



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

**PROPUESTA DE MÉTODOS CONSTRUCTIVOS PARA EDIFICIOS DE
VIVIENDAS SOCIALES DE CINCO PISOS EN MLE EN BASE AL ESTUDIO DE
LA NORMATIVA Y EXPERIENCIA EXTRANJERA Y CHILENA**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

BASTIÁN ANTONIO GONZÁLEZ MUÑOZ

PROFESOR GUÍA
JORGE PULGAR ALLENDES

MIEMBROS DE LA COMISION
MARIO WAGNER MUÑOZ
EDGARDO GONZÁLEZ LIZAMA

SANTIAGO DE CHILE

2020

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA
OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniero Civil
POR: Bastián Antonio González Muñoz
FECHA: 06/07/2020.
PROFESOR GUIA: Jorge Pulgar Allendes

PROPUESTA DE MÉTODOS CONSTRUCTIVOS PARA EDIFICIOS DE VIVIENDAS SOCIALES DE CINCO PISOS EN MLE EN BASE AL ESTUDIO DE LA NORMATIVA Y EXPERIENCIA EXTRANJERA Y CHILENA

El presente trabajo de título desarrolla el estudio de las normativas, manuales y experiencias extranjeras y nacionales con respecto al uso de madera laminada encolada (MLE) o Glulam, en cuanto a sus métodos constructivos, industria y cálculo orientado a la construcción de edificios de viviendas sociales en cinco pisos.

Para llevar a cabo este objetivo, se realiza un análisis bibliográfico en torno a países reconocidos por construir en madera, tales como Canadá, Estados Unidos y Australia, entre otros, como también, de los avances e innovación en Chile de la madera laminada. Con esta información se compara la situación actual de Chile y se proponen mejoras a los métodos constructivos utilizados, adaptándolos a la realidad de este país, ya sea por su industria, normativa y déficit de hogares.

Luego, debido a que en Chile no se construyen edificios de mediana altura en madera laminada encolada, se propone un modelo computacional ejecutado en el software ETABS 2016, con tal de encontrar escuadrías mínimas para los elementos resistentes en un sistema poste-viga, rigidizado por un núcleo rígido de acero. Por lo cual, para facilitar el diseño de la arquitectura, se toma la planta de un edificio de viviendas sociales ya construido en hormigón armado – gentileza del SERVIU metropolitano – al cual se le efectúan modificaciones, con el fin de mejorar su estructuración.

Posterior a determinar las escuadrías mínimas, se establecen métodos constructivos para erigir la estructura de acuerdo la bibliografía extranjera y nacional, desde sus fundaciones hasta la solución de techo, pasando por el montaje de la superestructura de MLE y acero, diafragmas de piso y verticales, aislamiento térmico, contra la humedad, vapor y ruido, además de dar recomendaciones de buenas prácticas en la orientación, mantención, almacenaje y transporte de los maderos.

Dedicatoria

A mi abuelita Rosa Olivia.

Agradecimientos

En primer lugar, agradezco a mi profesor guía Jorge Pulgar por su disposición a desarrollar este trabajo de título, entregándome las herramientas necesarias durante el proceso de investigación, destacando su amabilidad y compromiso.

Además, quisiera reconocer la ayuda entregada por los profesores de la comisión, Edgardo González y Mario Wagner, como también al profesor Joel Prieto, quienes atendieron a mis dudas, aportando con sus conocimientos técnicos a lo largo de mi trabajo de titulación.

También, destaco el gran apoyo que tuve durante mis años de estudio en la universidad y estadía en Santiago por parte de mi familia, mi mamá, mi hermano Franco y papá, quienes desde Talca me brindaron todo el cariño y confianza en mi mismo siempre que lo necesité.

Por otro lado, agradecer los gratos momentos pasados con mis incondicionales amigos del LAM, Sergio “negro” Muñoz, Felipito, Patito “cactus” Cáceres, Pabloso, Miche, Vale “chica” Álvarez, Diego “alegría” Valdés y Joaquín “joaco amigo”, todos imprescindibles en esta etapa.

A mis amistades que formé entrando a la universidad, Ricardo “Richi” y Martin “mendeca”, con quienes compartí desde la primera semana de clases y que hasta el día de hoy siguen siendo con los que me llevo los mejores recuerdos de la facultad.

Finalmente, pero no menos importante, a mi compañera Catalina “negrita” Pino, a quien conocí en Beauchef. Agradezco enormemente su compañía, cariño, experiencias, viajes de mucho aprendizaje y bonitos recuerdos, además de poder compartir con su familia que me acogió como uno más de ellos.

Tabla de Contenido

1	Introducción	1
1.1	Motivación	1
1.2	Objetivos	2
1.2.1	Objetivo general	2
1.2.2	Objetivos secundarios	2
1.3	Alcances	2
1.4	Metodología	3
2	Marco Conceptual	4
2.1	Viviendas Sociales	4
2.1.1	Requisitos y características para viviendas sociales	4
2.1.2	Requisitos de dimensionamiento	4
2.2	Madera estructural	5
2.2.1	Características macro y microscópicas de la madera	5
2.2.2	Humedad y contracciones en la madera	6
2.2.3	Características Sustentables de la madera	7
2.3	Chile, país maderero	8
2.3.1	Industria chilena	8
2.3.2	Normativa Chilena	12
2.3.3	Construcciones existentes en Chile	15
2.4	Países madereros	18
2.4.1	Manuales y experiencia extranjera en madera	18
3	Comparativa entre la normativa chilena y extranjera	27
4	Diseño edificio de viviendas sociales de Media Altura	29
4.1	Arquitectura	29
4.2	Emplazamiento edificio	32
4.3	Análisis estructural en madera	34
4.3.1	Estructuración Tipo	34
4.3.2	Pisos y pesos	39
4.3.3	Dimensiones de columnas y riostras	41
4.3.4	Dimensiones de Vigas	42
4.3.5	Deformaciones dinámicas	44
4.3.6	Rigidización	45
4.3.7	Cálculo de conexiones	48

4.3.8	Fundaciones	59
5	Métodos constructivos en altura para MLE	61
5.1	Secuencia constructiva.....	61
5.1.1	Radier primer piso	62
5.1.2	Protección y controles de la madera en obra	64
5.1.3	Montaje estructura soportante	67
5.1.4	Diafragma horizontal.....	70
5.1.5	Diafragma vertical	73
5.1.6	Solución de techo	79
5.2	Buenas prácticas constructivas y de mantención	81
5.3	Comparación del costo en obra gruesa entre hormigón y MLE	84
6	Análisis de resultados.....	87
7	Comentarios y conclusiones.....	90
8	Bibliografía.....	93
9	ANEXOS.....	9-A
9.1	Humedad	9-A
9.2	Deformaciones	9-B
9.2.1	Deformaciones gravitacionales.....	9-B
9.2.2	Desplazamientos horizontales	9-C
9.3	Fórmula de Meyerhof	9-E
9.4	OGUC y construcción en madera	9-F
10	Apéndice.....	10-I
10.1	Memoria de Cálculos	10-I

Índice de Tablas

TABLA 2-1, FACTORES DE MODIFICACIÓN UTILIZADOS PARA CADA TENSIÓN DE DISEÑO	12
TABLA 2-2, DEFORMACIONES MÁXIMAS PERMITIDAS. FUENTE NCH 1198	13
TABLA 2-3, HUMEDAD PERMITIDA SEGÚN ZONA CLIMÁTICO – HABITACIONAL. FUENTE OGUC, ARTICULO 5.6.8	15
TABLA 2-4, DRIFT MÁXIMO PERMITIDO SEGÚN TIPO DE ESTRUCTURA Y CATEGORÍA DE RIESGO	23
TABLA 2-5, FACTORES DE AJUSTE PARA MADERA ASERRADA. FUENTE: NDS	24
TABLA 2-6, FACTORES DE AJUSTE PARA LAS TENSIONES ADMISIBLES. FUENTE: NDS.....	24
TABLA 4-1, HEH SEGÚN CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS DE CONCEPCIÓN Y EL ÁBACO DE KOLLMAN.....	34
TABLA 4-2, LEYENDA DE LOS COLORES (1) UTILIZADOS EN LAS ILUSTRACIONES DE LA ESTRUCTURACIÓN.....	35
TABLA 4-3, LEYENDA DE LOS COLORES (2) UTILIZADOS EN LAS ILUSTRACIONES DE LA ESTRUCTURACIÓN.....	38
TABLA 4-4, CONSTANTES Y PROPIEDADES DE LOS MATERIALES UTILIZADOS EN LA ESTRUCTURACIÓN DEL EDIFICIO	39
TABLA 4-5, PARÁMETROS PARA UTILIZAR LA NCH 433 PROPIOS DEL EDIFICIO Y SU UBICACIÓN (CONCEPCIÓN).....	39
TABLA 4-6, PESOS POR PISO Y PERIODOS FUNDAMENTALES OBTENIDOS EN ETABS 2016.	39
TABLA 4-7, VIVAS Y MUERTAS POR SUPERFICIE Y LINEALES	40
TABLA 4-8, FUERZAS SÍSMICAS HORIZONTALES EN AMBAS DIRECCIONES SOBRE EL EDIFICIO EN CUESTIÓN. CALCULADO SEGÚN NCH 433	40
TABLA 4-9, ESCUADRÍAS DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES VERTICALES E INCLINADOS DE MADERA LAMINADA ENCOLADA.....	41
TABLA 4-10, MÁXIMA SOLICITACIÓN EN LAMINACIÓN HORIZONTAL (EJE FUERTE) DE LOS ELEMENTOS Y SU TENSIÓN DE DISEÑO.....	42
TABLA 4-11, MÁXIMA SOLICITACIÓN EN LAMINACIÓN VERTICAL (EJE DÉBIL) DE LOS ELEMENTOS Y SU TENSIÓN DE DISEÑO	42
TABLA 4-12, ESCUADRÍAS PARA LAS VIGAS	43
TABLA 4-13, SOLICITACIONES Y TENSIONES DE DISEÑO PARA VIGAS ENTORNO AL EJE FUERTE	43
TABLA 4-14, SOLICITACIONES Y TENSIONES DE DISEÑO PARA VIGAS ENTORNO AL EJE DÉBIL	43
TABLA 4-15, DEFLEXIONES INSTANTÁNEAS, DIFERIDAS EN EL TIEMPO (CREEP) Y PERMITIDAS	43
TABLA 4-16, DEFORMACIONES POR PISO Y DRIFT DE ENTREPISO PARA EL EJE X, SEGÚN NORMAS DE CANADÁ, EEUU Y CHILE.....	44
TABLA 4-17, DEFORMACIONES POR PISO Y DRIFT DE ENTREPISO PARA EL EJE Y, SEGÚN NORMAS DE CANADÁ, EEUU Y CHILE.....	44
TABLA 4-18, DIMENSIONES DE LOS PERFILES DE LA ESTRUCTURA DE ACERO PARA CAJA ESCALERAS	45
TABLA 4-19, SOLICITACIONES MÁXIMAS EN PIEZAS. VALORES ENTREGADOS POR SOFTWARE ETABS 2016.....	49
TABLA 4-20, DISEÑO DE CONEXIÓN DE VIGA PRIMARIA A COLUMNA MLE.....	50
TABLA 4-21, DIMENSIONES MÍNIMAS DE LAS ESCUADRÍAS PARA CONECTAR VIGAS PRIMARIAS A COLUMNA DE MLE.	50
TABLA 4-22, DISEÑO DE CONEXIÓN DE VIGA SECUNDARIA A COLUMNA MLE.....	51
TABLA 4-23, DIMENSIONES MÍNIMAS DE LAS ESCUADRÍAS PARA CONECTAR VIGAS SECUNDARIAS A COLUMNA DE MLE.	51

