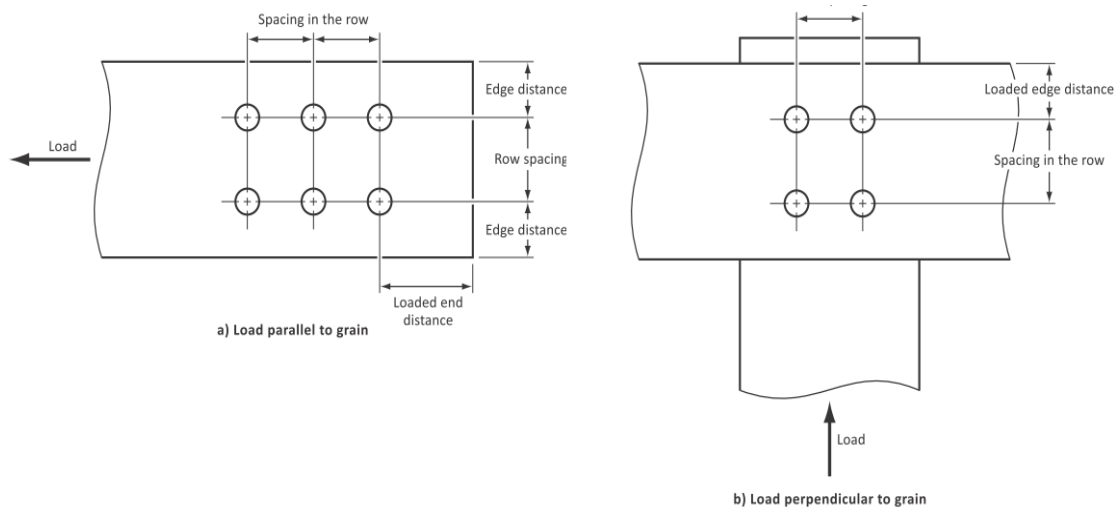


Figura 5-3. Colocación de los tirafondos. (a) carga paralela a la fibra; (b) carga perpendicular a la fibra. (CSA, 2014)

5.4. Espaciamiento y distancias mínimas en NDS

5.4.1. Espaciamientos mínimos

Para medios de unión con diámetro D (en [in]), los requisitos mínimos de espaciamiento se presentan en las tablas siguientes.

- (i) La de distancia mínima al extremo será la determinada de acuerdo con la Tabla 5-9, donde C_{Δ} se define en A.4.5.

Tabla 5-9. Distancia mínima al extremo. (AWC, 2017)

Dirección de la carga		Distancia al extremo	
		Distancia mínima para $C_{\Delta} = 0,5$	Distancia mínima para $C_{\Delta} = 1,0$
Perpendicular a la fibra		$2 \cdot D$	$4 \cdot D$
Compresión paralela a la fibra		$2 \cdot D$	$4 \cdot D$
Tracción paralela a la fibra	Maderas blandas	$3,5 \cdot D$	$7 \cdot D$
	Maderas duras	$2,5 \cdot D$	$5 \cdot D$

- (ii) El espaciamiento mínimo entre medios de unión en una hilera será el determinada de acuerdo con la Tabla 5-10.

Tabla 5-10. Espaciamiento entre medios de unión en una hilera. (AWC, 2017)

Dirección de la carga	Espaciamiento entre medios de unión en una hilera	
	Espaciamiento mínimo	Espaciamiento mínimo para $C_{\Delta} = 1,0$
Paralela a la fibra	$3 \cdot D$	$4 \cdot D$
Perpendicular a la fibra	$3 \cdot D$	Espacio requerido para los miembros unidos

- (iii) La distancia mínima al borde será la determinada de acuerdo con la Tabla 5-11, donde:

$$l = \min \{l_m ; l_s\} \quad (5-1)$$

l_m : longitud del medio de unión en el miembro principal

l_s : longitud del medio de unión en el miembro lateral

Tabla 5-11. Distancia mínima a los bordes. (AWC, 2017)

Dirección de la carga		Distancia mínima al borde
Paralela a la fibra	$l/D \leq 6$	$1,5 \cdot D$
	$l/D > 6$	$\max \left\{ 1,5 \cdot D ; \frac{\text{espaciamiento entre hileras}}{2} \right\}$
Perpendicular a la fibra	borde cargado	$4 \cdot D$
	borde descargado	$1,5 \cdot D$

- (iv) El espaciamiento mínimo entre hileras será el determinada mediante la Tabla 5-12, donde l está dado por la ecuación (5-1).

Tabla 5-12. Espaciamiento mínimo entre hileras. (AWC, 2017)

Dirección de la carga		Espaciamiento entre hileras
Paralela a la fibra		$1,5 \cdot D$
Perpendicular a la fibra	$l/D \leq 2$	$2,5 \cdot D$
	$2 < l/D < 6$	$\frac{5 \cdot l + 10 \cdot D}{8}$
	$l/D \geq 6$	$5 \cdot D$

5.5. Espaciamiento y distancias mínimas en NCh 1198

5.5.1. Tornillos

5.5.1.1. Espaciamientos mínimos

Para tornillos con diámetro D (en [mm]), solicitados a extracción lateral, rigen los requisitos para clavos con perforación guía indicados en la Tabla 5-13 y esquematizados en la Figura 5-4, donde:

- S_{bcn} : distancia al borde cargado, medida normal a la fibra.
- S_{bcp} : distancia al borde cargado, medida paralela a la fibra.
- S_{bdn} : distancia al borde descargado, medida normal a la fibra.
- S_{bdp} : distancia al borde descargado, medida paralela a la fibra.
- S_n : espaciamento entre medios de unión en dirección normal a la fibra.
- S_p : espaciamento entre medios de unión paralelo a la fibra.

Tabla 5-13. Espaciamientos mínimos para tornillos. (INN, 2014)

Separación mínima para tornillos	
S_p	$5 \cdot D$
S_n	$5 \cdot D$
S_{bcp}	$10 \cdot D$
S_{bcn}	$5 \cdot D$
S_{bdp}	$5 \cdot D$
S_{bdn}	$3 \cdot D$

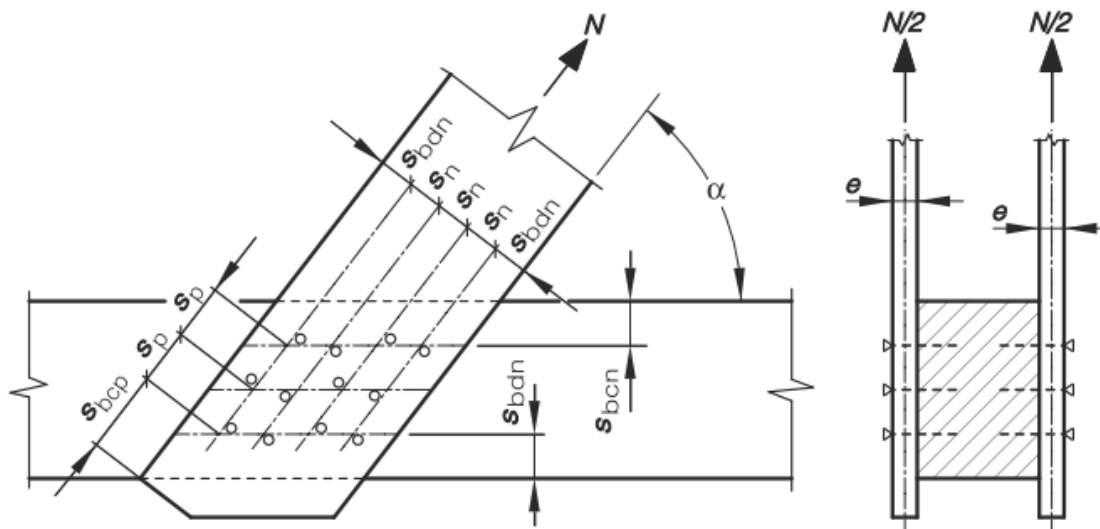


Figura 5-4. Designación de espaciamentos y bordes. (INN, 2014)

5.5.1.2. Espaciamientos máximos

Para tornillos estructurales la distancia máxima entre tornillos en la dirección de la fibra, y en cualquier dirección en tableros de madera es:

$$S_{max \parallel} = 40 \cdot D \quad (5-2)$$

Para tornillos estructurales la distancia máxima entre tornillos vecinos, normal a la dirección de la fibra es:

$$S_{max \perp} = 20 \cdot D \quad (5-3)$$

5.5.2. Tirafondos

5.5.2.1. Espaciamientos mínimos

Para tirafondos con diámetro D (en [mm]) rigen los requisitos de espaciamientos mínimos definidos en 5.5.1.1 y esquematizados en la Figura 5-4, los cuales se indican en la Tabla 5-14.

Tabla 5-14. Distancias mínimas para tirafondos. (INN, 2014)

Distancia mínima para tirafondos	
S_p	$5 \cdot D$
S_n	$4 \cdot D$
S_{bcp}	$\max (7 \cdot D, 80 \text{ [mm]})$
S_{bcn}	$4 \cdot D$
S_{bdp}	$4 \cdot D$
S_{bdn}	$3 \cdot D$

6. ANÁLISIS Y RESULTADOS

6.1. Capacidad de carga en extracción lateral en conexiones entre paneles de muro de CLT

En esta sección se analizan diferentes metodologías de cálculo para determinar la capacidad de carga en extracción lateral, en conexiones entre paneles paralelos de CLT, mediante el uso del modelo de fluencia de la NCh 1198 Of. 2014 (INN, 2014).

6.1.1. Antecedentes

Para realizar un análisis satisfactorio de la predicción de la capacidad de carga en extracción lateral utilizando las distintas ecuaciones provistas por las normas o las investigaciones presentadas, se debe tener especial cuidado en la metodología de diseño que utilizan y la compatibilidad entre los modelos analizados.

6.1.1.1. Metodologías de diseño

En las normas e investigaciones analizadas, el efecto de la laminación cruzada en los paneles de CLT es considerado directa o indirectamente a través de la resistencia al aplastamiento del medio de unión. De este modo, se pueden diferenciar tres metodologías para el diseño de conexiones entre paneles de CLT: metodología Uibel & Blaß, metodología CSA-086 y metodología NDS-CLT Handbook.

6.1.1.1.1. Metodología Uibel & Blaß

Se considerará como metodología Uibel & Blaß al uso de las ecuaciones (3-7) y (3-10). Este método considera el efecto de la laminación cruzada a través del uso de ecuaciones específicas para la resistencia al aplastamiento en CLT, las cuales han sido derivadas para ser utilizadas junto con las disposiciones del Eurocódigo 5 (CEN, 2004a), el cual usa la metodología de diseño de estados límites últimos (LSD).

6.1.1.1.2. Metodología CSA O86

Se considerará como metodología CSA O86, al uso de las ecuaciones de la normativa canadiense. Tal como se explicó en 3.2.2, en CSA O86-14 (CSA, 2014) el CLT ha sido considerado mediante la aplicación de un factor de ajuste sobre las ecuaciones de resistencia al aplastamiento existentes, las cuales se utilizan en conjunto con el modelo de fluencia de la normativa canadiense. Al igual que el modelo europeo, las ecuaciones canadienses siguen la metodología de diseño LSD.

6.1.1.1.3. Metodología NDS-CLT Handbook

Se considerará como metodología NDS-CLT Handbook, al uso de las ecuaciones de la normativa vigente en Estados Unidos (NDS) junto con las recomendaciones dadas por el CLT Handbook (Gagnon & Pirvu, 2011). La NDS (AWC, 2017) considera el diseño de conexiones entre paneles de CLT entre sus disposiciones, tomando en cuenta el efecto de la laminación cruzada a través de la corrección de la longitud de aplastamiento del

medio de unión, detallada en 3.2.3.4.4. Además, esta norma utiliza el método de diseño ASD.

6.1.1.2. Compatibilidad con la NCh 1198

Debido a que el método de diseño utilizado en la NCh 1198 Of. 2014 (INN, 2014) corresponde al método de diseño por tensiones admisibles (ASD), los métodos europeo y canadiense no son directamente compatibles con las disposiciones de la normativa nacional.

En el caso de la metodología Uibel & Blaß, resulta posible utilizar las ecuaciones (3-7) y (3-10) en conjunto con el modelo de fluencia chileno, considerando la aplicación de un factor de ajuste adecuado, el cual es determinado en la sección 6.1.5

En el caso de la metodología CSA O86, además de las diferencias entre los métodos de diseño, la estructura de las ecuaciones de fluencia del modelo canadiense y chileno son diferentes, tal como se presenta en 3.2.2 y 3.2.4. De esta forma, las ecuaciones del método CSA O86 no resultan prácticas para ser utilizado en conjunto con las disposiciones de la normativa nacional.

La metodología NDS, al utilizar el método de diseño ASD, puede ser utilizado directamente en conjunto con las disposiciones de la NCh 1198 Of. 2014 (INN, 2014).

6.1.1.3. Metodologías consideradas

Con el objetivo de determinar la metodología más apropiada para ser usada en conjunto con el modelo de fluencia de la NCh 1198 Of. 2014 definido en 3.2.4, se evaluó la capacidad de carga en extracción lateral admisible utilizando las tres metodologías presentadas a continuación:

- i. Metodología Uibel & Blaß, mediante el uso de la ecuación (3-7) para determinar la resistencia al aplastamiento en CLT, en conjunto con un factor de ajuste, tal como se presenta en la ecuación (6-1). La ecuación (3-10) no será considerada debido a las limitaciones asociadas al espesor del panel, presentadas en 3.2.1.1.4.

$$R_{ap,B\&U} = \frac{0,035 \cdot (1 - 0,015 \cdot D) \cdot \rho_0^{1,16}}{(1,1 \cdot \sin^2(\alpha) + \cos^2(\alpha))} \cdot \left(\frac{1}{FA_{CLT}} \right) \quad (6-1)$$

$R_{ap,B\&U}$: resistencia al aplastamiento utilizando la ecuación de Uibel & Blaß ajustada mediante FA_{CLT} , [MPa].

D : diámetro del medio de unión, [mm].

ρ_0 : densidad anhidra media del panel de CLT, [kg/m³].

α : ángulo entre la fuerza y la dirección de la fibra de la capa externa, [°].

FA_{CLT} : factor de ajuste para método de Uibel & Blaß.

La capacidad de carga en extracción lateral es determinada con las ecuaciones presentadas en la Tabla 3-9. Este método es válido para paneles de CLT formados por capas de espesor máximo 40 [mm] y relación entre capas de acuerdo con la ecuación (3-9), tal como se define en 3.2.1.1.3.

La introducción del factor de ajuste influye en la estimación del tipo de falla que gobierna la capacidad de la conexión. Este efecto es minimizado mediante un factor de corrección FC_{CLT} a aplicar sobre la capacidad de carga en extracción lateral pronosticada para los modos I_i, I_c, y II de la NCh 1198 Of. 2014 (INN, 2014), mediante la expresión siguiente:

$$P_{corr,B\&U} = P_{fr,B\&U} \cdot (FC_{CLT}) \quad (6-2)$$

$P_{corr,B\&U}$: capacidad de carga en extracción lateral corregida para modos de falla I_i, I_c y II determinada con el método de Uibel & Blaß en conjunto con el modelo de fluencia de la NCh 1198.

$P_{fr,B\&U}$: capacidad de carga en extracción lateral para modos de falla I_i, I_c y II determinada con el método de Uibel & Blaß en conjunto con el modelo de fluencia de la NCh 1198.

FC_{CLT} : factor de corrección para la capacidad de carga en extracción lateral de los modos de falla I_i, I_c y II.

- ii. Metodología NDS-CLT Handbook, mediante el uso de las ecuaciones de la NCh 1198 Of. 2014 (INN, 2014) presentadas en 3.2.4 para el cálculo de la resistencia al aplastamiento y una corrección adicional de la longitud de aplastamiento, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$l_{corr} = \begin{cases} \sum_i^N l_{i,0} + l_{i,90} \cdot \frac{R_{ap,n}}{R_{ap,p}}, & \text{para carga paralela a la fibra en el plano de corte} \\ \sum_i^N l_{i,0} + l_{i,90} \cdot \frac{R_{ap,p}}{R_{ap,n}}, & \text{para carga normal a la fibra en el plano de corte} \end{cases} \quad (6-3)$$

l_{corr} : longitud de aplastamiento corregida, [mm].

$l_{i,0}$: longitud de aplastamiento del medio de unión en la i-ésima capa, cuya dirección de la fibra es paralela a la fibra en el plano de corte, [mm].

$l_{i,90}$: longitud de aplastamiento del medio de unión en la i-ésima capa, cuya dirección de la fibra es normal a la fibra en el plano de corte, [mm].

$R_{ap,p}$: resistencia al aplastamiento cuando la carga es paralela a la fibra, [MPa], determinada con las ecuaciones (3-44) a (3-47).

$R_{ap,n}$: resistencia al aplastamiento cuando la carga es perpendicular a la fibra, [MPa], determinada con las ecuaciones (3-44) a (3-47).

Si el diámetro del medio de unión es menor a 6,4 [mm], la longitud de aplastamiento no debe ser corregida, de forma que la capacidad de carga en extracción lateral se calcula íntegramente mediante las ecuaciones de la NCh 1198 Of. 2014 (INN, 2014).

- iii. Metodología Hankinson extendido, utilizando la ecuación (3-48) definida en 3.2.4.1.3 para determinar la resistencia al aplastamiento en CLT.

Los métodos considerados aplican exclusivamente sobre el CLT. En conexiones en que se utilice otro producto de madera de ingeniería, rigen las expresiones de la NCh 1198 Of. 2014 (INN, 2014) dada por las ecuaciones (3-44) a (3-47). Además, para todos los métodos considerados, la capacidad de carga lateral será determinada con el modelo de fluencia de la NCh 1198 (INN, 2014).

6.1.2. Método de análisis

Para analizar la capacidad de carga en extracción lateral, se calculó la capacidad de carga lateral pronosticada utilizando los métodos presentados en 6.1.1.3, mediante la implementación de estas ecuaciones en el software MS Excel.

6.1.3. Casos de análisis

Se analizó la capacidad de carga en extracción lateral entre paneles de madera contralaminada con uniones de traslape y con listón individual pronosticada por los métodos presentados en 6.1.1.3, bajo tres direcciones de carga: paralela, normal y en ángulo de 45° con respecto a la fibra de la capa externa del panel. Además, se varió la densidad y espesor de los productos de madera de ingeniería considerados y la longitud del medio de unión. Se realizaron en total 1.080 estimaciones de la capacidad de carga en extracción lateral para las conexiones de traslape y 6.480 estimaciones para la conexión con listón.

Las características de los paneles considerados, así como los sistemas de conexión y fijación, se presentan a continuación.

6.1.3.1. Características de los paneles de CLT

Se consideró seis paneles de CLT con diferente espesor y cantidad de capas, los cuales se presentan en la Tabla 6-1. La configuración de los paneles escogidos resulta similar a los utilizados en las investigaciones presentadas en la sección 4.3.2, además de cumplir con los límites de espesor para la validez del método Uibel & Blaß. La densidad de los elementos de madera considerados se presenta en la Tabla 6-2.

Tabla 6-1. Características generales de los paneles de CLT analizados.

Espesor panel [mm]	90	105	130	155	180	210
Espesor capa [mm]	18	35	26	31	36	30
Número capas	5	3	5	5	5	7
Espesor listón [mm]	12 – 18	15 – 35	15 – 26	15 – 31	20 – 36	20 – 30

Tabla 6-2. Densidad de los paneles y listón analizados.

Producto de madera de ingeniería	Panel de CLT	Listón
Densidad anhidra [kg/m³]	420 – 450 – 500	630 – 670 – 700

6.1.3.2. Sistema de conexión

Los casos analizados contemplan el uso de los sistemas de conexión de traslape y con listón, descritas en 4.2, debido a que resultan adecuados para conexiones disipativas en estructuras fabricadas con muros y losas de CLT, como se presenta en 4.3.2. Para las uniones de traslape, el espesor del miembro lateral corresponde a la mitad del panel de CLT. Para las conexiones con listón, por cada panel se varió el espesor y la densidad del listón, tal como se presenta en la Tabla 6-1 y Tabla 6-2, respectivamente.

6.1.3.3. Sistema de fijación

Las conexiones de traslape y con listón fueron analizadas considerando diferentes diámetros y longitud del medio de unión, tal como se presenta en la Tabla 6-3 y Tabla 6-4, con una longitud mínima de forma que la punta este contenida en la penúltima capa del panel de CLT, para los paneles de 5 y 7 capas o en la última capa para el panel de 3 capas.

El análisis realizado consideró las propiedades mecánicas de tres tornillos comerciales: SDWH, SDWS y ASSY VG Plus, cuyas características se presentan en la Tabla 6-5 y Tabla 6-6.

Tabla 6-3. Longitud de tornillos SDW en los paneles considerados.

Espesor panel [mm]	Diámetro externo medio de unión [mm]	Longitud medio de unión [mm]
90	6,8 (SDWH)	62 – 70 – 80 – 85
105	6,8 (SDWH)	85 – 95 – 100
	7,8 (SDWS)	
130	6,8 (SDWH)	86 – 92 – 100 – 110 – 120 – 125
	7,8 (SDWS)	85 – 95 – 100 – 110 – 120 – 125
155	6,8 (SDWH)	100 – 110 – 120 – 130 – 140 – 150
	7,8 (SDWS)	
180	6,8 (SDWH)	125 – 140 – 155 – 175
	7,8 (SDWS)	
210	7,8 (SDWS)	160 – 180 – 190 – 205

Tabla 6-4. Longitud tornillo ASSY VG Plus en los paneles considerados.