TABLA 4-24, DISEÑO DE CONEXIÓN DE DIAGONAL (EJE X) A VIGA PRIMARIA Y COLUMNA DE MLE.	54
TABLA 4-25, DIMENSIONES MÍNIMAS DE LAS ESCUADRÍAS PARA CONECTAR LA DIAGONAL (EJE X) A VIGA PRIMARIA Y COLUMNA DE MLE.....	54
TABLA 4-26, DISEÑO DE CONEXIÓN DE DIAGONAL (EJE Y) A VIGA Y COLUMNA DE MLE.....	55
TABLA 4-27, DIMENSIONES MÍNIMAS DE LAS ESCUADRÍAS PARA CONECTAR LA DIAGONAL (EJE Y) A VIGA Y COLUMNA DE MLE.	55
TABLA 4-28, SOLICITACIONES PARA LAS FUNDACIONES DEL EDIFICIO.....	59
TABLA 4-29, DIMENSIONES DE LAS ZAPATAS DE FUNDACIÓN	60
TABLA 5-1, ALTURAS LIBRES Y DE PIE DERECHO EN LOS DISTINTOS TABIQUES.....	77
TABLA 5-2, COEFICIENTES DE CONTRACCIÓN EN LOS DISTINTOS CORTES EN UNA PIEZA DE PINO RADIATA	83
TABLA 5-3, CUBICACIÓN MATERIALES OBRA GRUESA DE HORMIGÓN ARMADO PARA EL EDIFICIO DE VIVIENDAS SOCIALES EN CUESTIÓN. ELABORACIÓN PROPIA.....	85
TABLA 5-4, COSTO DE LOS MATERIALES DE OBRA GRUESA PARA EL EDIFICIO EN CUESTIÓN MATERIALIZADO EN HORMIGÓN ARMADO.....	85
TABLA 5-5, COSTO EN MATERIALES DE OBRA GRUESA PARA EL EDIFICIO EN CUESTIÓN, ESTRUCTURADO EN MLE.....	86
TABLA 5-6, COSTO DE HERRAJES PARA LA UNIÓN DE PIEZAS PRINCIPALES EN EL EDIFICIO ESTRUCTURADO EN MLE.....	86
TABLA 5-7, COMPARACIÓN DE COSTOS EN MATERIALES DE OBRA GRUESA PARA EL MISMO EDIFICIO DE VIVIENDAS SOCIALES	87
TABLA 9-1, FACTORES DE AJUSTE PARA EL CÁLCULO DE DRIFTS. FUENTE: ASCE.....	9-D
TABLA 9-2, FACTOR R. FUENTE: CIVIL AND STRUCTURAL ENGINEERING SEISMIC DESIGN OF BUILDINGS AND BRIDGES	9-D
TABLA 9-3, SOBRECARGA PARA LOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS DE UN EDIFICIO. FUENTE: OGUC.	9-F
TABLA 9-4, RESUMEN DE LAS ESCUADRÍAS MÍNIMAS SEGÚN LA LUZ DEL ELEMENTO. FUENTE: OGUC.....	9-F
TABLA 9-5, RESUMEN DE ESCUADRÍAS MÍNIMAS PARA VIGAS MAESTRAS SEGÚN LA LUZ DE LAS VIGAS DE ENTRAMADO. FUENTE: OGUC.....	9-G
TABLA 9-6, RESUMEN DE ESCUADRÍAS MÍNIMAS PARA EL PINO RADIATA SEGÚN ALTURA DEL MURO DIAFRAGMA. FUENTE: OGUC	9-G
TABLA 9-7, RESISTENCIA TÉRMICA, R100, DEPENDIENTE DE LA ZONA TÉRMICA. FUENTE: OGUC. 9- H	
TABLA 10-1, GRADO DE LA MADERA, DATOS GEOMÉTRICOS Y NECESARIOS PARA OBTENER LOS FACTORES DE MODIFICACIÓN. VIGA PRINCIPAL	10-I
TABLA 10-2, CALCULO DE LAS TENSIONES ADMISIBLES A PARTIR DE LAS TENSIONES BÁSICAS Y RAZONES DE RESISTENCIA. VIGA PRINCIPAL	10-I
TABLA 10-3, CÁLCULO PARA CORROBORAR SI EXISTE VOLCAMIENTO, $\lambda v > 50$, DE ACUERDO CON LA NCH1198. VIGA PRINCIPAL.....	10-I
TABLA 10-4, MOMENTO MÁXIMO Y EL MÓDULO DE SECCIÓN ELÁSTICO PARA OBTENER ES ESFUERZO SOLICITANTE A FLEXIÓN. VIGA PRINCIPAL.....	10-J
TABLA 10-5, CÁLCULO DE LA TENSIÓN ADMISIBLE DE COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA, CONSIDERANDO PANDEO. VIGA PRINCIPAL.	10-J
TABLA 10-6, TENSIÓN BÁSICA, SOLICITANTE Y TENSIÓN DE DISEÑO A LA TRACCIÓN PARALELA. VIGA PRINCIPAL	10-J

TABLA 10-7, TENSIÓN BÁSICA, SOLICITACIÓN Y TENSIÓN DE DISEÑO AL CIZALLE. VIGA PRINCIPAL.	10-K
TABLA 10-8, DEFORMACIONES VERTICALES, Y, CONSIDERANDO LA FLUENCIA EN EL TIEMPO, CREEP. VIGA PRINCIPAL	10-K
TABLA 10-9, GRADO DE LA MADERA, DATOS GEOMÉTRICOS Y NECESARIOS PARA OBTENER LOS FACTORES DE MODIFICACIÓN. VIGA SECUNDARIA	10-K
TABLA 10-10, MOMENTO MÁXIMO Y EL MÓDULO DE SECCIÓN ELÁSTICO PARA OBTENER ES ESFUERZO SOLICITANTE A FLEXIÓN. VIGA SECUNDARIA.	10-K
TABLA 10-11, CALCULO DE LAS TENSIONES ADMISIBLES A PARTIR DE LAS TENSIONES BÁSICAS Y RAZONES DE RESISTENCIA. VIGA SECUNDARIA	10-L
TABLA 10-12, CÁLCULO DE LA TENSIÓN ADMISIBLE DE COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA, CONSIDERANDO PANDEO. VIGA SECUNDARIA	10-L
TABLA 10-13, CÁLCULO PARA CORROBORAR SI EXISTE VOLCAMIENTO, $\Delta_v > 50$, DE ACUERDO CON LA NCH198. VIGA SECUNDARIA.	10-M
TABLA 10-14, TENSIÓN BÁSICA, SOLICITACIÓN Y TENSIÓN DE DISEÑO AL CIZALLE. VIGA SECUNDARIA	10-M
TABLA 10-15, TENSIÓN BÁSICA, SOLICITANTE Y TENSIÓN DE DISEÑO A LA TRACCIÓN PARALELA. VIGA SECUNDARIA	10-M
TABLA 10-16, DEFORMACIONES VERTICALES, Y, CONSIDERANDO LA FLUENCIA EN EL TIEMPO, CREEP. VIGA SECUNDARIA.	10-M
TABLA 10-17, GRADO DE LA MADERA, DATOS GEOMÉTRICOS Y NECESARIOS PARA OBTENER LOS FACTORES DE MODIFICACIÓN. DIAGONALES EJE 1 Y EN DIRECCIÓN Y (MLE.)	10-M
TABLA 10-18, CALCULO DE LAS TENSIONES ADMISIBLES A PARTIR DE LAS TENSIONES BÁSICAS Y RAZONES DE RESISTENCIA. DIAGONALES EJE 1 Y EN DIRECCIÓN Y (MLE)	10-N
TABLA 10-19, CÁLCULO PARA CORROBORAR SI EXISTE VOLCAMIENTO, $\Delta_v > 50$, DE ACUERDO CON LA NCH198. DIAGONALES EJE 1 Y EN DIRECCIÓN Y (MLE)	10-N
TABLA 10-20, MOMENTO MÁXIMO Y EL MÓDULO DE SECCIÓN ELÁSTICO PARA OBTENER ES ESFUERZO SOLICITANTE A FLEXIÓN. DIAGONALES EJE 1 Y EN DIRECCIÓN Y (MLE.)	10-N
TABLA 10-21, TENSIÓN BÁSICA, SOLICITACIÓN Y TENSIÓN DE DISEÑO AL CIZALLE. DIAGONALES EJE 1 Y EN DIRECCIÓN Y (MLE.)	10-N
TABLA 10-22, CÁLCULO DE LA TENSIÓN ADMISIBLE DE COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA, CONSIDERANDO PANDEO. DIAGONALES EJE 1 Y EN DIRECCIÓN Y (MLE.)	10-O
TABLA 10-23, TENSIÓN BÁSICA, SOLICITANTE Y TENSIÓN DE DISEÑO A LA TRACCIÓN PARALELA. DIAGONALES EJE 1 Y EN DIRECCIÓN Y (MLE.)	10-O
TABLA 10-24, GRADO DE LA MADERA, DATOS GEOMÉTRICOS Y NECESARIOS PARA OBTENER LOS FACTORES DE MODIFICACIÓN. DIAGONAL EJE 4, DIRECCIÓN X GLOBAL (MLE)	10-P
TABLA 10-25, CALCULO DE LAS TENSIONES ADMISIBLES A PARTIR DE LAS TENSIONES BÁSICAS Y RAZONES DE RESISTENCIA. DIAGONAL EJE 4, DIRECCIÓN X GLOBAL (MLE)	10-P
TABLA 10-26, CÁLCULO PARA CORROBORAR SI EXISTE VOLCAMIENTO, $\Delta_v > 50$, DE ACUERDO CON LA NCH198 DIAGONAL EJE 4, DIRECCIÓN X GLOBAL (MLE)	10-P
TABLA 10-27, MOMENTO MÁXIMO Y EL MÓDULO DE SECCIÓN ELÁSTICO PARA OBTENER ES ESFUERZO SOLICITANTE A FLEXIÓN. DIAGONAL EJE 4, DIRECCIÓN X GLOBAL (MLE)	10-P
TABLA 10-28, CÁLCULO DE LA TENSIÓN ADMISIBLE DE COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA, CONSIDERANDO PANDEO. DIAGONAL EJE 4, DIRECCIÓN X GLOBAL (MLE)	10-Q
TABLA 10-29, TENSIÓN BÁSICA, SOLICITACIÓN Y TENSIÓN DE DISEÑO AL CIZALLE. DIAGONAL EJE 4, DIRECCIÓN X GLOBAL (MLE)	10-Q
TABLA 10-30, GRADO DE LA MADERA, DATOS GEOMÉTRICOS Y NECESARIOS PARA OBTENER LOS FACTORES DE MODIFICACIÓN. COLUMNAS EXTERNAS.	10-R

TABLA 10-31, CALCULO DE LAS TENSIONES ADMISIBLES A PARTIR DE LAS TENSIONES BÁSICAS Y RAZONES DE RESISTENCIA. COLUMNAS EXTERNAS.	10-R
TABLA 10-32, CÁLCULO PARA CORROBORAR SI EXISTE VOLCAMIENTO, $\Delta_v > 50$, DE ACUERDO CON LA NCH1198. COLUMNAS EXTERNAS.	10-R
TABLA 10-33, MOMENTO MÁXIMO Y EL MÓDULO DE SECCIÓN ELÁSTICO PARA OBTENER ES ESFUERZO SOLICITANTE A FLEXIÓN. COLUMNAS EXTERNAS.	10-R
TABLA 10-34, CÁLCULO DE LA TENSIÓN ADMISIBLE DE COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA, CONSIDERANDO PANDEO. COLUMNAS EXTERNAS.	10-S
TABLA 10-35, TENSIÓN BÁSICA, SOLICITACIÓN Y TENSIÓN DE DISEÑO AL CIZALLE. COLUMNAS EXTERNAS.	10-S
TABLA 10-36, TENSIÓN BÁSICA, SOLICITANTE Y TENSIÓN DE DISEÑO A LA TRACCIÓN PARALELA. COLUMNAS EXTERNAS.	10-T
TABLA 10-37, GRADO DE LA MADERA, DATOS GEOMÉTRICOS Y NECESARIOS PARA OBTENER LOS FACTORES DE MODIFICACIÓN. COLUMNAS INTERNAS.	10-T
TABLA 10-38, CALCULO DE LAS TENSIONES ADMISIBLES A PARTIR DE LAS TENSIONES BÁSICAS Y RAZONES DE RESISTENCIA. COLUMNAS INTERNAS.	10-T
TABLA 10-39, MOMENTO MÁXIMO Y EL MÓDULO DE SECCIÓN ELÁSTICO PARA OBTENER ES ESFUERZO SOLICITANTE A FLEXIÓN. COLUMNAS INTERNAS.	10-T
TABLA 10-40, CÁLCULO PARA CORROBORAR SI EXISTE VOLCAMIENTO, $\Delta_v > 50$, DE ACUERDO CON LA NCH1198. COLUMNAS INTERNAS.	10-U
TABLA 10-41, CÁLCULO DE LA TENSIÓN ADMISIBLE DE COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA, CONSIDERANDO PANDEO. COLUMNAS INTERNAS.	10-U
TABLA 10-42, TENSIÓN BÁSICA, SOLICITANTE Y TENSIÓN DE DISEÑO A LA TRACCIÓN PARALELA. COLUMNAS INTERNAS.	10-U
TABLA 10-43, TENSIÓN BÁSICA, SOLICITACIÓN Y TENSIÓN DE DISEÑO AL CIZALLE. COLUMNAS INTERNAS.	10-V
TABLA 10-44, GRADO DE LA MADERA, DATOS GEOMÉTRICOS Y NECESARIOS PARA OBTENER LOS FACTORES DE MODIFICACIÓN. COLUMNA BALCÓN.	10-V
TABLA 10-45, CALCULO DE LAS TENSIONES ADMISIBLES A PARTIR DE LAS TENSIONES BÁSICAS Y RAZONES DE RESISTENCIA. COLUMNA BALCÓN.	10-V
TABLA 10-46, CÁLCULO PARA CORROBORAR SI EXISTE VOLCAMIENTO, $\Delta_v > 50$, DE ACUERDO CON LA NCH1198. COLUMNA BALCÓN.	10-W
TABLA 10-47, MOMENTO MÁXIMO Y EL MÓDULO DE SECCIÓN ELÁSTICO PARA OBTENER ES ESFUERZO SOLICITANTE A FLEXIÓN. COLUMNA BALCÓN.	10-W
TABLA 10-48, CÁLCULO DE LA TENSIÓN ADMISIBLE DE COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA, CONSIDERANDO PANDEO. COLUMNA BALCÓN.	10-W
TABLA 10-49, TENSIÓN BÁSICA, SOLICITACIÓN Y TENSIÓN DE DISEÑO AL CIZALLE. COLUMNA BALCÓN.	10-X
TABLA 10-50, TENSIÓN BÁSICA, SOLICITANTE Y TENSIÓN DE DISEÑO A LA TRACCIÓN PARALELA. COLUMNA BALCÓN.	10-X
TABLA 10-51, GRADO DE LA MADERA, DATOS GEOMÉTRICOS Y NECESARIOS PARA OBTENER LOS FACTORES DE MODIFICACIÓN. TABLAS DE PISO (90x162).	10-X
TABLA 10-52, CALCULO DE LAS TENSIONES ADMISIBLES A PARTIR DE LAS TENSIONES BÁSICAS Y RAZONES DE RESISTENCIA. TABLAS DE PISO (90x162).	10-X
TABLA 10-53, CÁLCULO PARA CORROBORAR SI EXISTE VOLCAMIENTO, $\Delta_v > 50$, DE ACUERDO CON LA NCH1198. TABLAS DE PISO (90x162).	10-Y
TABLA 10-54, MOMENTO MÁXIMO Y EL MÓDULO DE SECCIÓN ELÁSTICO PARA OBTENER ES ESFUERZO SOLICITANTE A FLEXIÓN. TABLAS DE PISO (90x162).	10-Y