Espesor panel [mm]	Diámetro externo tornillo ASSY VG Plus [mm]	Longitud medio de unión [mm]
90	6,0	62 – 70 – 80 – 85
105	6,0	85 – 95 – 100
	8,0	
130	6,0	86 – 92 – 100 – 115 – 120 – 125
	8,0	90 – 92 – 100 – 115 – 120 – 125
	10,0	
155	6,0	110 – 120 – 136 – 150
	8,0	100 – 110 – 120 – 136 – 140 – 150
	10,0	
180	8,0	125 – 140 – 156 – 175
	10,0	125 – 135 – 140 – 160 – 165 – 175
	12,0	125 – 135 – 140 – 156 – 165 – 175
210	8,0	160 – 180 – 190 – 205
	10,0	
	12,0	165 – 172 – 180 – 190 – 195 – 205

Tabla 6-5. Características tornillos SDWS y SDWH. (UNIFORM Evaluation Service, 2020)

Modelo	Largo [in] (mm)	Diámetro vástago [in] (mm)	Diámetro externo rosca [in] (mm)	Diámetro raíz [in] (mm)	Resistencia de fluencia a flexión [psi] (Mpa)
SDWS	≤ 5,9 (150)	0,219 (5,6)	0,305 (7,8)	0,198 (5,0)	160000 (1102)
	> 5,9 (150)				175000 (1206)
SDWH	> 2,4 (60)	0,197 (5,0)	0,268 (6,8)	0,177 (4,5)	175000 (1206)

Tabla 6-6. Características tornillos ASSY VG Plus. (ICC Evaluation Service, 2018)

Diámetro vástago [in] (mm)	Diámetro externo rosca [in] (mm)	Diámetro raíz [in] (mm)	Resistencia de fluencia a flexión [psi] (MPa)
1/4 (6,4)	0,236 (6,0)	0,150 (3,8)	129.200 (890)
5/16 (7,9)	0,315 (8,0)	0,197 (5,0)	132.500 (913)
3/8 (9,5)	0,394 (10,0)	0,244 (6,2)	136.600 (941)
1/2 (12,7)	0,472 (12,0)	0,280 (7,1)	166.300 (1146)

6.1.4. Resultados

6.1.4.1. Conexión de traslape

De un total de 1.080 casos analizados, en 759 se cumple con la longitud de penetración mínima en el miembro principal igual a $4 \cdot D$, de acuerdo con la sección 3.2.4.4.2. No obstante, a menos que se indique lo contrario, los resultados presentados en esta sección consideran el total de estimaciones realizadas.

En la Figura 6-1 y Figura 6-2 muestran la capacidad de carga lateral determinada con los diferentes métodos analizados, para conexión de traslape de acuerdo con los parámetros definidos en la Tabla 6-1 a Tabla 6-6 y con un factor de ajuste $FA_{CLT} = 1,0$ para el método de Uibel & Blaß. En la Figura 6-1 se presentan los valores de la capacidad de carga lateral estimada para los modos de falla dúctil (modos II y III de

acuerdo con el modelo de fluencia de Johansen) y la Figura 6-2 para los modos de falla frágil (modo I de acuerdo con el modelo de fluencia de Johansen).

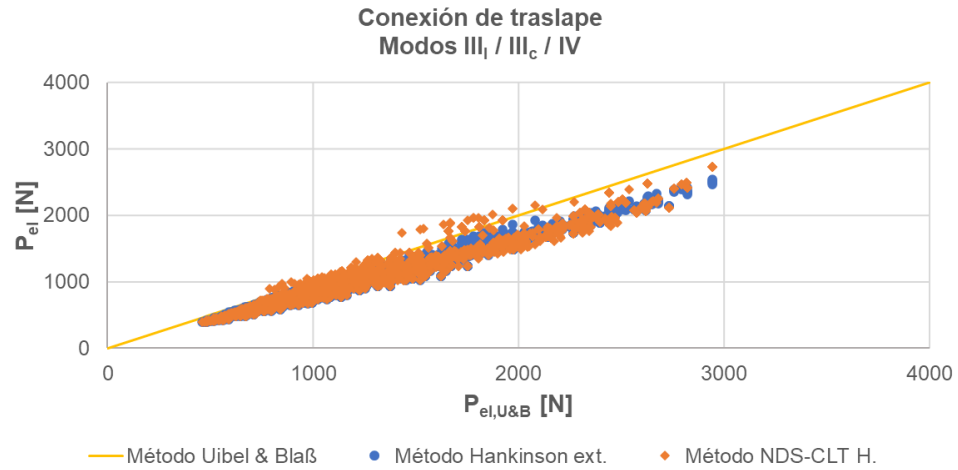


Figura 6-1. Capacidad de carga en extracción lateral para modos de falla dúctil en conexión de traslape.

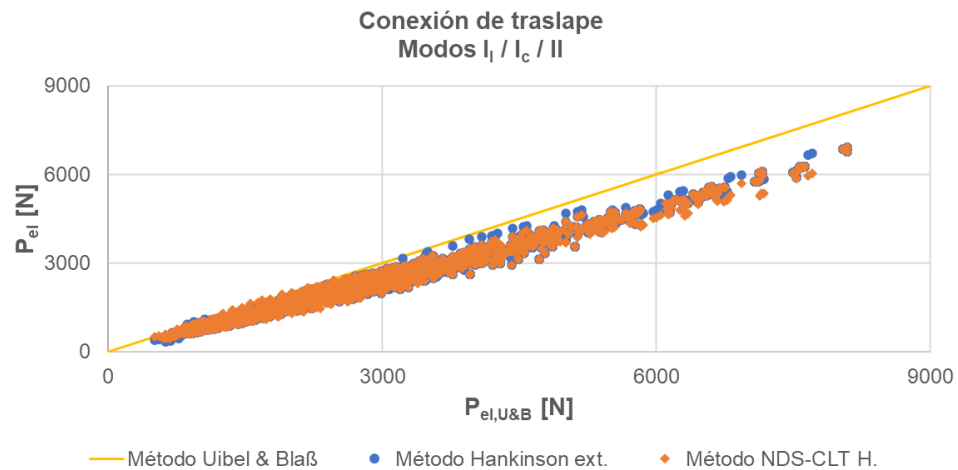


Figura 6-2. Capacidad de carga en extracción lateral para modos de falla frágil en conexión de traslape.

La Tabla 6-7 muestra el tipo de falla que gobierna la capacidad de la conexión de traslape.

Tabla 6-7. Tipo de falla pronosticada para conexiones de traslape.

Tipo de falla	Hankinson extendido	NDS – CLT Handbook	Uibel & Blaß
Frágil	2,40%	4,70%	1,50%
Dúctil	97,6%	95,3%	98,5%

En la Figura 6-3 y Figura 6-4 presentan la capacidad de carga en extracción lateral pronosticada para conexiones de traslape, al aplicar un factor de ajuste $FA_{CLT} = 2,0$ al

método de Uibel & Blaß. El tipo de falla que gobierna la capacidad de la conexión en esta situación se presenta en la Tabla 6-8.

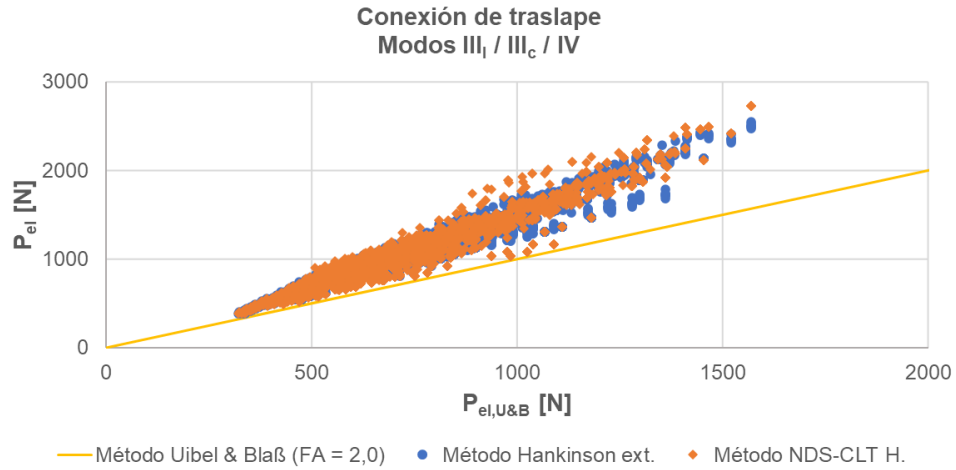


Figura 6-3. Capacidad de carga en extracción lateral para modos de falla dúctil en conexión de traslape aplicando factor de ajuste $FA_{CLT} = 2,0$ a método Uibel & Blaß.

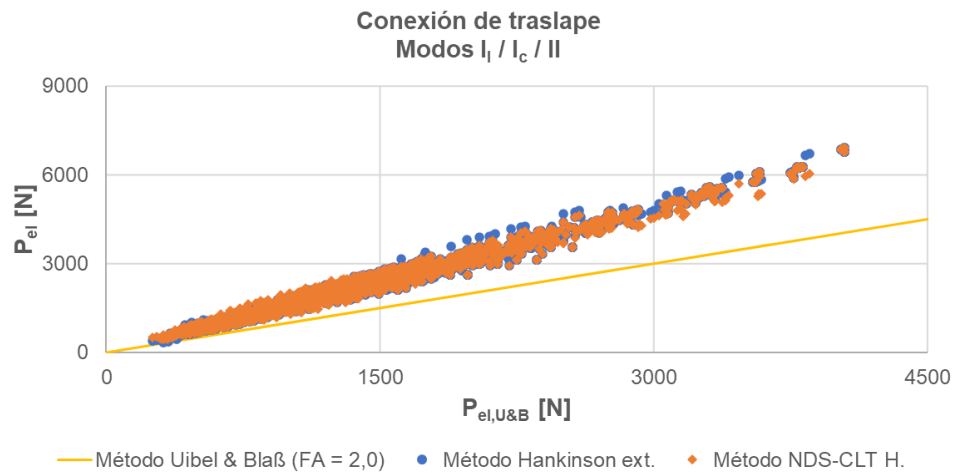


Figura 6-4. Capacidad de carga en extracción lateral para modos de falla frágil en conexión de traslape aplicando factor de ajuste $FA_{CLT} = 2,0$ a método Uibel & Blaß.

En la Figura 6-5 se compara la capacidad de carga en extracción lateral estimada para los modos de falla frágil, luego de aplicar un factor de corrección $FC_{CLT} = 1,05$ al método de Uibel & Blaß.

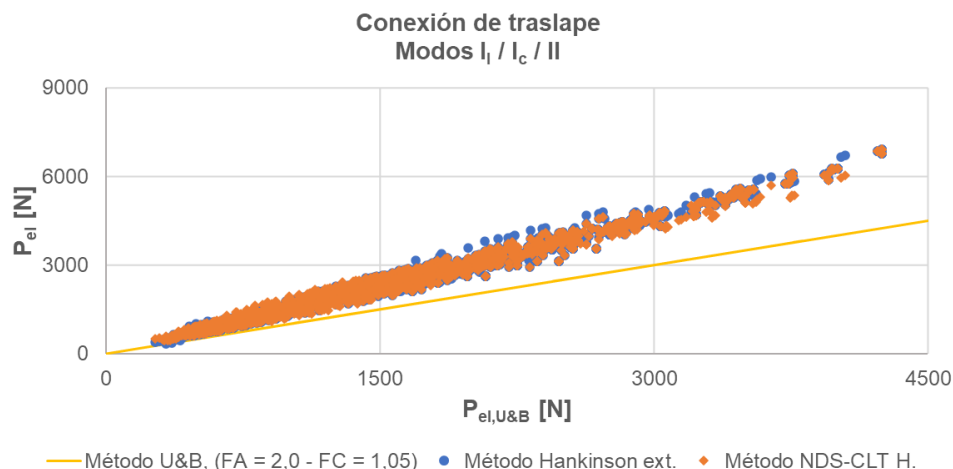


Figura 6-5. Capacidad de carga en extracción lateral para modos de falla frágil en conexión de traslape aplicando factor de ajuste $FA_{CLT} = 2,0$ y de corrección $FC_{CLT} = 1,05$ a método Uibel & Blaß.

La Tabla 6-8 muestra el tipo de falla que gobierna la capacidad de la conexión de traslape, al aplicar un factor de ajuste $FA_{CLT} = 2,0$ y un factor de corrección adicional $FC_{CLT} = 1,05$ al método de Uibel & Blaß. Si se desprecian los resultados obtenidos cuando no se cumplió con la longitud de penetración mínima (321 casos), el tipo de falla pronosticado por cada método se presenta en la Tabla 6-9.

Tabla 6-8. Tipo de falla pronosticada con métodos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß con $FA_{CLT} = 2,0$ y $FC_{CLT} = 1,05$, para conexiones de traslape.

Tipo de falla	Hankinson extendido	NDS – CLT Handbook	Uibel & Blaß ($FA_{CLT} = 2$)	Uibel & Blaß ($FA_{CLT} = 2,0 - FC_{CLT} = 1,05$)
Frágil	2,40%	4,70%	11,4%	6,5%
Dúctil	97,6%	95,3%	88,6%	93,5%

Tabla 6-9. Tipo de falla pronosticada con métodos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß con $FA_{CLT} = 2,0$ y $FC_{CLT} = 1,05$, para conexiones de traslape, considerando cumplimiento de penetración mínima.

Tipo de falla	Hankinson extendido	NDS-CLT Handbook	Uibel & Blaß ($FA_{CLT} = 2$)	Uibel & Blaß ($FA_{CLT} = 2,0 - FC_{CLT} = 1,05$)
Frágil	0,00%	2,10%	5,70%	1,40%
Dúctil	100,0%	97,9%	94,3%	98,6%

En la Tabla 6-10, se presenta el modo de falla que gobierna la capacidad de la conexión de traslape para cada método, considerando solo los resultados obtenidos para conexiones en que se cumple el requisito de longitud de penetración mínima.

Tabla 6-10. Modo de falla pronosticado con métodos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß con $FA_{CLT} = 2,0$ y $FC_{CLT} = 1,05$, para conexiones de traslape, considerando cumplimiento de longitud de penetración mínima.

Modo de falla	Hankinson extendido	NDS – CLT Handbook	Uibel & Blaß ($FA_{CLT} = 2,0 - FC_{CLT} = 1,05$)
Modo $I_l - I_c - II$	0,00%	2,10%	1,40%
Modo III_l	0,00%	0,00%	0,00%
Modo III_c	33,7%	29,9%	60,6%
Modo IV	66,3%	68,0%	37,9%

6.1.4.2. Conexión con listón

De un total de 6.480 casos analizados, en todos se cumple con la longitud de penetración mínima definida en 3.2.4.4.2.

En la Figura 6-6 y Figura 6-7 muestran la capacidad de carga lateral determinada con los diferentes métodos analizados, para conexión con listón de acuerdo con los parámetros definidos en la Tabla 6-1 a Tabla 6-6 y con un factor de ajuste $FA_{CLT} = 1,0$ para el método de Uibel & Blaß. En la Figura 6-6 se presentan los valores de la capacidad de carga lateral estimada para los modos de falla dúctil (modos II y III de acuerdo con el modelo de fluencia de Johansen) y la Figura 6-7 para los modos de falla frágil (modo I de acuerdo con el modelo de fluencia de Johansen).

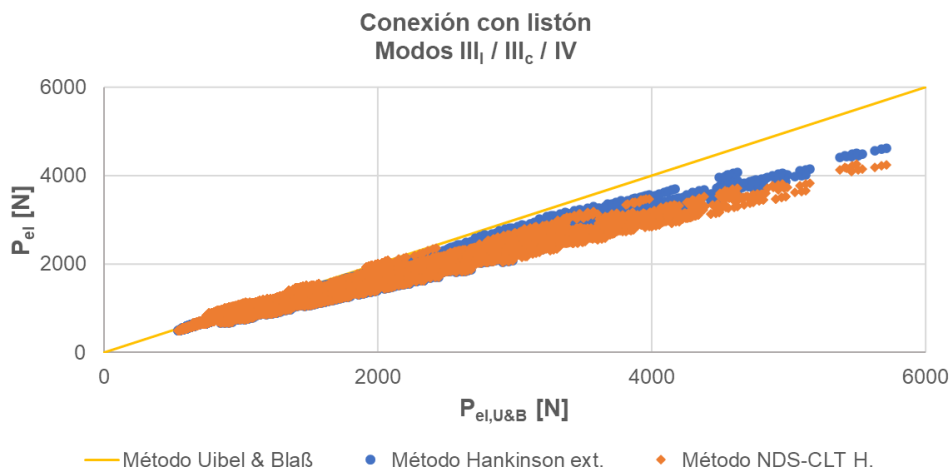


Figura 6-6. Capacidad de carga en extracción lateral para modos de falla dúctil en conexión con listón.

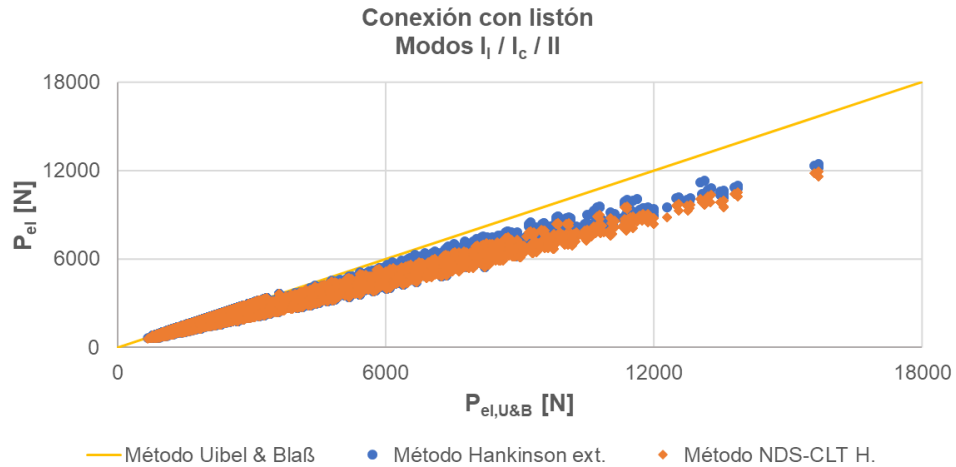


Figura 6-7. Capacidad de carga en extracción lateral para modos de falla frágil en conexión con listón.

La Tabla 6-11 muestra que el tipo de falla que gobierna la capacidad de la conexión con listón corresponde a una falla dúctil.

Tabla 6-11. Tipo de falla pronosticada para conexiones con listón.

Tipo de falla	Hankinson extendido	NDS – CLT Handbook	Uibel & Blaß
Frágil	1,20%	0,80%	1,30%
Dúctil	98,8%	99,2%	98,7%

En la Figura 6-8 y Figura 6-9 se presenta la capacidad de carga en extracción lateral pronosticada para conexiones con listón, al aplicar un factor de ajuste $FA_{CLT} = 2,0$ al método de Uibel & Blaß. El tipo de falla que gobierna la capacidad de la conexión de traslape en esta situación se presenta en la Tabla 6-12.

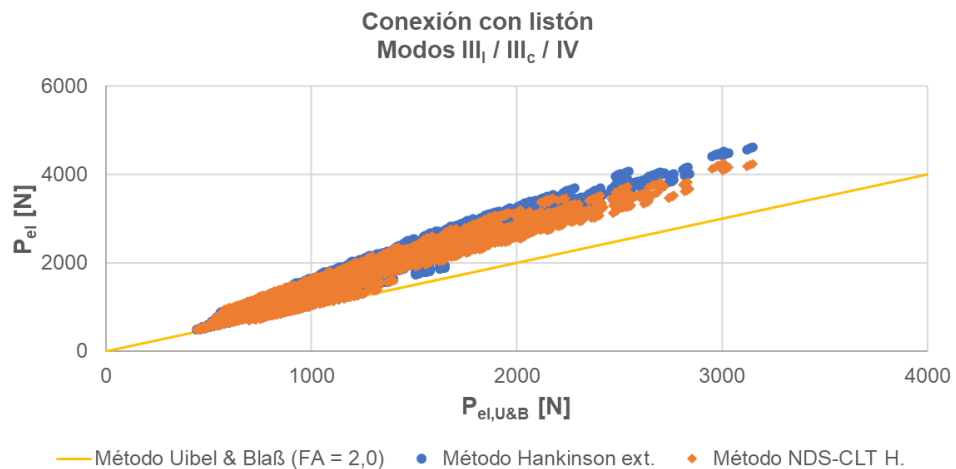


Figura 6-8. Capacidad de carga en extracción lateral para modos de falla dúctil en conexión con listón aplicando factor de ajuste $FA_{CLT} = 2,0$ a método Uibel & Blaß.

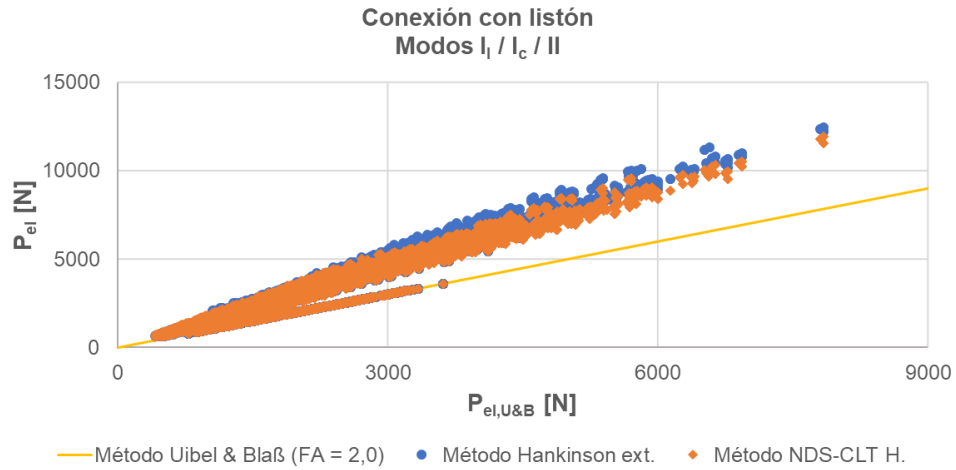


Figura 6-9. Capacidad de carga en extracción lateral para modos de falla frágil en conexión con listón aplicando factor de ajuste $FA_{CLT} = 2,0$ a método Uibel & Blaß.

Al comparar la capacidad de carga en extracción lateral estimada para los modos de falla frágil, luego de aplicar un factor de corrección $FC_{CLT} = 1,05$ al método de Uibel & Blaß, se obtienen los resultados presentados en la Figura 6-10.

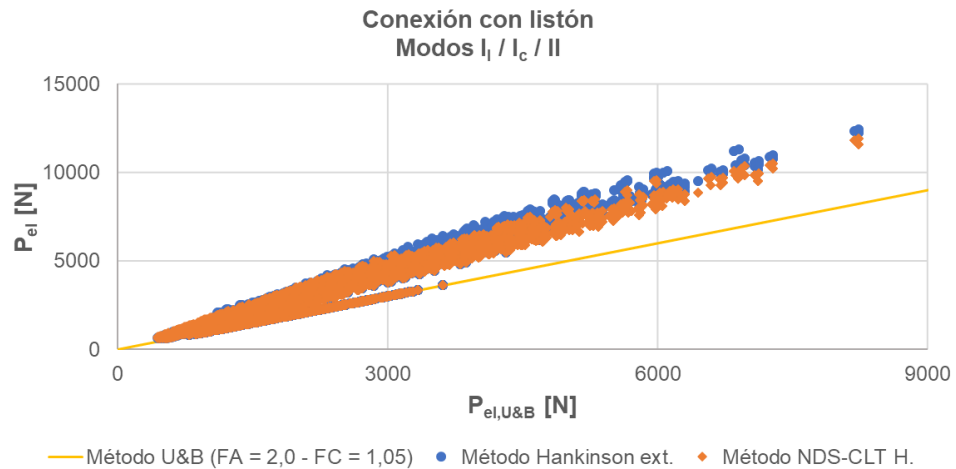


Figura 6-10. Capacidad de carga en extracción lateral para modos de falla frágil en conexión con listón aplicando factor de ajuste $FA_{CLT} = 2,0$ y de corrección $FC_{CLT} = 1,05$ a método Uibel & Blaß.