TABLA 10-55, CÁLCULO DE LA TENSIÓN ADMISIBLE DE COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA, CONSIDERANDO PANDEO. TABLAS DE PISO (90x162).....	10-Y
TABLA 10-56, TENSIÓN BÁSICA, SOLICITANTE Y TENSIÓN DE DISEÑO A LA TRACCIÓN PARALELA. TABLAS DE PISO (90x162).	10-Y
TABLA 10-57, TENSIÓN BÁSICA, SOLICITACIÓN Y TENSIÓN DE DISEÑO AL CIZALLE. TABLAS DE PISO (90x162).	10-Z
TABLA 10-58, DEFORMACIONES VERTICALES, Y, CONSIDERANDO LA FLUENCIA EN EL TIEMPO, CREEP. TABLAS DE PISO (90x162).	10-Z
TABLA 10-59, CÁLCULO CONEXIÓN. PLACA EN LA DIAGONAL DEL EJE X (SEGÚN CARGAS MÁXIMAS).....	10-Z
TABLA 10-60, CÁLCULO CONEXIÓN. PLETINA LATERAL EN LA VIGA PRIMARIA SOLICITADA POR DIAGONAL EN EL EJE X.....	10-AA
TABLA 10-61, CÁLCULO CONEXIÓN. PLETINA LATERAL EN LA COLUMNA SOLICITADA POR DIAGONAL EN EL EJE X.....	10-AA
TABLA 10-62, CÁLCULO CONEXIÓN. PLACA EN LA DIAGONAL DEL EJE Y (SEGÚN CARGAS MÁXIMAS).....	10-BB
TABLA 10-63, CÁLCULO CONEXIÓN. PLETINA LATERAL EN LA VIGA PRIMARIA SOLICITADA POR DIAGONAL EN EL EJE Y.....	10-BB
TABLA 10-64, CÁLCULO CONEXIÓN. PLETINA LATERAL EN LA COLUMNA SOLICITADA POR DIAGONAL EN EL EJE Y.....	10-CC
TABLA 10-65, DATOS GEOMÉTRICOS DEL PERFIL H, UBICADO ENTRE EJE F Y G, SIGUIENDO LA DIRECCIÓN X.	10-CC
TABLA 10-66, DATOS ELÁSTICOS DEL PERFIL H, DIRECCIÓN X.	10-CC
TABLA 10-67, RESISTENCIA, P_c , VS SOLICITACIÓN, P_r , DE COMPRESIÓN AXIAL. PERFIL H, DIRECCIÓN X.....	10-DD
TABLA 10-68, RESISTENCIA, M_{ci} , VS SOLICITACIÓN, M_{ri} DEL PERFIL H., DIRECCIÓN X.....	10-DD
TABLA 10-69, ESFUERZOS COMBINADOS. PERFIL H, DIRECCIÓN X.....	10-DD
TABLA 10-70, RESISTENCIA, V_{ci} , VS SOLICITACIÓN V_{ri} AL CIZALLE. PERFIL H, DIRECCIÓN X	10-EE
TABLA 10-71, DATOS GEOMÉTRICOS DEL PERFIL H, UBICADO ENTRE EJES 3 Y 5, SIGUIENDO LA DIRECCIÓN Y.	10-EE
TABLA 10-72, DATOS ELÁSTICOS DEL PERFIL H, DIRECCIÓN X.	10-EE
TABLA 10-73, RESISTENCIA, P_c , VS SOLICITACIÓN, P_r , DE COMPRESIÓN AXIAL. PERFIL H, DIRECCIÓN Y.....	10-FF
TABLA 10-74, RESISTENCIA, M_{ci} , VS SOLICITACIÓN, M_{ri} DEL PERFIL H., DIRECCIÓN Y.....	10-FF
TABLA 10-75, ESFUERZOS COMBINADO. PERFIL H, DIRECCIÓN Y.....	10-FF
TABLA 10-76, RESISTENCIA, V_{ci} , VS SOLICITACIÓN V_{ri} AL CIZALLE. PERFIL H, DIRECCIÓN Y	10-GG
TABLA 10-77, RESISTENCIAS Y SOLICITACIONES DE COMPRESIÓN Y FLEXIÓN.....	10-GG
TABLA 10-78, ESFUERZOS COMBINADOS PARA COLUMNAS DE ACERO A36	10-HH

Índice de Ilustraciones y Figuras

ILUSTRACIÓN 1, PLANOS DE UNA TABLA	6
ILUSTRACIÓN 2, CORTE TRANSVERSAL Y LONGITUDINAL PARA VER MEDIDAS DE CONTRACCIÓN.	7
ILUSTRACIÓN 3, MAPA DE LA CANTIDAD DE ASERRADEROS EN CHILE PARA EL 2015, VALOR ENTRE PARÉNTESIS CORRESPONDE A LA DIFERENCIA CON EL AÑO 2006. FUENTE: INDUSTRIA FORESTAL PRIMARIA EN CHILE, INFOR, 2016.....	9
ILUSTRACIÓN 4, MADERA CONTRA LAMINADA (CLT). EXTRAÍDO DESDE: HTTPS://MADERAS-UV.WEEBLY.COM/	11
ILUSTRACIÓN 5, CAMPAMENTO MINERO SEWELL. EXTRAÍDO DESDE HTTPS://WWW.MONUMENTOS.GOB.CL/	16
ILUSTRACIÓN 6, VIVIENDAS DEL OASIS DE CHAÑARAL. EXTRAÍDO DESDE WWW.MADERA21.CL ...	17
ILUSTRACIÓN 7, EDIFICIO EXPERIMENTAL PEÑUELAS. EXTRAÍDO DESDE WWW.MADERA21.CL	17
ILUSTRACIÓN 8, GIMNASIO LAN AIRLINES. EXTRAÍDO DESDE WWW.INGELAM.CL	18
ILUSTRACIÓN 9, SISTEMA WOOD-FRAME.....	19
ILUSTRACIÓN 10, EDIFICIO SAIL EN VANCOUVER. EXTRAÍDO DESDE MID-RISE BEST PRACTICE GUIDE, CANADIAN WOOD COUNCIL.....	20
ILUSTRACIÓN 11, WOOD INNOVATION AND DESIGN CENTRE. EXTRAÍDO DESDE: HTTPS://WWW.THINKWOOD.COM	21
ILUSTRACIÓN 12, BROCK COMMONS TALL WOOD BUILDING. EXTRAÍDO DESDE: WWW.NATURALLYWOOD.COM	22
ILUSTRACIÓN 13, CONSTRUCCIÓN DE UN EDIFICIO EN ANAHEIM, USA, EN SISTEMA WOOD-FRAME	23
ILUSTRACIÓN 14, GARDEN BUILDING, MELBOURNE, AUSTRALIA. EXTRAÍDA DESDE: HTTPS://INHABITGROUP.COM/PROJECT/NEW-ACADEMIC-STREET-GARDEN-BUILDING/	26
ILUSTRACIÓN 15, PLANO PLANTA ARQUITECTURA DE CONDOMINIO PACÍFICO RIVAS III Y IV. GENTILEZA SERVIU METROPOLITANO	29
ILUSTRACIÓN 16, PLANTA COMPLETA DE VIVIENDA SOCIAL DE ESTUDIO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A PLANOS DEL SERVIU.....	30
ILUSTRACIÓN 17, DETALLE DE DIMENSIONES EN PLANTA DE UN DEPARTAMENTO DEL EDIFICIO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A PLANOS DEL SERVIU.....	30
ILUSTRACIÓN 18, ELEVACIÓN CORTES A Y C DE VIVIENDA SOCIAL DE ESTUDIO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A PLANOS DEL SERVIU	31
ILUSTRACIÓN 19, ELEVACIÓN CORTE B DE VIVIENDA SOCIAL DE ESTUDIO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A PLANOS DEL SERVIU.....	31
ILUSTRACIÓN 20, ELEVACIÓN CORTE D DE VIVIENDA SOCIAL DE ESTUDIO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A PLANOS DEL SERVIU.....	32
ILUSTRACIÓN 21, TEMPERATURA MEDIA ALTA (ROJO) Y MEDIA BAJA (AZUL) EN CONCEPCIÓN, CHILE POR MES. EXTRAÍDO DESDE HTTPS://WWW.WEATHER-ATLAS.COM/ES/CHILE/CONCEPCION-CLIMA	33
ILUSTRACIÓN 22, HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE PROMEDIO EN CONCEPCIÓN, CHILE POR MES. EXTRAÍDO DESDE HTTPS://WWW.WEATHER-ATLAS.COM/ES/CHILE/CONCEPCION-CLIMA	33
ILUSTRACIÓN 23, PLANTA TIPO DEL EDIFICIO (4 DEPARTAMENTOS POR PISO). ELABORACIÓN PROPIA USANDO ETABS.....	35
ILUSTRACIÓN 24, ELEVACIÓN EJE A Y B, RESPECTIVAMENTE. A LA DERECHA SE APRECIAN DIAGONALES EN EL “EJE Y”. ELABORACIÓN PROPIA USANDO ETABS	36
ILUSTRACIÓN 25, ELEVACIÓN DEL EJE 1. ELABORACIÓN PROPIA USANDO ETABS	36
ILUSTRACIÓN 26, A) ELEVACIÓN EJE 4, SE APRECIAN LAS DIAGONALES DEL EJE X. B) ELEVACIÓN EN 3D. ELABORACIÓN PROPIA USANDO ETABS.....	37