En la Tabla 6-12, se presenta el tipo de falla que gobierna la capacidad de la conexión con listón, luego de aplicar un factor de ajuste $FA_{CLT} = 2,0$ y un factor de corrección adicional $FC_{CLT} = 1,05$ al método de Uibel & Blaß. En la Tabla 6-13, se indica el modo de falla pronosticado por cada método.

Tabla 6-12. Tipo de falla pronosticada con métodos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß con $FA_{CLT} = 2,0$ y $FC_{CLT} = 1,05$, para conexiones con listón.

Tipo de falla	Hankinson extendido	NDS - CLT Handbook	Uibel & Blaß ($FA_{CLT} = 2,0$)	Uibel & Blaß ($FA_{CLT} = 2,0 - FC_{CLT} = 1,05$)
Frágil	1,20%	0,80%	5,20%	3,10%
Dúctil	98,8%	99,2%	94,8%	96,9%

Tabla 6-13. Modo de falla pronosticado con métodos Hankinson, NDS y Uibel & Blaß con $FA_{CLT} = 2,0$ y $FC_{CLT} = 1,05$, para conexiones con listón.

Modo de falla	Hankinson extendido	NDS - CLT Handbook	Uibel & Blaß ($FA_{CLT} = 2,0 - FC_{CLT} = 1,05$)
Modo II - I _c - II	1,20%	0,80%	3,10%
Modo III _I	77,8%	77,9%	71,2%
Modo III _c	0,60%	0,60%	4,80%
Modo IV	20,3%	20,7%	20,9%

6.1.5. Análisis y Discusión

6.1.5.1. Conexión de traslape - Situación preliminar

Para determinar el factor de ajuste FA_{CLT} de la ecuación (6-1), se evaluó preliminarmente la capacidad de carga en extracción lateral considerando $FA_{CLT} = 1,0$. La Figura 6-1 y Figura 6-2 muestran la tendencia que siguen los diferentes métodos analizados, considerando las 1.080 estimaciones realizadas. Se observa que los métodos de Hankinson extendido y NDS-CLT Handbook realizan estimaciones similares de la capacidad de carga en extracción lateral. Para los modos de falla dúctil, el método de Uibel & Blaß entrega pronósticos superiores en el 100% de los casos en relación al método de Hankinson y 96% respecto al método NDS, mientras que para los modos de falla frágil, el método de Uibel & Blaß supera la capacidad estimada con los otros métodos en la totalidad de los casos analizados. Considerando las 1.080 estimaciones realizadas, en promedio el método de Uibel & Blaß genera un pronóstico en la magnitud de la capacidad de carga un 18% mayor a lo calculado con los métodos de Hankinson extendido y NDS-CLT Handbook para los modos de falla dúctil y 25% mayor para los modos de falla frágil.

En la Tabla 6-7 se presenta el tipo de falla que gobierna la capacidad de la conexión de traslape. Si bien con todos los métodos se pronóstica un modo de falla dúctil en más del 95% de los casos, el método NDS-CLT Handbook resulta el más conservador, pronosticando un modo de falla frágil en el 4,3% de los casos totales, mientras que por

el contrario, el método de Uibel & Blaß pronostica la menor cantidad de casos con falla frágil, correspondientes a un 1,5% del total analizado.

6.1.5.2. Conexión de traslape - Factor de ajuste en método de Uibel & Blaß

Se evaluó la capacidad de carga en extracción lateral con el método de Uibel & Blaß, utilizando un factor de ajuste $FA_{CLT} = 2,0$ en la ecuación (6-1). Como se observa en la Figura 5-3 y Figura 6-4, la aplicación del factor de ajuste $FA_{CLT} = 2,0$ genera que la capacidad determinada con el método de Uibel & Blaß resulte en pronósticos más conservadores en comparación con los métodos de Hankinson extendido y NDS. Considerando las 1.080 estimaciones realizadas, en promedio el método de Uibel & Blaß genera un pronóstico en la magnitud de la capacidad de carga un 30% menor a lo calculado con los métodos de Hankinson extendido y NDS-CLT Handbook para los modos de falla dúctil y 38% menor para los modos de falla frágil. No obstante, la aplicación del factor de ajuste $FA_{CLT} = 2,0$ influye en el pronóstico de falla frágil.

Se observa en la Tabla 6-8 que la introducción del factor de ajuste en el método Uibel & Blaß condiciona el modo de falla que gobierna la capacidad de la conexión, generando la estimación de falla frágil en el 11,4% del total de casos analizados. Si solo son considerados los 759 casos en que efectivamente se cumplió con la longitud de penetración mínima, se observa en la Tabla 6-9 que el método de Uibel & Blaß pronostica un modo de falla frágil en el 5,7% en los casos, muy superior al 0,0% y 2,1% estimado por los métodos de Hankinson extendido y NDS-CLT Handbook, respectivamente. Esto se debe a que la aplicación del factor de ajuste reduce en proporción directa la capacidad de carga para los modos de falla frágil, lo cual se puede constatar al observar las ecuaciones presentadas en la Tabla 3-9.

Debido a que el factor de ajuste $FA_{CLT} = 2,0$ entrega pronósticos conservadores en cuanto a la capacidad de carga en extracción lateral, se optó por corregir el efecto observado en los pronósticos de falla frágil, modificando la capacidad de carga para dichos modos de acuerdo con la expresión (6-2), de forma de reducir los pronósticos de falla frágil con el método de Uibel & Blaß, tal como se presenta en la sección 6.1.5.3.

6.1.5.3. Conexión de traslape - Factor de corrección en método de Uibel & Blaß

Con el fin de corregir el efecto generado por la aplicación del factor de ajuste $FA_{CLT} = 2,0$ en el método de Uibel & Blaß, se evaluó la capacidad de carga en extracción lateral para los modos de falla I_i, I_c y II de acuerdo con la ecuación (6-2), utilizando un factor de corrección $FC_{CLT} = 1,05$. Los pronósticos fueron comparados con los métodos Hankinson y NDS, además de evaluar la cantidad de casos en que se pronostica un modo de falla frágil.

Tal como se observa en la Figura 6-5, al aplicar un factor de ajuste $FA_{CLT} = 2,0$ de acuerdo con la ecuación (6-1) y un factor de corrección $FC_{CLT} = 1,05$ a la capacidad de carga en extracción lateral de los modos de falla I_i, I_c y II de acuerdo con la ecuación (6-2), la capacidad de carga determinada con el método Uibel & Blaß no varía significativamente, resultando en los pronósticos más conservadores entre los métodos

analizados, siendo la magnitud de la carga estimada en promedio un 35% más baja que la calculada por los métodos de Hankinson extendido y NDS-CLT Handbook.

De un total de 1.080 estimaciones realizadas, la Tabla 6-8 muestra el porcentaje correspondiente a modos de falla frágil y dúctil estimados. En el método Uibel & Blaß, considerando la aplicación del factor de ajuste $FA_{CLT} = 2,0$ y del factor de corrección $FC_{CLT} = 1,05$, el pronóstico de falla dúctil gobierna en el 93,5% de los casos, estimando una falla frágil en un 1,8% más de casos que el método NDS.

Al considerar solamente los resultados obtenidos para los casos en que se cumple con la longitud de penetración mínima definida en 3.2.4.4.2, los cuales corresponden a 759 casos, los pronósticos de falla dúctil corresponden al 98,6% con el método Uibel & Blaß, 97,9% con método NDS-CLT Handbook y 100% con método Hankinson extendido, tal como se presenta en la Tabla 6-9. Sin embargo, no se pronostica el mismo tipo de falla dúctil, siendo el método Uibel & Blaß más conservador en términos de ductilidad, al predecir el modo de falla IV de acuerdo con la NCh 1198 Of. 2014 (INN, 2014) en el 37,9% de los casos, en contraste con el 66,3% y 68,0% de los métodos Hankinson y NDS, tal como se presenta en la Tabla 6-10. Además, la magnitud de la carga admisible determinada con el método Uibel & Blaß es en promedio un 25% inferior a la estimada con los métodos Hankinson extendido y NDS-CLT Handbook.

Los resultados obtenidos permiten concluir que el método Uibel & Blaß es adecuado para el diseño de conexiones de traslape entre paneles de CLT sometidas a carga en extracción lateral, al proveer estimaciones de capacidad de carga más conservadoras en comparación con los métodos Hankinson extendido y NDS-CLT Handbook. Además, el factor de corrección $FC_{CLT} = 1,05$ corrige el efecto generado por el uso del factor de ajuste $FA_{CLT} = 2,00$ en el pronóstico de modos de falla frágil.

6.1.5.4. Conexión con listón - Situación preliminar

De forma similar a la conexión de traslape, se evaluó la capacidad de carga en extracción lateral en conexión con listón. La Figura 6-6 y Figura 6-7 muestran que los métodos de Hankinson extendido y NDS-CLT Handbook realizan estimaciones similares de la capacidad de carga en extracción lateral. Para los modos de falla dúctil, el método de Uibel & Blaß, considerando $FA_{CLT} = 1,0$, supera la capacidad de carga estimada en el 100% de los casos en comparación con el método de Hankinson y el 90% respecto al método NDS; en el 10% de los casos en que la capacidad de carga utilizando el método NDS es superior a la calculada con el método de Uibel & Blaß, la diferencia entre las magnitudes no es superior al 13%. Para los modos de falla frágil, en el 100% de los casos la capacidad de carga en extracción lateral determinada con el método de Uibel & Blaß es igual o mayor a los pronósticos de los métodos Hankinson y método NDS.

Considerando las 6.480 estimaciones realizadas, en promedio el método de Uibel & Blaß genera un pronóstico en la magnitud de la capacidad de carga un 11% mayor para los modos de falla dúctil y 15% mayor para los modos de falla frágil en comparación a lo calculado con el método de Hankinson extendido, mientras que respecto a la capacidad

de carga calculada con el método NDS-CLT Handbook son un 12% mayor para los modos de falla dúctil y 18% mayor para los modos de falla frágil.

En la Tabla 6-11 se presenta el tipo de falla que gobierna la capacidad de la conexión con listón individual. Se observa que se estima un modo de falla dúctil en aproximadamente el 99% de los casos, para todos los métodos.

6.1.5.5. Conexión con listón - Factor de ajuste en método de Uibel & Blaß

Se evaluó la capacidad de carga en extracción lateral con el método de Uibel & Blaß, aplicando al igual que para la conexión de traslape, un factor de ajuste $FA_{CLT} = 2,0$ en la ecuación (6-1). Se observa en la Figura 6-8 y Figura 6-9 que la aplicación del factor de ajuste $FA_{CLT} = 2,0$ genera que la capacidad determinada con el método de Uibel & Blaß resulte en pronósticos más conservadores en comparación con los métodos de Hankinson extendido y NDS-CLT Handbook. En el 100% de las estimaciones realizadas con el método de Uibel & Blaß se obtuvo una capacidad de carga en extracción lateral, en promedio, un 20% inferior a la estimada con los métodos de Hankinson y NDS para los modos de falla dúctil, y 23% menor o igual para los modos de falla frágil.