ILUSTRACIÓN 27, ELEVACIÓN K E I EN DONDE SE ENCUENTRAN DIAGONALES EN EL “EJE Y” (SIMÉTRICO A ELEVACIÓN B Y D, RESPECTIVAMENTE). ELABORACIÓN PROPIA USANDO ETABS	38
ILUSTRACIÓN 28, PERFILES DEL NÚCLEO RÍGIDO. A) COLUMNAS Y DIAGONALES; B) VIGAS DE ESTRUCTURA	46
ILUSTRACIÓN 29, PERFILES DE LA ESTRUCTURA DE ESCALERA.	46
ILUSTRACIÓN 30,A) ELEVACIÓN F O G DEL NÚCLEO DE ACERO B) VISTA EN 3D EN DONDE SE APRECIA EL NÚCLEO RÍGIDO.	47
ILUSTRACIÓN 31, ELEVACIÓN EJE 3. NÚCLEO DE ACERO: EN VERDE - RIOSTRAS DE ACERO; LÍNEAS VERTICALES AMARILLAS - LAS COLUMNAS DE ACERO; LÍNEAS HORIZONTALES ROJAS – PERFILES DE ACERO.	47
ILUSTRACIÓN 32, ELEVACIÓN EJE 7. NÚCLEO DE ACERO: EN VERDE - RIOSTRAS DE ACERO; LÍNEAS HORIZONTALES GRISES - VIGAS DE ACERO; LÍNEAS VERTICALES AMARILLAS - COLUMNAS DE ACERO.	48
ILUSTRACIÓN 33, HERRAJE DE CONEXIÓN DE VIGAS MLE A COLUMNA DE MLE. ELABORACIÓN PROPIA USANDO AUTOCAD 2018	52
ILUSTRACIÓN 34, VISTA DE DOS CARAS DE LA COLUMNA EN SIMULTANEO Y SEPARACIÓN DE PERNOS RESISTENTE A LA CARGA AXIAL DE LAS VIGAS PARALELA A TAL CARA. ELABORACIÓN PROPIA USANDO AUTOCAD 2018.	52
ILUSTRACIÓN 35, COLUMNA Y VIGA PRIMARIA DE MLE CONECTADAS MEDIANTE EL HERRAJE ESPECIFICADO. ELABORACIÓN PROPIA USANDO AUTOCAD 2018.	53
ILUSTRACIÓN 36, COLUMNA Y VIGA SECUNDARIA DE MLE CONECTADAS MEDIANTE EL HERRAJE ESPECIFICADO. ELABORACIÓN PROPIA USANDO AUTOCAD 2018.	53
ILUSTRACIÓN 37, ESQUEMA DE COLUMNA INTERNA (228x228) CONECTADA A UNA VIGA (185x266) Y A LA PLACA GUSSET. ELABORACIÓN PROPIA USANDO AUTOCAD 2018.....	56
ILUSTRACIÓN 38, DETALLE DE SEPARACIÓN ENTRE PERNOS DE 5/8” PARA LA PLACA DE UNIÓN HERRAJE - A DIAGONAL DE MLE. ELABORACIÓN PROPIA USANDO AUTOCAD 2018.....	56
ILUSTRACIÓN 39, A LA IZQUIERDA, CONFIGURACIÓN DE LA UNIÓN DE LA PLACA GUSSET EN LA VIGA SECUNDARIA. A LA DERECHA, LA UNIÓN CON LA COLUMNA DE MLE. ELABORACIÓN PROPIA USANDO AUTCAD 2018.....	57
ILUSTRACIÓN 40, ESQUEMA DE PLACA UNIÓN COLUMNA FUNDACIÓN. FUENTE: BROCK COMMONS TALLWOOD HOUSE. DESIGN & PRECONSTRUCTION OVERVIEW.....	58
ILUSTRACIÓN 41, UNIÓN ENTRE COLUMNA Y LA FUNDACIÓN. A LA IZQUIERDA BOSQUEJO, A LA DERECHA EJECUCIÓN DE ÉSTA. FUENTE: BROCK COMMONS TALLWOOD HOUSE, DESIGN MODELLIN.....	58
ILUSTRACIÓN 42, DISPOSICIÓN DE CONECTORES PARA EL ENVIGADO DE PISO A LAS VIGAS PRIMARIAS (VP) O VIGAS SECUNDARIAS (VS). ELABORACIÓN PROPIA USANDO AUTOCAD 2018.....	59
ILUSTRACIÓN 43, BOSQUEJO VIGA DE FUNDACIÓN, ZAPATA Y TUBO PERFORADO PARA DRENAJE. FUENTE: CANADIAN WOOD FRAME HOUSE CONSTRUCTION, CMHC.....	63
ILUSTRACIÓN 44, ESQUEMA DE INSTALACIÓN DE ARMADURA DE VIGAS DE FUNDACIÓN. FUENTE: MANUAL PARA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS DE MADERA, CORMA.....	63
ILUSTRACIÓN 45, CAPAS PREVIAS AL RADIER DEL PRIMER PISO. FUENTE: MANUAL PARA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS DE MADERA, CORMA.....	64
ILUSTRACIÓN 46, ESQUEMA DEL MONTAJE DE SUBESTRUCTURA A LA ESTRUCTURA CONECTADA. ELABORACIÓN PROPIA USANDO AUTOCAD 2018.	70
ILUSTRACIÓN 47, DISTRIBUCIÓN DE VIGAS DE PISO, CADENETAS Y RIOSTRAS. FUENTE: MANUAL PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS EN MADERA, CORMA.	71

ILUSTRACIÓN 48, DISPOSICIÓN TRASLAPADA DE LOS PANELES DE PISO. FUENTE: CANADIAN WOOD FRAME HOUSE CONSTRUCTION, CMHC	71
ILUSTRACIÓN 49, OPCIONES DE AISLAMIENTO PARA PISOS VENTILADOS. A) LANA DE VIDRIO COMÚN, B) LANA DE VIDRIO CON PAPEL UNA CARA. ELABORACIÓN PROPIA.	72
ILUSTRACIÓN 50, PIEZAS PRINCIPALES DE UN TABIQUE. FUENTE: MANUAL PARA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS EN MADERA, CORMA.....	74
ILUSTRACIÓN 51, BOSQUEJO DE UTILIZACIÓN DE LA MADERA EN CONTACTO CON EL HORMIGÓN DE FUNDACIÓN. FUENTE: MANUAL PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS EN MADERA, CORMA	74
ILUSTRACIÓN 52, BOSQUEJO DE TABIQUES PERIMETRALES. ELABORACIÓN PROPIA	76
ILUSTRACIÓN 53, BOSQUEJO DE TABIQUES INTERNOS. ELABORACIÓN PROPIA	76
ILUSTRACIÓN 54, BOSQUEJO DE TABIQUE DE MURO DIVISORIO DE DEPARTAMENTOS. ELABORACIÓN PROPIA.....	77
ILUSTRACIÓN 55, DISPOSICIÓN DE ESTRUCTURA DE TECHO.....	79
ILUSTRACIÓN 56, UNIÓN DE CERCHA A SOLERAS INFERIOR Y MONTANTE. FUENTE: MANUAL PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS EN MADERA, CORMA.....	80
ILUSTRACIÓN 57, CARAS Y CORTES EN UN TRONCO DE MADERA. FUENTE BARAÑO J.J. “ET AL”, 2008 (MANUAL PARA LA IDENTIFICACIÓN DE MADERAS)	83
ILUSTRACIÓN 58, CORRECTA DISPOSICIÓN DE UN MADERO ANTE CARGA DISTRIBUIDA. ELABORACIÓN PROPIA.	84
ILUSTRACIÓN 59, OPCIONES DE CÓMO ORIENTAR UN MADERO ANTE CARGAS PUNTUALES EN UN EXTREMO. ELABORACIÓN PROPIA.....	84
FIGURA 1, ÁBACO DE KOLLMAN SOBRE LA HEH EN LA MADERA. EXTRAÍDO DESDE KOLLMAN, F. 1959. “TECNOLOGÍA DE LA MADERA Y SUS APLICACIONES, TOMO 1”. MINISTERIO DE AGRICULTURA, INSTITUTO FORESTAL DE INVESTIGACIONES Y EXPERIENCIAS, IFIE, MADRID9-A	
FIGURA 2, GRÁFICOS DEL FENÓMENO DE RELAJACIÓN. FUENTE: SCHNIEWIND A. CLARCK C. HERITAGE MEMORIAL SERIES ON WOOD.....	9-C
FIGURA 3, REPRESENTACIÓN DEL ÁNGULO GENERADO POR LA SOLICITACIÓN RESULTANTE(R) ENTRE CARGA HORIZONTAL (H) Y VERTICAL (V).....	9-F

1 Introducción

1.1 Motivación

Actualmente, uno de los temas más preocupantes a nivel mundial es el calentamiento que está sufriendo el planeta, producido, en gran parte, por el aumento de los gases de efecto invernadero, generados mayoritariamente por la quema de combustibles fósiles utilizados como fuente energética, ya sea para medios de transporte o como materia prima en centrales termoeléctricas, las cuales representan el 40% de la matriz energética chilena¹.

Dentro de este marco, la construcción intensiva y extensiva a lo largo de todo el país por el sector inmobiliario, ha favorecido a la escasez de agua y a la intervención de ríos para obtener áridos en algunas zonas, los cuales corresponden a los constituyentes secundarios del hormigón, material más usado en las edificaciones chilenas, alcanzando un 46% de las construcciones².

Es más, al dimensionar la contaminación durante la producción del cemento, principal componente del hormigón, la huella de carbono que se genera al calentar la piedra caliza a 1500°C, generalmente por combustión de fósiles, es responsable de aproximadamente el 5% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a nivel mundial³

Por su parte, la madera, a diferencia de materiales como el acero y hormigón, es capaz de absorber el dióxido de carbono (CO₂, principal GEI), posicionándose como un material renovable, biodegradable y sostenible mientras la reforestación de las especies sea mediante una gestión responsable. Además, se consume menos energía durante las faenas, pues es fácil trabajar y modificar las piezas.

También, por años, ha existido la creencia popular de que las construcciones en madera son de baja calidad, poco resistentes mecánicamente y vulnerables al fuego. Ahora, de acuerdo con muchos estudios nacionales e internacionales, se sabe que las piezas de madera bien clasificadas son capaces de resistir altas cargas estáticas y dinámicas, como también, si se protege de buena manera contra el fuego, los elementos pueden retardar varias horas la calcinación completa.

Por otro lado, la desigualdad económica que afecta a las clases sociales de los deciles más bajos en Chile dificulta la obtención de una vivienda para tales familias, pues según estudios de la encuesta CASEN 2017, entre los deciles I al VI abarcan el 72% del déficit habitacional; tanto por la existencia de inmuebles con deterioros fuera del rango admisible, como por allegamiento. Esto implica que existe una necesidad de construir viviendas económicas para que sean habitadas por los deciles más vulnerables.

Por lo tanto, en la búsqueda de nuevas soluciones para una edificación amigable con el entorno y económicamente accesible para los estratos socio-económicos más bajos, se propone estudiar la

¹ Descarbonización de matriz energética, Generadoras de Chile, 2019.

² Extraído desde <https://ich.cl/edificacion/noticias-edificacion/el-hormigon-se-convierte-en-el-principal-material-para-la-construccion-de-casas/>, ICH, 2018

³ Huella ecológica del cemento, Laboratorio de Ingeniería Sostenible, 2010

normativa chilena y extranjera sobre edificios en madera en altura y entregar métodos constructivos para estructuras de cinco pisos como viviendas sociales, iniciando con una comparativa entre las normativas e industrias, además de conocer el comportamiento teórico de una estructura en altura de madera, por medio de un diseño estructural que considere cargas laterales sísmicas. A la vez, se estudia en dónde es factible construir en madera, ya sea por condiciones meteorológicas, del suelo y por cercanía a la materia prima.

También, se pretende entregar, de acuerdo con la experiencia extranjera, recomendaciones sobre las normas y mercado chileno actual, con tal de facilitar y ampliar la construcción en madera en altura.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Cómo objetivo general se plantea proponer métodos constructivos para edificios de viviendas sociales de cinco pisos en MLE en base al estudio de la normativa y experiencia extranjera y chilena.

1.2.2 Objetivos secundarios

Para alcanzar el objetivo general de este trabajo de título, se deben conseguir los siguientes objetivos secundarios:

- Estudiar la normativa chilena (NCh) y OGUC, en materia pertinente a edificaciones en altura con madera.
- Estudiar normativa y manuales extranjeros relativos a edificios en madera aserrada y madera laminada encolada (MLE).
- Comparar ambas normativas.
- Encontrar zonas óptimas de emplazamiento para edificios en madera, según accesibilidad al material, condiciones climáticas y de suelo.
- Dimensionamiento de piezas en MLE y aserrada en el sistema columna-viga para un edificio con arquitectura tipo vivienda social de cinco pisos.
- Entregar métodos constructivos para erguir edificios de madera en altura, de acuerdo con la experiencia extranjera.

1.3 Alcances

Los alcances del presente trabajo de título son:

- Entregar un dimensionamiento mínimo de los elementos de madera – MLE y madera aserrada – presentes en la edificación.
- Entregar procesos constructivos sobre conexiones de los elementos constituyentes del edificio en cuestión.
- Entregar recomendaciones para la mejora de las normas chilenas pertinentes a construcción en madera y cómo adecuar esta industria.

- Encontrar las zonas óptimas de emplazamiento de edificios de madera, ya sea por condiciones climáticas, de suelo y cercanía a las áreas forestales.
- No se realiza un diseño estructural del edificio completo, sino sólo un análisis estructural en cuanto a las dimensiones de columnas, vigas y sus arriostramientos.
- No se entregan planos estructurales del edificio.
- No se diseñan las instalaciones de la vivienda, como agua potable, circuito de electricidad, entre otros.
- No se diseñan las fundaciones del edificio.

1.4 Metodología

- Revisión bibliográfica:

Se realiza una revisión de las normas chilenas pertinentes a madera, tales como la NCh1198, NCh2165, NCh 2050, entre otras. También se estudiará la norma sísmica de Chile – NCh433 – y la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción en cuanto a viviendas sociales.