De un total de 6.480 estimaciones realizadas, la Tabla 6-12 muestra el porcentaje correspondiente a modos de falla frágil y dúctil pronosticados. Se observa en la Tabla 6-12 que la introducción del factor de ajuste en el método Uibel & Blaß condiciona el modo de falla que gobierna la capacidad de la conexión, generando la estimación de falla frágil en el 5,2% del total de casos analizados, entre 5 y 6 veces superior a los pronósticos del método Hankinson extendido y NDS-CLT Handbook, respectivamente. Debido a lo anterior, al igual que en el caso de la conexión de traslape, es necesario corregir el efecto de la aplicación del factor de ajuste, de forma de reducir los pronósticos de falla frágil con el método de Uibel & Blaß.

6.1.5.6. Conexión con listón - Factor de corrección en método de Uibel & Blaß

Con el fin de corregir el efecto generado por la aplicación del factor de ajuste $FA_{CLT} = 2,0$ en el método de Uibel & Blaß, se evaluó la capacidad de carga en extracción lateral para los modos de falla I_c y II de acuerdo con la ecuación (6-2), utilizando un factor de corrección $FC_{CLT} = 1,05$. El modo de falla I_i no es corregido, debido a que corresponde a la falla por aplastamiento del listón, el cual es un producto de madera de ingeniería diferente al CLT y, por lo tanto, la resistencia al aplastamiento es calculada con las ecuaciones (3-44) a (3-47).

Al aplicar un factor de corrección $FC_{CLT} = 1,05$ a la capacidad de carga en extracción lateral de los modos de falla I_c y II de acuerdo con la ecuación (6-2), la capacidad de carga determinada con el método Uibel & Blaß no presenta un incremento significativo, resultando en los pronósticos más conservadores entre los métodos analizados, tal como se observa en la Figura 6-10, siendo la magnitud de la carga estimada en promedio un 20% más baja que la calculada por los métodos de Hankinson extendido y NDS-CLT Handbook.

De un total de 6.480 estimaciones realizadas, la Tabla 6-12 muestra el porcentaje correspondiente a modos de falla frágil y dúctil estimados. En el método Uibel & Blaß, considerando la aplicación del factor de ajuste $FA_{CLT} = 2,0$ y del factor de corrección $FC_{CLT} = 1,05$, el pronóstico de falla dúctil gobierna en prácticamente el 97% de los casos, siendo aproximadamente un 2% menor a los pronósticos realizados con los métodos Hankinson y NDS.

Al comparar el tipo de falla dúctil pronosticada, se observa en la Tabla 6-13 que los tres métodos considerados pronostican un modo de falla IV de acuerdo con la NCh 1198 Of. 2014 (INN, 2014) en el 20% de los casos, mientras que el pronóstico del modo de falla III varía entre el 76% y 78% de los casos en los métodos Hankinson extendido, NDS-CLT Handbook y Uibel & Blaß.

Al igual que en el caso de las conexiones de traslape, los resultados obtenidos permiten concluir que el método Uibel & Blaß es adecuado para el diseño de conexiones con listón entre paneles de CLT sometidas a carga en extracción lateral, al proveer las estimaciones de capacidad de carga más conservadoras en comparación con los métodos Hankinson extendido y NDS-CLT Handbook. Además, la aplicación del factor de corrección $FC_{CLT} = 1,05$ rectifica el efecto generado por el uso del factor de ajuste $FA_{CLT} = 2,0$ en el pronóstico de modos de falla frágil.

6.2. Número efectivo de medios de unión

Cuando se utilizan varios medios de unión de tipo cilíndrico en una unión, la capacidad de carga total se ve afectada por el efecto de grupo, el cual es explicado en el Anexo A.1. El efecto de grupo es considerado en las diferentes normas estudiadas mediante un factor de reducción o número efectivo, los cuales se presentan en el Anexo A.2 a A.5. No obstante, de acuerdo con las investigaciones de (Hossain, Popovski, & Tannert, 2019) y (Uibel & Blaß, 2006), los actuales factores de efecto de grupo en las normas de diseño en madera resultan muy conservadoras para su uso en CLT, dado la naturaleza de capas cruzadas de los paneles, los cuales actúan como refuerzo. Por lo tanto, basado en los resultados de las investigaciones mencionadas, para zonas de alta sismicidad se recomienda estimar el efecto de grupo para medios de unión en conexiones entre muros paralelos fabricados con paneles de CLT de acuerdo con la expresión (4-3).

6.3. Requisitos de distancia y espaciamientos mínimos

Para determinar los requisitos de espaciamientos y distancias mínimas, fueron escogidos los valores propuestos por Uibel & Blaß (Blaß & Uibel, 2007) mostrados en la Tabla 5-3, debido a que corresponden a valores determinados mediante pruebas realizadas en conexiones de borde entre paneles paralelos de CLT, así como los requisitos de la norma NDS (AWC, 2017) presentadas en la sección 5.4, que considera al CLT entre sus disposiciones de diseño. Además, la compatibilidad entre la norma estadounidense con la NCh 1198 Of. 2014 (INN, 2014) facilita la adopción de los criterios norteamericanos. Al comparar los requisitos de clavos, tornillos y tirafondos propuestos por Uibel & Blaß (Blaß & Uibel, 2007) con lo dispuesto en la NDS (AWC, 2017), utilizando

un criterio conservador de modo de que gobierne en la elección el valor más restrictivo, se recomiendan los requisitos de espaciamientos mínimos presentados en la Tabla 6-14 para conexiones entre paneles de muros paralelos de CLT en zonas de alta sismicidad, los cuales son definidos en 5.5.1.1 y esquematizados en la Figura 6-11.

Tabla 6-14. Distancia y espaciamientos mínimos propuesta para medios de unión en conexiones entre paneles de muro paralelos de CLT en zonas de alta sismicidad.

Distancias mínimas	Clavos	Tornillos y tornillos autorroscantes
S_p	$4 \cdot D$	$4 \cdot D$
S_n	$3 \cdot D$	$3 \cdot D$
S_{bcp}	$[7 + 3 \cdot \cos(\alpha)] \cdot D$	$6 \cdot D$
S_{bcn}	$\max\{[3 + 4 \cdot \sin(\alpha)] \cdot D; 4 \cdot D\}$	$6 \cdot D$
S_{bdp}	$6 \cdot D$	$6 \cdot D$
S_{bdn}	$3 \cdot D$	$2,5 \cdot D$

Donde,

- S_{bcn} : distancia al borde cargado, medida normal a la fibra.
 S_{bcp} : distancia al borde cargado, medida paralela a la fibra.
 S_{bdn} : distancia al borde descargado, medida normal a la fibra.
 S_{bdp} : distancia al borde descargado, medida paralela a la fibra.
 S_n : espaciamiento entre medios de unión en dirección normal a la fibra.
 S_p : espaciamiento entre medios de unión paralelo a la fibra.
 D : diámetro del medio de unión.
 α : ángulo entre la fuerza y la dirección de la fibra de la capa externa, [°].

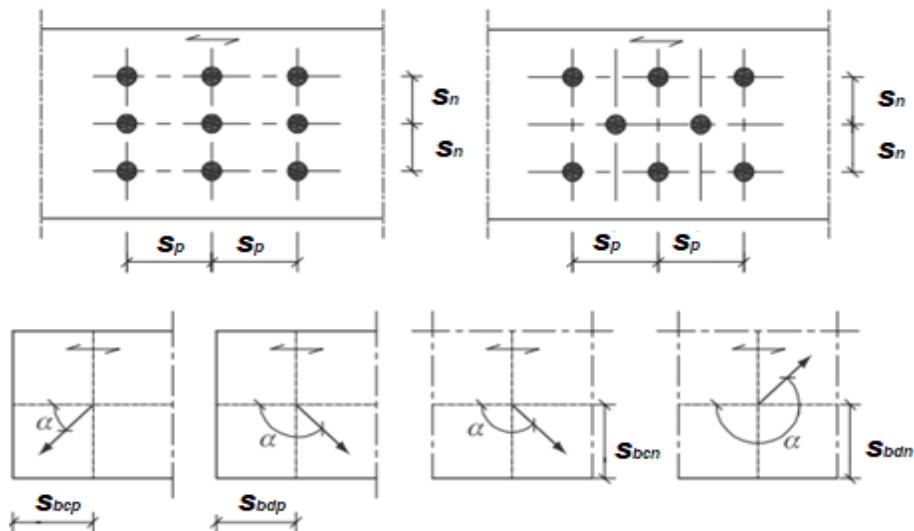


Figura 6-11. Distancias a los bordes en panel de CLT. Modificado de (Larsen & Enjily, 2009).

6.4. Modos de falla frágil

Los mecanismos de falla frágil en conexiones entre paneles de CLT aún es un tema pendiente en las investigaciones realizadas a la fecha. No obstante, son controlados indirectamente a través del estricto respeto a los espaciamientos mínimos (Gagnon & Pirvu, 2011), (Gavric, Fragiaco, & Ceccotti, 2015), (Blaß & Uibel, 2007), (Hossain, Lakshman, & Tannert, 2015). Además, las capas transversales actúan como refuerzo que previene el desarrollo de modos de falla frágil (Dujic & Zarnic, 2006) y (Karacabeyli & Douglas, 2013).

Tal como se presenta en el Anexo B, los modos de falla frágil para conexiones entre elementos de madera son determinados de forma idéntica en la NDS (AWC, 2017) y la NCh 1198 Of. 2014 (INN, 2014). Considerando que el uso de paneles de CLT está regulado en la normativa estadounidense, se estima que para prevenir los modos de falla frágil en las conexiones entre paneles de CLT, se utilicen las actuales disposiciones dadas en el Anexo S de la NCh 1198 Of. 2014 (INN, 2014), además de verificar el cumplimiento irrestricto de los requisitos de espaciamiento y distancias mínimas presentados en la Tabla 6-14.

7. CONCLUSIONES

Se estudió el diseño de conexiones entre paneles de muros paralelos de CLT para zonas de alta sismicidad mediante la revisión bibliográfica y la comparación entre las disposiciones de diseño de conexiones presentes en las normativas de Europa (EC5), Canadá (CSA O86-14), Estados Unidos (NDS) y Chile (NCh 1198), así como los resultados de las principales investigaciones realizadas en la materia. Con base en las investigaciones (Uibel & Blaß, 2006), (Gavric, Fragiaco, & Ceccotti, 2015), (Muñoz, Mohammad, & Gagnon, 2010), (Sheikhtabaghi, 2015), se concluye que el método de fluencia europeo en conjunto con la ecuación de Uibel & Blaß (Uibel & Blaß, 2006) para pasadores resulta en el método más preciso para el diseño de conexiones entre paneles de CLT. Por otra parte, la NDS (AWC, 2017) considera dentro de sus disposiciones el diseño de conexiones entre paneles de CLT, utilizando las ecuaciones de diseño presentes en la NCh 1198 Of. 2014 (INN, 2014) y una corrección a la longitud de aplastamiento del medio de unión, luego de que diversos estudios permitieron establecer su idoneidad para su uso en CLT (Karacabeyli & Douglas, 2013). Entre los métodos mencionados, las ecuaciones de la NDS son directamente aplicables en conjunto con las disposiciones de la normativa nacional, al usar ambas normas la metodología de diseño de tensiones admisibles. Las ecuaciones dadas por CSA O86-14 (CSA, 2014), Eurocódigo 5 (CEN, 2004a) y Uibel & Blaß (Uibel & Blaß, 2006), están calibradas para ser usadas bajo la metodología de diseño de estados límites, por lo que para usarlas en conjunto con el método de fluencia de la NCh 1198 Of. 2014 (INN, 2014) debe ser aplicado un factor de ajuste.

Debido a que los paneles de madera contralaminada presentan alta rigidez en el plano (Dujic & Zarnic, 2006), (Popovski & Karacabeyli, 2012), (Ringhofer, Brandner, & Blaß, 2017), las conexiones verticales entre muros paralelos constituyen una de las principales zonas disipativas, junto con las uniones de anclaje de los muros (Izzi, et al., 2018), (Lauriola & Sandhass, 2006) en estructuras diseñadas con muros y losas de CLT. A su vez, el diseño global de estructuras fabricadas con muros y losas de paneles de CLT debe basarse en el principio de diseño por capacidad, siendo las conexiones disipativas las que concentren las deformaciones plásticas. El uso de uniones de traslape o con listón individual en uniones entre paneles de CLT de muros paralelos constituyen los sistemas de conexión más utilizados, sobre los cuales diversos estudios como son (Sandhass, van de Kuilen, & Boukes, 2009), (Muñoz, Mohammad, & Gagnon, 2010), (Popovski, Schneider, & Schweinsteiger, 2010), (Gavric, Fragiaco, & Ceccotti, 2012), (Gavric, Fragiaco, & Ceccotti, 2014), (Gavric, Fragiaco, & Ceccotti, 2015), (Sheikhtabaghi, 2015), (Shahnewaz, Sharia, & Tannert, 2018), han demostrado su comportamiento dúctil cuando se utilizan medios de unión de tipo cilíndrico. Las conexiones entre muros paralelos de paneles de CLT, bajo la acción sísmica, estarán sometidas principalmente a cargas de extracción lateral en el plano del panel (Hossain, Popovski, & Tannert, 2019), (Lee Richardson, 2015), (Gavric, Fragiaco, & Ceccotti, 2014), por lo que los análisis se realizaron considerando este estado de carga.

La revisión bibliográfica indica que los tornillos autorroscantes corresponden al medio de unión más utilizado en las conexiones entre paneles de CLT. La NCh 1198 Of. 2014

(INN, 2014) no contempla disposiciones que regulen su uso. Otros medios de unión como tornillos, tirafondos y clavos también pueden ser utilizados satisfactoriamente en conexiones entre paneles de muro de CLT en zonas de alta sismicidad (Gagnon & Pirvu, 2011). Las investigaciones (Uibel & Blaß, 2006) y (Hossain, Popovski, & Tannert, 2019) concluyeron que los actuales factores de efecto de grupo en las normas de diseño en madera resultan conservadores para su uso en CLT y establecieron ecuaciones para determinarlo.

Debido a la disposición de las capas cruzadas en los paneles de madera contralaminada, estos son menos sensibles al fenómeno de efecto de grupo en comparación con otros tipos de productos de madera de ingeniería tradicionales (Gagnon & Pirvu, 2011). Aun así, a fin de evitar los modos de falla frágil, se debe respetar y cumplir cabalmente los requisitos de distancia y espaciamientos mínimos.

Finalmente, el estudio realizado en esta Memoria arroja las siguientes conclusiones:

1. Las conexiones verticales entre paneles de muros paralelos de CLT constituye una de las principales fuentes de disipación de energía en edificios construidos con muros y losas fabricados de CLT. El diseño de tales estructuras en zonas de alta sismicidad debe basarse en los principios de diseño por capacidad, mientras que en las conexiones entre paneles de muros paralelos que actuarán como elementos disipativos concentrando las deformaciones plásticas, deberá verificarse el cumplimiento de la ecuación (4-1). En la Tabla 4-1 se presentan diferentes valores para los factores de sobrerresistencia y degradación de resistencia por carga cíclica en estructuras fabricadas con paneles de madera contralaminada. Se sugiere realizar pruebas de laboratorio con paneles de CLT fabricados de pino radiata crecido en Chile para verificar la validez del uso de dichos valores en conjunto con lo propuesto en esta Memoria.
2. Se determinaron tres metodologías de cálculo de la capacidad de carga en extracción lateral que utilizan el método de fluencia de la NCh 1198 Of. 2014 (INN, 2014), las cuales corresponden a los métodos Uibel & Blaß, NDS-CLT Handbook y Hankinson extendido. En el caso del método Uibel & Blaß, este contempla el uso de la ecuación (3-7) junto con la aplicación de un factor de ajuste, en reemplazo de las ecuaciones de resistencia al aplastamiento dadas en la normativa chilena. Los métodos NDS-CLT Handbook y Hankinson extendido, que consideran directamente la disposición cruzada de las capas de los paneles de CLT, utilizan las ecuaciones de resistencia al aplastamiento dadas por la NCh 1198 Of. 2014 (INN, 2014), determinando una longitud de aplastamiento equivalente en el caso del método NDS-CLT Handbook o una resistencia al aplastamiento equivalente, en el caso del método Hankinson extendido.
3. El método Uibel & Blaß constituye una metodología de diseño sencilla, adecuada y conservadora para el cálculo de la capacidad de carga en extracción lateral en conexiones entre paneles de muro fabricados de CLT, mediante el uso de la ecuación (3-8) junto con las disposiciones de la NCh 1198 Of. 2014 (INN, 2014), y la aplicación conjunta de un factor de ajuste $FA_{CLT} = 2,0$ y un factor de

corrección $FC_{CLT} = 1,05$ de acuerdo con las expresiones (6-1) y (6-2), respectivamente. En caso de que se utilice conexión con listón, el factor FC_{CLT} no aplica sobre el modo de falla I₁. Esta metodología está limitada a paneles que cumplan con las relaciones de espesor definidas en 3.2.1.1.3.

4. Las conexiones de traslape y con listón resultan adecuadas para la unión entre paneles de muros paralelos de CLT en zonas de alta sismicidad. Para conexiones donde se cumplen los requisitos de penetración mínima establecidos en la NCh 1198 Of. 2014 (INN, 2014), los métodos analizados predicen un modo de falla dúctil en al menos el 97% de las estimaciones realizadas, para ambos tipos de conexión. Con el método Uibel & Blaß, considerando la aplicación de los factores de ajuste y corrección, se predice la formación de una o dos rótulas plásticas en el 60,6% y 37,9% de los casos respectivamente, para conexión de traslape, y 76,0% y 20,9% en conexiones con listón.
5. Los tornillos autorroscantes corresponden al sistema de fijación más utilizado en conexiones entre paneles de CLT. La NCh 1198 Of. 2014 (INN, 2014) no contempla ecuaciones de diseño específicas para este tipo de tornillos. Otros medios de unión como tirafondos y tornillos para madera también pueden ser utilizados satisfactoriamente en conexiones entre paneles de muro de CLT en zonas de alta sismicidad.
6. El número efectivo de medios de unión actuando juntos en conexiones entre paneles de CLT, para zonas de alta sismicidad, puede ser estimado mediante la ecuación (4-3), en reemplazo del factor de modificación por longitud de hilera utilizado en la NCh 1198 Of. 2014 (INN, 2014) presentado en la sección A.5.4 del Anexo y dado por la ecuación (A-14).
7. Los requisitos y distancias mínimas para conexiones entre paneles de CLT en zonas de alta sismicidad se presentan en la Tabla 6-14. A fin de evitar fallas frágiles, se debe cumplir cabalmente con los requisitos mínimos propuestos.
8. Los resultados obtenidos en este trabajo, así como los valores recomendados en la literatura deben ser validados experimentalmente para ser utilizados en el diseño de conexiones entre muros paralelos en edificios de mediana altura, fabricados con CLT en zonas de alta sismicidad.

REFERENCIAS

- Aburto Solis, V. J. (2014). *Diseño de Losas de Madera Contralaminada*. Tesis (Ingeniería Civil). Universidad del Bío Bío, Concepción.
- AITIM. (Consulta: 03 de Junio de 2020). *Infomadera*. Obtenido de https://infomadera.net/uploads/productos/informacion_general_22_aserrada.pdf
- APA. (2018). *Standard for Performance-Rated Cross-Laminated Timber*. ANSI/APA PRG 320. Nueva York, Estados Unidos: APA - The engineered Wood Association.
- AWC. (2014). *Special Design Provisions for Wind and Seismic*. Virginia, Estados Unidos: American Wood Council.
- AWC. (2015). *Technical Report 12 - General dowel equations for calculating lateral connection values*. Virginia, Estados Unidos: American Wood Council.
- AWC. (2017). *National Design Specifications for Wood Construction (ANSI/AWC NDS-2018)*. Virginia, Estados Unidos: American Wood Council.
- AWC. (2019). *Examples - Structural Wood Design Examples*. Virginia, Estados Unidos: American Wood Council.
- AWC. (2020). *Member Designs and Connection (DES 221)*. Virginia, Estados Unidos: American Wood Council.
- Blaß, H. J., & Uibel, T. (2007). *Tragfähigkeit von stiftförmigen Verbindungsmitteln in Brettsper Holz*. Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau. Alemania: Universitätsverlag Karlsruhe.
- Blaß, H. J., Bejtka, I., & Uibel, T. (2006). *Tragfähigkeit von Verbindungen mit selbstbohrenden Holzschrauben mit Vollgewinde*. Karlsruhe, Alemania: Universität Karlsruhe (TH).
- Blaß, H. J., Bienhaus, A., & Krämer, V. (2001). Effective bending capacity of dowel-type fasteners. *Proceedings of the International RILEM Symposium Joints in Timber Structures*, 22, págs. 71-88.
- CANADIAN Construction Materials Centre. (2019). *Evaluation Report CCMC 13677-R*. Canadá.
- Ceccotti, A., & Follesa, M. (2006). Seismic Behavior of Multi-Storey XLam Buildings. *International Work Earthquake Engineering on Timber Structures*, (págs. 81-95).
- CEN. (2004a). *EN 1995-1-1 - Eurocode 5: Design of timber structures*. Bruselas, Bélgica: European Commite for Standardization.
- CEN. (2004b). *EN 1998-1 - Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance*. Bruselas, Bélgica: European Commite for Standardization.
- Chile.Cubica. (Consulta: 10 de Enero de 2020). *Chile.Cubica*. Obtenido de <https://www.chilecubica.com/materiales/madera/>
- CORMA. (2011). *La Construcción de Viviendas en Madera*. Chile: CORMA.
- CSA. (2014). *Engineering design in wood. CSA O86-14: 2014*. Ontario, Canadá: Canadian Standards Association (CSA).