Además, con tal de comparar, se investiga sobre normativa extranjera y cómo se construye en madera en tales países.

- Construcciones de madera existentes en Chile

Buscar las construcciones en altura más importantes del país, con tal de conocer el estado actual de este tipo de estructuras en Chile.

- Emplazamiento:

De acuerdo con las condiciones climáticas de diferentes zonas de Chile, encontrar los lugares óptimos para emplazar edificios de madera.

- Ingeniería básica:

Realizar un análisis de resistencia, deformaciones y dimensionamiento del envigado de piso, columnas y arriostramientos en madera aserrada y MLE de acuerdo con una arquitectura tipo de viviendas sociales.

- Métodos constructivos:

Procesos constructivos para erigir un edificio de madera en altura, como también especificaciones técnicas para proteger y entregarle durabilidad a la estructura de madera.

2 Marco Conceptual

A grandes rasgos, este Trabajo de Título abarca tres aspectos de estudio sobre un edificio de madera: la normativa vigente pertinente, la construcción en madera y como se engloban para diseñar viviendas sociales de cinco pisos en MLE. A continuación, gracias a una revisión bibliográfica, se presentan los conceptos a utilizar para el desarrollo de estos tres temas, comenzando con la definición y requerimientos de una vivienda social, seguido de la madera como material estructural y sustentable y, finalizando con la comparación entre la industria, normativa y construcciones en madera en Chile y el mundo.

2.1 Viviendas Sociales

En cuanto a las viviendas sociales, éstas quedan definidas según el artículo 1° del D.F.L N°2 de 1959 el cual especifica que una “vivienda económica” corresponde a aquella cuya superficie edificada no supera los 140 metros cuadrados por unidad de vivienda y su valor de tasación es inferior a 400 UF, o 520 UF en el caso de condominios de viviendas sociales (artículo 6.1.2 OGUC), además de reunir los requisitos y características recopilados en el inciso 2.1.1 desde la OGUC y la Ley de urbanismo y construcciones:

2.1.1 Requisitos y características para viviendas sociales.

- La vivienda social deberá tener a lo menos tres recintos: un dormitorio con espacio para dos camas, una sala de estar-comedor-cocina y un baño con inodoro, lavamanos y ducha. (inciso 2 artículo 6.4.1. OGUC)
- Los **locales habitables** corresponden a aquellos destinados a la permanencia de personas, tales como: dormitorios, comedores, salas de estar, oficinas, entre otros. Y, por su parte, los **locales no habitables** son los destinados a tránsito o estadía esporádica de personas, como baños, lavaderos, pasillos, entre otros. (artículo 4.1.1. OGUC)
- En obra terminada, los locales habitables tendrán una altura mínima entre cielo y piso de 2,3 metros. En el caso de las pasadas peatonales bajo vigas o instalaciones, esa altura mínima será de 2 metros. (inciso segundo y tercero, artículo 4.1.1. OGUC)
- Para la entrada de aire y luz exterior, los locales habitables deben contemplar, a lo menos, una ventana y, cuando se trate de dormitorios, deberá tener una distancia libre de más de 1,5 metros medidos perpendicularmente a la ventana (inciso primero, artículo 4.1.2. OGUC)

2.1.2 Requisitos de dimensionamiento

A continuación, se detallan los requerimientos más relevantes rescatados desde la OGUC.

- Según el artículo 4.1.11 un edificio de viviendas con menos de 6 pisos, incluyendo subterráneos, no debiera considerar ascensores en el proyecto.
- De acuerdo con la tabla de carga de ocupación del artículo 4.2.4. de la OGUC se tiene que una vivienda social de entre 60 y 140 m² tiene 20 m² x persona.
- Debido a que el número de personas que utilizarán el edificio se presume inferior a 50 personas, el ancho mínimo de las escaleras es de 1,10 metros (artículo 4.2.10. OGUC).

- Los pasamanos inclinados de escaleras deben tener una altura de entre 0,85 y 1,05 metros, mientras que en los descansos entre 0,95 y 1,05 metros. (artículo 4.2.11. OGUC).
- Los peldaños tendrán un ancho de huella superior a 0,28 metros en la horizontal y una altura de contrahuella entre 0,13 y 0,18 metros. (artículo 4.2.11. OGUC).
- Las puertas de escape deberán tener un ancho nominal igual o mayor a 0,85 metros con una altura superior a 2 metros.

2.2 Madera estructural

El segundo gran aspecto que abarca este trabajo de título corresponde al diseño estructural en madera, por lo que a continuación se presentarán las propiedades y características más relevantes de este material.

2.2.1 Características macro y microscópicas de la madera

Para saber cómo usar, en cual dirección y orientación disponer los elementos constructivos de un edificio en madera es importante conocer la estructura interna de las coníferas. En la macroscopía del pino radiata (madera de coníferas) se tiene, desde el centro hacia el exterior del tronco: el duramen, la albura, el cambium, la corteza interna y externa, de las cuales sólo se utilizan estructuralmente las dos más internas, pues en ellas se concentran los traqueidos, células paralelas al crecimiento del árbol que le otorgan su resistencia. Dentro de estas células, se distinguen dos tipos de madera en el mismo tronco: la madera de primavera, con canales amplios para el paso de agua y la madera de verano, con paredes celulares más gruesas que aportan en la resistencia vertical.

Entonces, la gran resistencia vertical de un árbol se da por la disposición, también vertical, de los traqueidos, los cuales están formados por cadenas de celulosa que conforman los paquetes de microfibrillas que, a su vez, en conjunto desarrollan las fibrillas de la pared celular. Estas fibrillas se unen a otras por medio de una matriz de lignina.

En este punto, es importante recalcar que dentro de las cadenas de celulosa existen ramificaciones de hidroxilo (OH-) con capacidad hidrófila, motivo por el cual la madera puede hincharse. Por lo tanto, el agua en la madera se encuentra como agua de constitución, intrínseca de la madera, y como agua proveniente de la humedad, presente de dos formas: agua libre que circula por dentro de los canales (lumen) y/o agua de saturación captada por los iones hidroxilo, la primera solo influye en el peso, mientras que la segunda también afecta al volumen del madero.

Además, debido a la dirección predominante de las fibras, la entrada de agua por los canales internos a las paredes celulares se ve facilitada en los extremos de vigas y columnas, por lo tanto, se deben proteger de la inserción de aguas lluvias aquellos cantos o cabezales de los maderos expuestos a la intemperie con la fibra perpendicular a tales planos.



Ilustración 1, planos de una tabla

2.2.2 Humedad y contracciones en la madera

Por lo anterior toma relevancia el definir las condiciones de humedad de la madera, éstas se enuncian a continuación:

- Madera completamente saturada: tiene el 100% de los iones hidroxilos y el lumen saturados.
- Madera verde: cuando la madera está completamente saturada en sus paredes celulares pero el lumen, pese a tener contenido de agua, aún es capaz de aceptar más.
- Madera en el punto de saturación de la fibra (PSF): cuando el madero sólo tiene agua de saturación y no existe agua en el lumen. Hasta este punto la madera experimenta cambios volumétricos
- Madera en el rango higroscópico: Esta condición se da cuando la madera tiende a un equilibrio entre la humedad interna y la del ambiente, por lo que no tiene agua en lumen y muy poca en las paredes celulares. Se debe intentar construir siempre en esta condición.

Como se nombró previamente, la madera durante su uso alcanza una humedad de balance dependiente de la humedad relativa del aire y la temperatura a la que está expuesta la pieza de madera, conocida como humedad de equilibrio higroscópico (HEH). Como es de esperar, este valor varía de estación en estación, como también dentro de un mismo día. Para resolver este problema se ocupan los promedios diarios y anuales y se construye dejando un margen en el que los elementos se les permite experimentar cambios volumétricos producto del cambio de la humedad relativa del aire (HRA) y la temperatura ambiente.

De aquí se desprende que la madera experimentará cambios volumétricos al variar la humedad interna, condicionada por la HRA. Y, ya que los traqueidos están orientados axialmente, siguiendo el crecimiento vertical del árbol, la madera corresponde a un material anisotrópico y, por lo tanto, las contracciones serán diferentes en los distintos planos del tronco (plano tangencial, radial y axial). Estas se pueden calcular según las siguientes fórmulas:

$$\Delta h = 0,5 \cdot (\alpha_t + \alpha_r) \cdot \left(\frac{\Delta H}{100}\right) \cdot h \quad \text{Ecuación 2.2-1}$$

$$\Delta b = 0,5 \cdot (\alpha_t + \alpha_r) \cdot \left(\frac{\Delta H}{100}\right) \cdot b \quad \text{Ecuación 2.2-2}$$

$$\Delta L = \alpha_l \cdot \left(\frac{\Delta H}{100}\right) \cdot L \quad \text{Ecuación 2.2-3}$$

En donde las variaciones de cada lado están dadas por la multiplicación de los coeficientes de contracción respectivo, la fracción que representa el cambio de humedad en el ambiente y el largo original de la cara a analizar. En el caso de un corte transversal, el madero experimenta a la vez una contracción (o expansión) tangencial y una radial, es por esto que se calcula un promedio entre los coeficientes de contracción respectivos. Estos coeficientes son propios de cada especie maderera. Ver Tabla 5-2 de este trabajo de título.

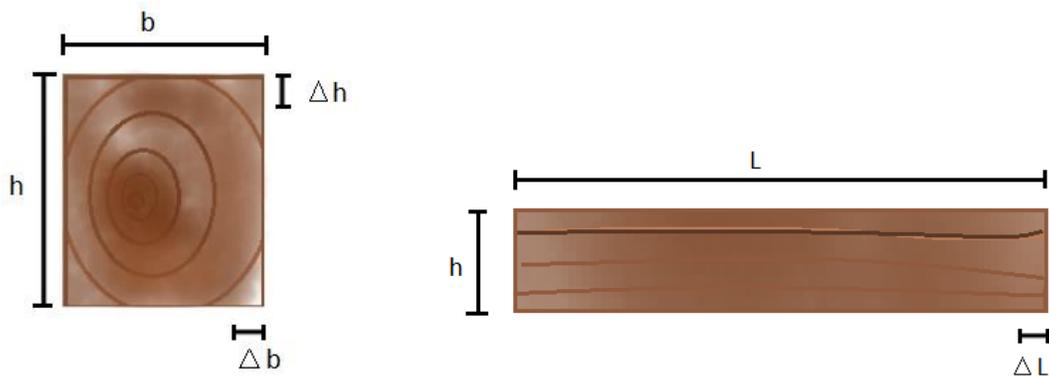


Ilustración 2, corte transversal y longitudinal para ver medidas de contracción.

2.2.3 Características Sustentables de la madera

Durante la última década, en Chile el concepto de sustentabilidad se ha esparcido en áreas como la producción de energía, la utilización de productos reciclables o fabricados con materiales reutilizados y, en cuanto la construcción, básicamente se ha limitado al uso de paneles fotovoltaicos y áridos provenientes de concreto deteriorado, pero aún la gran mayoría de las edificaciones se construyen en hormigón y acero, materiales cuya materia prima pasan por diversos procesos que consumen una enorme cantidad de combustibles fósiles que, a su vez, generan gran parte de los gases de efecto invernadero a nivel mundial.

Sin embargo, junto con el auge de la sustentabilidad la madera ha intentado posicionarse como un noble material, amigable con el medio ambiente y capaz de desplazar o limitar el uso de hormigón y acero por razones como:

- Consumo de dióxido de carbono:

Para que un árbol crezca necesita de agua, luz solar, nutrientes y CO₂. Como la forestación se basa en talar constantemente bosques para volver a sembrar, esto genera que siempre existan coníferas jóvenes, las cuales al estar en etapa de crecimiento consumen más dióxido de carbono que las mayores.

- Menor huella de carbono durante su proceso de fabricación:

En la obtención de madera estructural sólo se utilizan combustibles fósiles indirectamente en la electricidad requerida para aserrar las trozas y en el secado, por lo que, comparativamente,

la huella de carbono es mucho menor que la producida en el procesamiento del cemento y acero.

- Buena aislación térmica:

La madera destaca por ser un material con gran inercia térmica⁴, la cual disminuye las variaciones de temperatura entre caras paralelas de piezas de este material. Esto se considera sustentable pues dentro de un hogar o edificación en madera, el gasto energético asociado a calefacción o refrigeración será menor que en edificios construidos en hormigón o acero.

- Renovable:

Debido a que las coníferas se pueden volver a plantar en las mismas áreas forestales donde se taló, es posible hablar de que es un material renovable mientras existan estas áreas⁵. Sin embargo, la sustentabilidad se tendrá cuando la reforestación sea consciente y no perjudique otras zonas, ya sea por sequías o tala indiscriminada del bosque nativo.