- CWC. (2011). *Introducction to WOOD DESIGN*. Ontario, Canadá: Canadian Wood Council.
- Daily, A. (Consulta: 07 de Enero de 2020). *Arch Daily*. Obtenido de <https://www.archdaily.com/922980/is-cross-laminated-timber-clt-the-concrete-of-the-future>
- Dorn, M., & Bader, T. (2017). Dowel-type joints.
- Dujic, B., & Zarnic, R. (2006). Study of lateral resistance of massive X-Lam wooden wall. *COST E29 Int. Workshop on Earthquake Engineering on Timber Structures* (págs. 97-104). Bruselas, Bélgica: European Cooperation in Science and Technology.
- Eberwein, T. (15 de Marzo de 2018). Basics of lateral connection design. MyTicon Webinar Sessions.
- European Comission. (Consulta: 14 de Enero de 2020). *European Comission*. Obtenido de https://ec.europa.eu/growth/sectors/construction/product-regulation/european-assessment_en
- European Technical Assessment. (2017). *ETA-06/0009*. Alemania: Deutsches Insitut für bautechnik.
- EUROPEAN Technical Assessment. (2017). *ETA-11/0190*. Alemania.
- FAO.ORG. (Consulta: 03 de Junio de 2020). *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Obtenido de <http://www.fao.org/3/30164s/30164s04.htm#:~:text=La%20madera%20aserrada%20es%20el,en%20el%20mundo%20es%20aserrada>.
- Follesa, M., Fragiacomio, M., Vasallo, D., Piazza, M., Tomasi, R., Rossi, S., & Casagrande, D. (2015). A proposal for a new Background Document of Chapter 8 of Eurocode 8. *International Network on Timber Engineering Research* (pp. 369-387). Šibenik: INTER.
- Gagnon, S., & Pirvu, C. (2011). *CLT Handbook*. Québec: FPInnovations.
- García Llera, R. (Consulta: 10 de Enero de 2020). *En madera*. Obtenido de <https://rubenllera.wordpress.com/2014/09/28/en-madera/>
- Gavric, I., Fragiacomio, M., & Ceccotti, A. (2012). Strength and deformation characteristics of typical XLam connections. *World Conference on Timber Engineering*. Auckland: New Zealand Timber Design Society.
- Gavric, I., Fragiacomio, M., & Ceccotti, A. (2014). Cyclic Behavior of CLT Wall Systems Experimental Tests and Analytical Prediction Models. *Materials and Structures*, 1841-1857.
- Gavric, I., Fragiacomio, M., & Ceccotti, A. (2015). Cyclic behavior of typical screwed connections for cross-laminated (CLT) structures. *Eur. J. Wood Prod.*, 73(2), 179-191.
- González, P., Saavedra, E., Pérez, E., Burgos, C., Piña, F., & Wagner, M. (2014). *Estudios de ingeniería para introducir en Chile un sistema constructivo de rápida ejecución para edificios de mediana altura, utilizando elementos de madera contralaminada*. Santiago: CLT Chile.

- Guindos, P. (2019). *Fundamentos del diseño y la construcción con madera*. Santiago: UC.
- Hossain, A., Danzig, I., & Tannert, T. (2016). Cross-laminated timber shear connections with double-angled self-tapping screw assemblies. *Journal of Structural Engineering*, 142(11).
- Hossain, A., Lakshman, R., & Tannert, T. (2015). Shear Connections with Self-Tapping-Screws for Cross-Laminated Timber Panels. *ASCE Structures Congress*. Oregon, Estados Unidos.
- Hossain, A., Popovski, M., & Tannert, T. (2019). Group Effects for Shear Connections with Self-Tapping Screws in CLT. *Journal of Structural Engineering*, 145.
- ICC Evaluation Service. (2018). *ICC_ES Evaluation Report ESR-3178*. Estados Unidos: ICC Evaluation Service.
- INN. (1971). *Arquitectura y construcción - paneles prefabricados - clasificación y requisitos. NCh 806: Of. 1971*. Santiago: Instituto Nacional de Normalización (Chile).
- INN. (1973). *Madera – terminología general. NCh173: Of. 1973*. Santiago: Instituto Nacional de Normalización (Chile).
- INN. (1988). *Madera - Parte 2: Determinación de la densidad. NCh 176/2 Of. 1986 Modificada 1988*. Santiago: Instituto Nacional de Normalización (Chile).
- INN. (2014). *NCh 1198 Of. 2014 - Madera - Construcciones en madera - Cálculo*. Santiago: Instituto Nacional de Normalización (Chile).
- Izzi, M., Casagrande, D., Bezzi, S., Pasca, D., Follesa, M., & Tomasi, R. (2018). Seismic behaviour of Cross-Laminated Timber structures: A state-of-the-art review. *Engineering Structures*, 170, 42-52.
- Jacob, M., Harrington, J., & Robinson, B. (2018). *The Structural Use of Timber – Handbook for Eurocode 5: Part 1-1*. Dublin, Irlanda: COFORD, Department of Agriculture, Food and the Marine.
- Johansen, K. W. (1949). Theory of timber connections. *International Association of bridge and structural Engineering*, 249-262.
- Johnsson, H. (2004). *Plug Shear Failure in Nailed Timber Connections*. Tesis (Doctor), Luleå Univertisty of Technology, Luleå.
- Johnsson, H., & Parida, G. (2013). Prediction model for the load-carrying capacity of nailed timber joints subjected to plug shear. *Materials and Structures*, 46(12), 1973-1965.
- Joyce, T., Ballerini, M., & Smith, I. (2011). Mechanical behavior of in-plane shear connections between CLT wall panels. *44th CIB Working Commision W18 - Timber Structures*. Holanda: CIB Working Commission.
- Karacabeyli, E., & Douglas, B. (2013). *CLT Handbook*. Estados Unidos: FPInnovations.
- Lamadera.net. (Consulta: 10 de Enero de 2020). *Lamadera.net*. Obtenido de <https://lamadera.net/la-madera-anisotropica/>
- Larsen, H., & Enjily, V. (2009). *Practical design of timber structures to Eurocode 5*. Inglaterra: Thomas Telford Limited.

- Lauriola, M. P., & Sandhass, C. (2006). Quasi-Static and Pseudo-Dynamic Tests on XLAM Walls and Buildings . *COST E29 Int. Workshop on Earthquake Engineering on Timber Structures*, (págs. 119-133). Coimbra.
- Lee Richardson, B. (2015). *Examination of the lateral resistane of cross-laminated timber panel-to-panel connections*. Tesis (Master of Science in Forest Products), Virginia.
- Madera 21 de CORMA. (Consulta: 10 de Enero de 2020). *Madera 21 de CORMA*. Obtenido de <https://www.madera21.cl/2757-2/>
- Mohammad, M. (2017). New canadian design provisions for CLT in CSA O86. (pág. 59). FPInnovations.
- Mohammad, M., Blaß, H. J., Salenikovich, A., Ringhofer, A., Line, P., Rammer, D., . . . Li, M. (2018). Design approaches for CLT connections. *Wood and fiber science*, 50, 24-47.
- Mohammad, M., Gagnon, S., Douglas, B., & Podesto, L. (2012). Introduction to Cross Laminated Timber. *Wood Design Focus*, 22(2), 3-12.
- Muñoz, W., Mohammad, M., & Gagnon, S. (2010). Lateral and withdrawal resistance of typical CLT connections. *World Conference on Timber Engineering*. Trento.
- Muszynski, L., Hansen, E., Shanuka, F., Schwarzmann, G., & Rainer, J. (2017). Insights into the Global Cross-Laminated Timber Industry. *BioPorducts Business*, 77-92.
- MyTicon Timber Connectors. (2017a). *Structural Screw Design Guide*. Canadá: MyTicon Timber Connectors.
- MyTicon Timber Connectors. (2017b). *Structural Screw Design Guide*. Estados Unidos: MyTicon Timber Connectors.
- Ottenhaus, L. M., Li, M., Smith, T., & Quenneville, P. (2017). Overstrength of dowelled CLT Connections under monotonic and cyclic loading. *Bulletin of Earthquake Engineering*.
- Pei, S., van de Lindt, J., Popovski, M., Berman, J., Dolan, J., Ricles, J., . . . Rammer, D. (2016). Cross-Laminated Timber for Seismic Regions Progress and Challenges for Research and Implementation. *Journal of Structural Engineering*(142).
- plataforma arquitectura. (Consulta: 14 de Enero de 2020). Obtenido de <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-22097/stadthaus-24-murray-grove-waugh-thistleton-architects>
- Popovski, M., & Karacabeyli, E. (2012). Seismic behavior of cross-laminated timber structures. *World Conference in Timber Engineering*. Auckland.
- Popovski, M., Schneider, J., & Schweinsteiger, M. (2010). Lateral load resistance of cross-laminated wood panels. *World Conference on Timber Engineering*. Riva del Garda.
- Porteus, J., & Kermani, A. (2007). *Structural Timber Design to Eurocode 5*. Reino Unido: Blackwell Science Ltd.
- Rammer, D., & Line, P. (2006). Development of failure mechanisms for fasteners in te United States. *World Conference of Timber Engineering*. Portland.

- Ringhofer, A., Brandner, R., & Blaß, H. J. (2017). Design Approaches for Dowel-Type Connections in CLT Structures and their Verification. *International Conference on Connections in Timber Engineering – From Research to Standards*, 80-111.
- Rocchi, K. (2017). CLT Design: Using CWC s 2017 Wood Design Manual and WoodWorks Sizer Software. (pág. 36). Canadian Wood Council.
- Sandhass, C., van de Kuilen, J.-W., & Boukes, J. (2009). Analysis of X-lam panel-to-panel connections under monotonic and cyclic loading. *42nd CIB Working Commission W18 - Timber Structures*. CIB Working Commission.
- Sandoli, A., Moroder, D., Pampanin, S., & Calderoni, B. (2016). Simplified Analytical Models for Coupled CLT Walls. *World Conference on Timber Engineering*. Viena.
- Shahnewaz, M., Sharia, A., & Tannert, T. (2018). In-plane strength and stiffness of cross-laminated timber shear walls. *Buildings*.
- Sheikhtabaghi, M. S. (2015). *Continuity connection for cross laminated timber (CLT) floor diaphragms*. Tesis (Master of Science in Forestry Engineering), New Brunswick.
- SIMPSON Strong Tie. (2018). *Declaration of Performance DoP-h10/0017*. Francia.
- SIMPSON Strong Tie. (2020). *Puntas y tornillos*. SIMPSON Strong Tie.
- Soltis, L., & Wilkinson, T. (1991). United States adaptation of European yield model to large-diameter dowel fastener specification. *International Timber Engineering Conference*, (págs. 343-349).
- Swedish Forest Industries Federation. (2016a). *Design of timber structures, Structural aspects of timber construction* (2a ed., Vol. 1). Estocolmo, Suecia: Swedish Wood.
- Swedish Forest Industries Federation. (2016b). *Design of timber structures, Structural aspects of timber construction* (2a ed., Vol. 2). Estocolmo, Suecia: Swedish Wood.
- Tannert, T., Follesa, M., Fragiaco, M., & González, P. (2018). Seismic design of cross-laminated timber buildings. *Wood and Fiber Science*, 50, 3-26.
- TEMTIS. (2008). *Handbook2 - Design of timber structures according to eurocode 5*. TEMTIS.
- UBC News. (Consulta: 14 de Enero de 2020). *UBC News*. Obtenido de <https://news.ubc.ca/2016/09/15/structure-of-ubcs-tall-wood-building-now-complete/>
- Uibel, T., & Blaß, H. J. (2006). Load carrying capacity of joints with dowel type fasteners in solid wood panels. *39th CIB Working Commission W18 – Timber Structures*. Italia: CIB Working Commission.
- UNIFORM Evaluation Service. (2020). *Evaluation Report (192)*. Estados Unidos.
- Valdivieso Cascante, D. N. (2019). *Simulación Numérica del Comportamiento No Lineal de Uniones en Madera Contralamina Mediante Sujetores Metálicos*.
- Wagner, M. (2018). *Uniones NCh 1198*. 264 diapositivas.
- Zahn, J. J. (1991). Design equation for multiple-fastener wood connections. *Journal of Structural Engineering*, 117(11), 3477-3486.