- Biodegradable:

La madera es biodegradable pues se trata de un material orgánico. A la vez, puede pasar por múltiples procesos y buenas prácticas para aumentar su vida útil.

Por lo tanto, la madera cuenta con variadas características sustentables para fomentar la construcción de edificios y, en este caso, viviendas sociales, entre otras estructuras.

2.3 Chile, país maderero

Chile destaca como un país que obtiene y exporta materias primas como cobre, litio y madera. Ésta última en distintas presentaciones, como pulpa, tableros y madera aserrada. A continuación, se precisan las aristas más importantes de las construcciones en madera, tales como la industria, la normativa y las edificaciones en sí en este material.

2.3.1 Industria chilena

En Chile, la madera estructural se produce, principalmente, a partir de trozas de Pino Radiata, la cual, para el año 2017, representaba el 67% del consumo de la industria con 30.6 millones de metros cúbicos sólidos sin corteza (m^3 ssc) y el 57% de las plantaciones con 1.3 millones de hectáreas concentradas en las regiones del Biobío, Maule y de la Araucanía⁵.

Además, la industria de la madera aserrada corresponde al 50% del consumo anual de trozas de Pino Radiata, seguido por la pulpa o celulosa, con un 30% del consumo, sin embargo, ésta es

⁴ Extraído desde entrevista a Martin Hurtado en sitio madera21: <https://www.madera21.cl/martin-hurtado-en-sustentabilidad-la-madera-se-promueve-sola/>

⁵ Extraído desde Anuario 2018, INFOR, 2018 Chile.

mayoritariamente exportada, mientras que la exportación de madera de aserradero sólo alcanza a un tercio de su producción.

En este trabajo de título se estudia tanto la industria primaria de la madera aserrada, como el uso de éstas para fabricar madera laminada encolada.



Ilustración 3, Mapa de la cantidad de aserraderos en Chile para el 2015, valor entre paréntesis corresponde a la diferencia con el año 2006. Fuente: Industria forestal primaria en Chile, INFOR, 2016.

La madera aserrada se produce en aserraderos que están distribuidos a lo largo de Chile, pero concentrados en las regiones forestales, tal cual muestra la ilustración 3, y representan la industria primaria forestal más cuantiosa, debido al amplio uso que se le puede dar a este material.

Con un total de 1090 aserraderos trabajando para el 2015, esta industria representa la más numerosa en cuanto a unidades de producción, siendo en su mayoría aserraderos móviles, los cuales cuentan con maquinaria básica y fácil de transportar, permitiéndoles ser instalados cercanas al bosque o dentro del mismo. Existen dos tipos de sierras que utilizan para aserrar y partir: sierra circular simple y sierra huincha horizontal, en donde la última tiende a tener un mejor rendimiento para cortes delgados.

Por otro lado, pese a que los aserraderos permanentes solo representan el 22% de las unidades productivas, su producción es casi el 60% del total⁶, esto debido a que utilizan maquinaria más compleja y con mayor rendimiento. Dependiendo del producto final del aserradero se pueden clasificar en:

- Tradicionales: utilizan principalmente una sierra huincha vertical con carro y producen madera aserrada en bruto (sin cepillar)
- Con elaboración: el resultante de estos aserraderos es madera aserrada dimensionada y cepillada en 1 hasta sus 4 caras, por lo que se suelen utilizar como tablas de piso, cielos, revestimientos y elementos de carpintería.
- Con remanufacturas: destacan por ser aserraderos con productos secados en cámara y más elaborados, por lo que la clasificación es más estricta. Aquí se encuentran listones con finger-joint, sistema de unión dentada para ensamblar piezas de maderas.

En todo tipo de aserradero permanente se obtiene astillas como subproducto, mientras que, a los aserraderos con elaboración, gracias al cepillado, se le suma la viruta y, en los aserraderos con remanufactura, también se consigue polvo de lija como producto secundario.

Como se vio anteriormente, para gozar de un buen funcionamiento estructural es esencial que la madera esté seca y dentro del rango higroscópico de la zona, pero lamentablemente, sólo un 50% de la madera aserrada en Chile es secada. Sin embargo, cuando se trata de grandes aserraderos, más de 2/3 de ellas secan artificialmente sus productos. Por lo tanto, el precario valor del promedio país se debe a que, aproximadamente, sólo el 10% de los pequeños aserraderos contempla un secado como etapa final de su producto⁷.

Luego, debido a la importancia de la resistencia del material usado para erguir una edificación, distintas normas abarcan la clasificación visual y mecánica de la madera aserrada, con tal de conocer sus propiedades resistentes. De estas clasificaciones se debe tener en cuenta que, debido a la anisotropía de la madera, las tensiones admisibles deben ser modificadas y estudiadas en los distintos planos con tal de posicionarse en una zona conservadora y segura bajo la capacidad última de los elementos que conformen la estructura.

La clasificación visual tiende a ser menos rigurosa, pues depende de la experiencia del personal clasificador, mientras que la clasificación mecánica sólo dependerá de una buena calibración de los instrumentos. Es por esto que si se requiere precisión se debe optar por una clasificación mecánica no destructiva.

Además, al igual que la preocupación del secado artificial por parte de grandes aserraderos (>100.001 m³/año de producción), se tiene que estas mismas empresas invierten en ensayos mecánicos para clasificar la madera y la clasificación visual es más recurrente en pequeños aserraderos (<=10.000 m³/ año), lo cual conlleva a que gran parte de la industria maderera chilena carezca de métodos precisos.

⁶ Extraído desde Industria forestal primaria en Chile, INFOR, 2016, Santiago, Chile.

⁷ Extraído desde Industria forestal primaria en Chile, INFOR, 2016, Santiago, Chile.

Si bien la madera aserrada puede ser usada estructuralmente, es insuficiente cuando se requiere construir estructuras mayores a dos pisos, debiendo optar por la utilización de madera laminada encolada, la cual se constituye por un grupo de láminas (tablas) de madera aserrada libre de defectos que, al encontrarse unidas de cara por un adhesivo estructural, trabajan en conjunto, obteniendo una mayor capacidad de carga que las tablas por sí solas.

Ahora bien, la industria de la madera laminada encolada utiliza como materia prima tablas de madera aserrada de diferentes escuadrías, las cuales se clasifican visual o mecánicamente según la norma NCh2150 “Madera laminada encolada – Clasificación mecánica y visual de madera aserrada de pino radiata”, existiendo solo dos grados para las tablas constituyentes: A y B.

Una gran ventaja que presenta la MLE es que, además de aumentar la resistencia de las tablas al trabajar en conjunto, se pueden tener luces mucho mayores gracias a la unión tipo finger-joint, la cual consiste en quitar los sectores con nudos o singularidades y unir las tablas con los cabezales dentados para aumentar el área de contacto. Además, gracias a la capacidad de relajación de la madera, las piezas en este material pueden tener geometrías muy llamativas, por lo que tienden a ser una oportunidad para innovar en la arquitectura de las estructuras con elementos resistentes.

En Chile, la industria de la MLE aún es pequeña, en donde destacan empresas como HILAM de ARAUCO, LAMITEC e INGELAM, entre otras.

Por otro lado, existe un sistema constructivo en base a paneles de madera denominado CLT (madera contra laminada, por sus siglas en inglés, Cross Laminated Timber) el cual consiste en tablas clasificadas unidas por los cantos paralelamente, mientras que las caras se unen perpendicularmente con otro conjunto de tablas unidas por los cantos, ver ilustración 4. Este sistema ofrece tiempos acotados de montaje, gran aislación térmica y excelente resistencia, lo que ha permitido la construcción de edificios de gran envergadura en Europa, EE.UU. y Canadá.



Ilustración 4, Madera contra laminada (CLT). Extraído desde: <https://maderas-uv.weebly.com/>

Actualmente, el centro de innovación en madera UC en conjunto con CORMA trabaja en la medición del comportamiento sísmico y térmico de un edificio de seis pisos de 18 m² cada uno construido en CLT en Peñuelas en la Reserva forestal homónima.

Lamentablemente, en Chile existen escasas empresas dedicadas a fabricar este tipo de material, por lo que los estándares son bajos y, al no existir normas al respecto, no se tienen piezas homogéneas y de la calidad necesaria.

2.3.2 Normativa Chilena

Gran parte de las innovaciones en un país se ven reflejadas en la promulgación de normas que unifican los protocolos, métodos y procedimientos de cómo realizar ciertos procesos.

Es así como destaca el caso de la utilización de madera como material de construcción, es decir, madera con características estructurales, en donde el cálculo de sus tensiones admisibles se presenta en las NCh 1198 y NCh2165 para madera aserrada y laminada encolada, respectivamente, ambas publicadas desde 1991, con modificaciones posteriores. Por lo tanto, he aquí un ejemplo de cómo las necesidades en la construcción en madera requerían de normas de cálculo, muestreo y clasificación para obtener una mayor rigurosidad en las escuadrías escogidas y asegurar sus capacidades de resistencia.

En cuanto a las normas sobre construcción en madera de Pino Radiata, sobresalen las siguientes:

- a) NCh 1198 – 2014 “Construcción en madera – Cálculo”
- b) NCh 2150 “Madera laminada encolada – Clasificación mecánica y visual Pino radiata”
- c) NCh 2149 “Madera – Madera aserrada – Determinación del módulo de elasticidad en flexión – Método de ensayo no destructivo”
- d) NCh 2165 “Tensiones admisibles madera laminada encolada estructural de Pino Radiata”
- e) NCh 1207 “Pino Radiata – Clasificación visual para uso estructural – Especificaciones de los grados de calidad”

Para calcular la resistencia de una pieza de madera aserrada utilizando las fórmulas de la NCh 1198, se debe tener previamente clasificado el elemento, ya sea visual o mecánicamente, pues de aquí se obtienen, mediante tablas presentes en la norma, las tensiones admisibles ante distintos esfuerzos. Luego, con una serie de factores de modificación que multiplican la tensión admisible (f_{adm}) se encuentra una tensión de diseño. Estos factores se utilizan para ciertas tensiones y se asocian de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 2-1, Factores de modificación utilizados para cada tensión de diseño

Tensión de diseño	K_H	K_D	K_C	K_{hf}	K_v	K_r	K_λ	K_{ct}	K_{cn}
$F_{ft,dis}$	☑	☑	☑	☑					
$F_{fc,dis}$	☑	☑	☑		☑				
$E_{f,dis}$	☑		☑						
$F_{cz,dis}$	☑	☑	☑			☑			
$F_{cp,dis}$	☑	☑	☑						
$F_{cp,\lambda,dis}$							☑		
$F_{tp,dis}$	☑	☑	☑	☑				☑	
$F_{cn,dis}$	☑	☑							☑

En donde:

- $F_{ft,dis}$: tensión de diseño de flexo-tracción
- $F_{fc,dis}$: tensión de diseño de flexo-compresión
- $E_{f,dis}$: Módulo de elasticidad de diseño a flexión
- $F_{cz,dis}$: tensión de diseño de cizalle
- $F_{cp,dis}$: tensión de diseño de compresión paralela
- $F_{cp,\lambda,dis}$: tensión de diseño de pandeo a compresión paralela
- $F_{tp,dis}$: tensión de diseño de tracción paralela
- $F_{cn,dis}$: tensión de diseño de compresión normal
- K_H : factor de modificación por humedad
- K_D : factor de modificación por duración de la carga
- K_C : factor de modificación por trabajo en conjunto
- K_{hf} : factor de modificación por altura
- K_v : factor de modificación por volcamiento
- K_r : factor de modificación por rebaje
- k_λ : factor de modificación por pandeo
- K_{ct} : factor de modificación por concentración de tensiones
- K_{cn} : factor de modificación por aplastamiento

Entonces, la fórmula general para obtener la tensión de diseño del esfuerzo “R”, es la siguiente:

$$F_{R,dis} = F_{R,adm} \cdot \prod K_{X,i} \quad \text{Ecuación 2.3-1}$$

Las fórmulas para obtener los factores de modificación y el valor de las tensiones admisibles se encuentran en la NCh 1198. Además, la norma entrega ecuaciones de resistencia para elementos sometidos a esfuerzos combinados y para diseñar las uniones estructurales entre elementos, tales como pernos, tirafondos, clavos, placas metálicas dentadas, conectores y tornillos. No se entrará en detalle de estos dos últimos puntos.

Finalmente, la NCh 1198 considera una tabla y fórmulas para el cálculo de las deformaciones máximas admisibles (ver tabla 2-2), como también las deformaciones de flujo plástico en el tiempo, ampliamente conocido como creep.

Tabla 2-2, Deformaciones máximas permitidas. Fuente NCh 1198

Tipos de vigas	Deformaciones máximas admisibles	
	Sobrecarga	Peso Propio más sobrecarga
1 Vigas de techo		
1.1 Construcciones industriales		L/200
1.2 Oficinas o construcciones habitacionales		
1.2.1 Con cielos enyesados o similares	L/360	L/200
1.2.2 Sin cielos enyesados o similares		L/200
2 Vigas de piso		
2.1 Construcciones en general	L/360	L/300
2.2 Puentes carreteros	L/360	

Luego, encontrar las tensiones de diseño en madera laminada encolada tiene un par de pasos extras, pues en este caso se desconocen las tensiones admisibles del elemento, debido a que sólo se cuenta, a priori, con el grado y la tensión básica de las láminas constituyentes. Por lo tanto, para usar la ecuación 2.3-1, primero se debe calcular una razón de resistencia o un factor de inercia transformada, dependiendo si las láminas son todas del mismo grado o si existe una combinación de ambas, cuál tensión se está calculando y si la laminación es horizontal o vertical.

En cuanto a la clasificación de las piezas madereras, la clasificación visual se realiza de acuerdo con las NCh1207, NCh1970 y NCh1198, en donde se tienen los grados GS, G1 y G2, ordenados decrecientemente según su capacidad resistente. Estos grados dependen de la cantidad, porcentaje y ubicación de nudos de la pieza, de la inclinación de la fibra, del largo de grietas y partiduras, entre otros. Por lo tanto, es de esperar que, al ser realizado por personas, existan discrepancias en la clasificación dependiendo del criterio, horas trabajadas y experiencia del clasificador, puesto que debe categorizar gran cantidad de piezas en un lapso acotado, por lo que el método fácilmente pierde precisión.

Por su parte, la clasificación mecánica se realiza acorde con la NCh3028 parte 1 y 2, en donde la primera establece los ensayos para determinar las propiedades resistentes y densidad de la madera, mientras que la parte 2 presenta procedimientos de muestreo y evaluación de las propiedades de grupos específicos de madera aserrada clasificada por su resistencia, las cuales pueden provenir de un aserradero específico o un sector del bosque, entregando valores estadísticos para resumir la información. Esta clasificación, por medio de ensayos no destructivos, determina la rigidez y agrupa las piezas en cuatro clases estructurales: C16, C24, MGP10 o MPG12.

Luego, la clasificación visual y mecánica de las maderas de Pino Radiata para su uso en MLE se encuentra en la NCh 2150, en donde, mecánicamente el grado dependerá del módulo de elasticidad en flexión de la pieza constituyente y el procedimiento del ensayo se detalla en la NCh 2149. Por su parte, la clasificación visual depende de los agujeros, alabeos, aristas faltantes, contenido de humedad, desviación de la fibra, grietas y rajaduras, entre otras. Cualquiera sea el método que se utilice para establecer el grado de las tablas, estos se dividen en dos: A y B.

Por su parte, la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC) precisa que las construcciones de edificios en madera corresponden a clase E. Lo cual implica que, en ausencia de cálculo estructural, sólo se permite un máximo de dos pisos, con no más de 7 metros de altura, o para uso de pisos superiores en estructuras de albañilería u hormigón.

También, indica las condiciones que deben cumplir los entramados de piso de madera, las vigas principales, tabiques y techumbres tales como el peso propio máximo del entramado, el distanciamiento máximo entre eje para viguetas, cadenas y vigas, escuadrías dependientes de la luz de la viga y la especie maderera utilizada, como también soluciones a situaciones excepcionales en donde las sobrecargas sean mayores a 1,5 kPa. Es decir, da recomendaciones de cómo construir casas de máximo dos pisos, sin necesidad de realizar cálculos estructurales. Por lo tanto, si se efectúa un análisis estructural, basta con seguir los requerimientos para viviendas sociales que se presentaron en el subcapítulo 2.1 para estructurar un edificio de mayor envergadura.

Además, entrega una tabla con porcentajes humedades mínimas y máximas permitidas. Ver tabla 2-3.

Tabla 2-3, humedad permitida según zona climático – habitacional. Fuente OGUC, artículo 5.6.8

ZONA CLIMATICO- HABITACIONAL	HUMEDAD PERMITIDA	
	MINIMA %	MAXIMA %
Norte litoral	11	18
Norte desértica	5	9
Norte valle transversal	11	16
Centro litoral	11	17
Centro interior	9	20
Sur litoral	12	22
Sur interior	12	22
Sur extremo	11	22

Finalmente, debido a la gran sismicidad de Chile, la NCh433⁸ aborda esta problemática en edificaciones en altura, con un análisis estático y un análisis modal espectral. El primero se utiliza en estructuras de hasta cinco pisos con altura inferior a 20 metros o cuando la sollicitación sísmica sea pequeña. El segundo análisis se utiliza en edificios más altos o donde la carga de sismo sea preponderante.

En tal norma, para efectos de este trabajo de título, son importantes las siguientes secciones:

- Zonificación sísmica: se definen tres zonas sísmicas y, dependiendo de donde se emplace el edificio, a estas zonas se les asocia una aceleración del suelo la cual servirá para el cálculo de las cargas sísmicas
- Clasificación de las estructuras: dependiendo del tipo ocupación y destino del edificio es que se le asigna una categoría de edificio, la cual define un factor de importancia para el cálculo del corte basal
- Tipo de suelo de fundación: define parámetros para el cálculo de las cargas sísmicas dependiendo de las características del suelo de fundación
- Desplazamientos máximos permitidos: limita a 0,002 h el desplazamiento relativo entre pisos consecutivos de diafragmas rígidos, medido en el centro de masas, el cual se puede exceder en 0,001 h cuando se mida en cualquier punto de la planta. Donde h es la altura de entrepisos.

2.3.3 Construcciones existentes en Chile

En Chile, existen muchas construcciones en madera, pero en el caso del CLT corresponden a casas particulares sin un cálculo estructural fundamentado bajo una norma chilena. Mientras que el uso de madera laminada encolada se ha focalizado en erguir estructuras como pasarelas, gimnasios, edificios corporativos e iglesias. En el caso de estas últimas, existen varias de ellas construidas

⁸ NCh 433 of.1996 mod 2012 “Diseño sísmico de edificios”, INN, Chile.

íntegramente en madera aserrada en el sur de Chile, la mayoría en Chiloé, las cuales presentan un bajo deterioro. A continuación, se especifican los casos más emblemáticos construidos en madera:

- a) **Campamento minero Sewell:** Ubicado a 60 km de Rancagua y a una altura de 2300 m.s.n.m. en el cerro Negro de la Cordillera de los Andes se encuentra el campamento de la mina subterránea “El Teniente”. La construcción de este complejo en 1905 incluyó una planta concentradora, el campamento en sí y un tren desde Rancagua. La ciudad industrial tuvo un gran auge entre las décadas del 40 y 60 del siglo pasado, poblándose de cerca de 15 mil habitantes. Luego, entre los años 1980 y 1998 se demolió el 60% del campamento, quedando en pie solo el núcleo central⁹. En el 2006 fue declarado Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO.

En cuanto al sistema constructivo de los edificios de hasta 6 pisos en Sewell, se estructuraron en acero para grandes luces y madera para las más pequeñas y el revestimiento, en un sistema de plataformas ortogonales de hasta 260 m² por piso. En un comienzo se importaron maderas de Pino Oregón, pero al comprobarse que las maderas nativas tenían un excelente comportamiento para las necesidades del campamento se terminaron utilizando maderas de Roble, Coigüe y Pino Araucaria¹⁰.



Ilustración 5, campamento minero Sewell. Extraído desde <https://www.monumentos.gob.cl/>

- b) **Oasis de Chañaral:** ubicado en la comuna de Chañaral, III Región, se emplaza el barrio “oasis de Chañaral” una iniciativa del MINVU desarrollada en conjunto con CORMA y el CIM UC para ofrecer una solución a las 260 familias que perdieron sus casas producto del aluvión que azotó a la zona en el año 2015. Estas viviendas sociales de 50 m², distribuidas colindantemente en edificios de 2 y 3 pisos, fueron construidas en madera estructural de Pino Radiata, destacando el uso de muros ventilados que brindan un confort térmico al dejar

⁹ Extraído desde: <https://www.monumentos.gob.cl/patrimonio-mundial/lista-actual/sewell>

¹⁰ Revista de urbanismo N°8, Especial Sewell. FAU, Universidad de Chile, Chile. Junio 2003. Extraído desde: https://web.uchile.cl/vignette/revistaurbanismo/CDA/urb_simple/0,1310,SCID%253D4328%2526SID%253D276%2526IDG%253D3%2526ACT%253D0%2526PRT%253D4323,00.html

circular el aire, el cual fue diseñado por el CIM UC y CORMA. Además, cuenta con agregados sustentables como paneles fotovoltaicos, orientación de ventanas hacia al norte, aleros para proteger el exceso de radiación en verano y reutilización de aguas servidas, entre otros¹¹.



Ilustración 6, Viviendas del Oasis de Chañaral. Extraído desde www.madera21.cl

- c) **Edificio Experimental Peñuelas:** Ubicado a una hora de Santiago, en la Reserva forestal Peñuelas, se encuentra el edificio experimental Peñuelas, el cual logró ser el edificio de madera más alto de Latinoamérica a la fecha, con seis pisos de altura, y el primero en Chile en construirse en CLT, gracias a la gestión e investigación de CORMA y el CIM UC.



Ilustración 7, edificio experimental Peñuelas. Extraído desde www.madera21.cl

Tal como se comentó en la sección 2.3.1 cada piso cuenta con aproximadamente 18 m² por lo que difícilmente se puede considerar como un hogar promedio. Sin embargo, la idea

¹¹ Extraído desde Madera21.cl: <https://www.madera21.cl/project-view/barrio-ecosustentable-oasis-de-chanaral/>

central de la construcción de este edificio es la instrumentación para medir factores como el comportamiento sísmico, desempeño térmico y valoración económica-constructiva.

- d) **Gimnasio LAN Airlines:** Ubicado en Santiago de Chile, la construcción de este gimnasio fue ejecutada principalmente en MLE, encargada a la empresa INGELAM en el año 2005, para su fachada y cubierta. De esta obra destacan las grandes luces que alcanzan y la llamativa geometría curva de los arcos principales. Este ejemplo muestra que la mayoría de los proyectos en MLE, pese a lograr extensas luces de separación entre apoyos, en Chile se suelen utilizar para estructuras de uno a dos pisos.



Ilustración 8, gimnasio LAN airlines. Extraído desde www.ingelam.cl

Por lo tanto, como se vio en estos ejemplos, prácticamente no existen edificios de mediana a gran altura contruidos en madera, pues el edificio experimental Peñuelas corresponde a una torre instrumentada y no habitada, por lo que el edificio con más pisos de madera serían las viviendas del Oasis de Chañaral. Esto sin considerar las iglesias, que pese a su altura su capacidad de resistir sobrecargas humanas o de ocupación es limitada.

2.4 Países madereros

A continuación, se presenta el estado del desarrollo e innovación de las estructuras en madera en cuanto a la normativa, industria y construcciones existentes en tres países: Canadá, Estados Unidos y Australia

2.4.1 Manuales y experiencia extranjera en madera

Debido a la dificultad de encontrar gratuitamente normativa extranjera, en esta sección se opta por utilizar manuales internacionales que describen la forma de utilizar la madera estructural en edificios, pues éstos se basan en las normas de sus países.

Notar que la Madera Laminada Encolada se conoce en los países de habla inglesa como Glulam o Glued Laminated Timber.

- **CANADA**

En Canadá, el uso de MLE está destinado a grandes estructuras con vigas de geometrías poco usuales y a pilares en edificaciones de madera en donde los elementos resistentes primarios son paneles de CLT.

Las casas y edificios residenciales de madera suelen usar el sistema constructivo Wood-frame, similar al utilizado en Chile para construir casas de hasta dos pisos. Sin embargo, en Canadá, las construcciones de este tipo pueden llegar hasta seis pisos, y suelen tener piezas de Glulam en las zonas más solicitadas, de acuerdo con el National Building Code of Canadá (NBC).

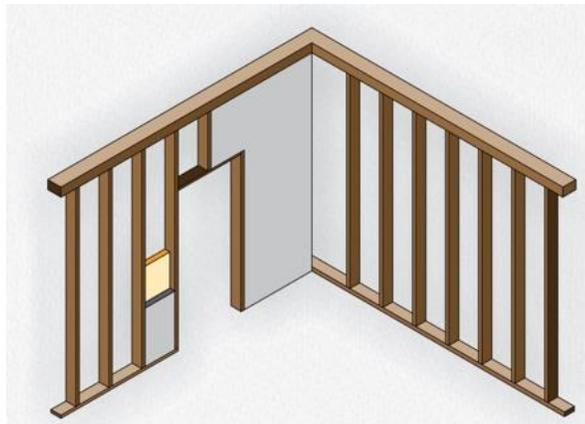


Ilustración 9, sistema wood-frame

En Canadá ha dado buenos resultados el uso del wood-framing, pues estas estructuras son soportadas por postes, vigas y viguetas de madera laminada o aserrada, usando el Wood-frame para los muros (ver ilustración 9), lo cual entrega rigidez pese al bajo peso del sistema. Además, esta tabiquería es reforzada con paneles OSB o contrachapados (plywood), formando un muro de corte. De esta manera, alineando los muros de todos los pisos, se puede tener una buena resistencia ante cargas laterales, es decir, los muros de corte definen espacios iguales en todos los pisos para resistir ante sismos.

Además, usan pernos de anclaje que van desde el piso más alto a la base del edificio, preferentemente anclado a una losa de hormigón, por lo menos 24 pulgadas. Estos pernos de anclaje se ubican lo más cercano a las esquinas o finales de cada muro de corte. Entonces utilizando este método en conjunto con los muros de corte y cortafuegos de hormigón, Canadá ha logrado construir edificios de hasta seis pisos con resultados satisfactorios ante cargas laterales.

Notando que el máximo desplazamiento inelástico de entrepisos que se permite es 0,025 veces la altura del piso, calculado como sigue

$$\Delta_M = 0,7 \cdot R \cdot \Delta_S$$

Ecuación 2.4-1

En donde, R es el factor de modificación de la respuesta sísmica y $\Delta_S = (\delta_{i+1} - \delta_i)$ es decir el desplazamiento de entrepisos.

A continuación, se nombran ejemplos de edificios construidos en wood-frame, reforzado con columnas, vigas y viguetas de MLE y madera aserrada.

Sail, Vancouver, BC:

Este edificio residencial de seis pisos en madera se encuentra en el barrio Wesbrook Place dentro de The University of British Columbia en el campus de Vancouver¹², la obra fue finalizada en el año 2014. La estructura destaca por el uso de muros livianos de Wood-frame y, para darle estabilidad a los pisos superiores, tiene una estructura de columnas, vigas, viguetas y dinteles en madera laminada encolada y madera aserrada. Además, cuenta con un subterráneo de dos pisos de hormigón a donde llegan los pernos de anclaje (tie-down anchors) de los muros de corte.

Si bien en Canadá la carga sísmica pierde relevancia en el diseño en comparación con Chile, este tipo de edificio marca un hito en la construcción en MLE en el sistema wood-frame, pues las cargas laterales de vientos toman importancia, las cuales pueden parecerse bastante a las cargas sísmicas. Además, la madera debe ser bien tratada contra los cambios de humedad que existen en ciudades como Vancouver.



Ilustración 10, Edificio Sail en Vancouver. Extraído desde Mid-rise best practice guide, Canadian Wood council

Wood Innovation and Design Centre, Prince George, BC

Este edificio de 29,5 metros de altura se convirtió el 2016 en la estructura más alta en madera de Norteamérica. Esta se construyó para acomodar un Master de ingeniería en diseño en madera integrada (Master of Engineering in Integrated Wood Design) de la University of Northern British

¹² De acuerdo con el Mid-rise best practice guide, Canadian Wood council, S/F, Canadá.

Columbia (UNBC). El proyecto abarca una estructura de 8 niveles, en donde el último piso corresponde a una azotea de servicio (mechanical penthouse). Por su parte, la construcción se realizó en base a un núcleo rígido en la caja de ascensores compuestos por paneles de CLT, al igual que las plataformas de piso, mientras que las vigas y columnas resistentes se fabricaron en Glulam¹³.



Ilustración 11, Wood Innovation and Design Centre. Extraído desde: <https://www.thinkwood.com>

Brock Commons Tallwood House, Vancouver, BC

Posterior a la construcción del Wood innovation and design centre, la universidad de British Columbia completó una edificación aún más alta en Vancouver, de 18 pisos y 53 metros de altura que serviría para la residencia de estudiantes, contando con 404 habitaciones y certificación LEED Gold. Por su parte, la estructuración de la obra fue en base a un primer piso de hormigón armado, seguido por niveles conformados por columnas de MLE y losas de paneles de CLT, además de contar con un núcleo rígido de hormigón, que se extiende hasta el último piso¹⁴. Los cerramientos se realizaron en paneles de Wood-frame prefabricados, los cuales ya incluían las ventanas, por lo que la lógica de la construcción fue bastante modular, salvo en las partidas de hormigón.

¹³ Wood innovation and Design Centre - a technical case study, S/F, Canadian Wood Council, Canadá.

¹⁴ Brock commons tall Wood building, The university of British Columbia, 2016, Canadá.



Ilustración 12, Brock Commons tall wood building. Extraído desde: www.naturallywood.com

- **Estados Unidos**

A continuación, se realiza un estudio de manuales y normativa estadounidense en cuanto al uso de madera estructural para construcciones en altura, tales como “Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures” del ASCE Standars y el “National Design Specification for Wood Construction” del AWC.

De lo anterior, se encuentra gran similitud a la normativa chilena. Por ejemplo, para el cálculo de las tensiones admisibles (o design values) en la madera aserrada y laminada encolada, también se utilizan factores de modificación por humedad, temperatura, tamaño, entre otros (ver tablas 2-5 y 2-6). Sin embargo, la mayoría de estos valores están tabulados según ciertos criterios y no necesariamente corresponden a fórmulas. (NDS)

En cuanto a los drifts de entrepisos se calculan según las siguientes ecuaciones, las cuales dependen de variables como: la categoría de riesgo (Risk Category), la importancia de la construcción y factores de modificación de la respuesta dependiendo del sistema constructivo empleado (ASCE).

$$\delta_x = \frac{C_d \cdot \delta_{xe}}{I_e} \quad \text{Ecuación 2.4-2}$$

$$\Delta_a = \delta_{x+1} - \delta_x \quad \text{Ecuación 2.4-3}$$

En donde, C_d corresponde al factor de amplificación de la deflexión, δ_{xe} la deflexión elástica en el piso x , I_e es el factor de importancia. (revisar Anexo 9.2.2).

Mientras que el desplazamiento de entre pisos máximos dependen de la categoría de riesgo y tipo de estructura, tal cual muestra la siguiente tabla.

Tabla 2-4, Drift máximo permitido según tipo de estructura y categoría de riesgo

Structure	Risk Category		
	I or II	III	IV
Structures, other than masonry shear wall structures, 4 stories or less above the base as defined in Section 11.2, with interior walls, partitions, ceilings, and exterior wall systems that have been designed to accommodate the story drifts.	$0.025h_{sx}^c$	$0.020h_{sx}$	$0.015h_{sx}$
Masonry cantilever shear wall structures ^d	$0.010h_{sx}$	$0.010h_{sx}$	$0.010h_{sx}$
Other masonry shear wall structures	$0.007h_{sx}$	$0.007h_{sx}$	$0.007h_{sx}$
All other structures	$0.020h_{sx}$	$0.015h_{sx}$	$0.010h_{sx}$

Al igual que las construcciones en Canadá, en Estados Unidos priman los edificios en base al sistema de wood-frame con ayuda de columnas y vigas de MLE para sostener las áreas más solicitadas. Tal es el caso del siguiente edificio en Anaheim en California, con la salvedad de que la estructura de madera se monta sobre un primer piso de hormigón.



Ilustración 13, construcción de un edificio en Anaheim, USA, en sistema wood-frame

Tabla 2-5, Factores de ajuste para madera aserrada. Fuente: NDS

	ASD only	ASD and LRFD											LRFD only		
		Load Duration Factor	Wet Service Factor	Temperature Factor	Beam Stability Factor	Size Factor	Flat Use Factor	Incising Factor	Repetitive Member Factor	Column Stability Factor	Buckling Stiffness Factor	Bearing Area Factor	Format Conversion Factor	Resistance Factor	Time Effect Factor
													K_F	ϕ	
$F_b' = F_b$	x	C_D	C_M	C_t	C_L	C_F	C_{fu}	C_i	C_r	-	-	-	2.54	0.85	λ
$F_t' = F_t$	x	C_D	C_M	C_t	-	C_F	-	C_i	-	-	-	-	2.70	0.80	λ
$F_v' = F_v$	x	C_D	C_M	C_t	-	-	-	C_i	-	-	-	-	2.88	0.75	λ
$F_c' = F_c$	x	C_D	C_M	C_t	-	C_F	-	C_i	-	C_P	-	-	2.40	0.90	λ
$F_{cL}' = F_{cL}$	x	-	C_M	C_t	-	-	-	C_i	-	-	-	C_b	1.67	0.90	-
$E' = E$	x	-	C_M	C_t	-	-	-	C_i	-	-	-	-	-	-	-
$E_{min}' = E_{min}$	x	-	C_M	C_t	-	-	-	C_i	-	-	C_T	-	1.76	0.85	-

Tabla 2-6, factores de ajuste para las tensiones admisibles. Fuente: NDS

	ASD only	ASD and LRFD											LRFD only		
		Load Duration Factor	Wet Service Factor	Temperature Factor	Beam Stability Factor ¹	Volume Factor ¹	Flat Use Factor	Curvature Factor	Stress Interaction Factor	Shear Reduction Factor	Column Stability Factor	Bearing Area Factor	Format Conversion Factor	Resistance Factor	Time Effect Factor
													K_F	ϕ	
$F_b' = F_b$	x	C_D	C_M	C_t	C_L	C_V	C_{fu}	C_c	C_I	-	-	-	2.54	0.85	λ
$F_t' = F_t$	x	C_D	C_M	C_t	-	-	-	-	-	-	-	-	2.70	0.80	λ
$F_v' = F_v$	x	C_D	C_M	C_t	-	-	-	-	-	C_{vr}	-	-	2.88	0.75	λ
$F_{rt}' = F_{rt}$	x	C_D	C_M^2	C_t^2	-	-	-	-	-	-	-	-	2.88	0.75	λ
$F_c' = F_c$	x	C_D	C_M	C_t	-	-	-	-	-	-	C_P	-	2.40	0.90	λ
$F_{cL}' = F_{cL}$	x	-	C_M	C_t	-	-	-	-	-	-	C_b	-	1.67	0.90	-
$E' = E$	x	-	C_M	C_t	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$E_{min}' = E_{min}$	x	-	C_M	C_t	-	-	-	-	-	-	-	-	1.76	0.85	-

- **Australia**

Parte importante del estudio de los métodos constructivos extranjeros para la edificación en madera orientado a viviendas sociales es que los países, además de tener un alto grado de desarrollo en el uso de este material en estructuras en altura, tengan condiciones similares a las existentes en Chile, tales como suelo, clima y, por sobre todo, sísmicas, pues finalmente serán las cargas laterales producto de movimientos telúricos las que dominarán el diseño del proyecto.

Por lo anterior, es que se estudia el caso de las edificaciones de madera en Australia, país que también está dentro del cinturón de fuego del pacífico y, de vez en cuando, es afectado por terremotos de gran envergadura.

En este país, de acuerdo con su código de construcción, el National Construction Code (NCC), la estructuración en madera liviana sólo puede llegar hasta los dos pisos. Sin embargo, cuando las estructuras livianas de madera se combinan con otros sistemas de construcción los resultados han sido satisfactorios. Tal es el caso del sistema wood-frame (o timber frame, como lo llaman en Australia) que se suele combinar con concreto en los primeros pisos y el uso de MLE o LVL (Laminated veneer Lumber, sistema similar a la MLE, pero con láminas más delgadas), como también CLT para rigidizar la estructura.

Dentro de un estudio en donde se comparan monetariamente distintas soluciones constructivas para un edificio hipotético de ocho pisos, se destaca la viabilidad técnica – económica de la solución en wood-frame con MLE para los siete pisos superiores, con un núcleo de escaleras en CLT y donde el primer piso es de hormigón¹⁵.

Un ejemplo concreto de la resistencia del Glulam en Australia es el Garden Building, ubicado dentro de la RMIT University's City Campus en Melbourne, el cual corresponde a un edificio y terraza de cuatro pisos. Esta vez, por tratarse de un edificio no residencial, las maderas laminadas están a la vista y carece de muros de corte, por lo que la rigidez se logra por medio de riostras diagonales y una cubierta perimetral de perfiles de acero.

Además, de la ilustración 14 del Garden Building se puede observar varios aciertos constructivos, tales como el uso de láminas de acero para recubrir la base de los pilares y los cantos de las vigas, pues estarán expuestas a la lluvia y, por lo tanto, a cambios de humedad. También se observa la separación de las vigas principales para no generar momentos externos a las columnas durante el traspaso de cargas.

¹⁵ *Rethinking Apartment Building Construction – Consider Timber*, Forest and Wood Products Australia Limited, 2018, Australia



Ilustración 14, Garden Building, Melbourne, Australia. Extraída desde: <https://inhabitgroup.com/project/new-academic-street-garden-building/>

3 Comparativa entre la normativa chilena y extranjera

En este capítulo se realiza una comparación cualitativa de las distintas formas de construir en madera en los cuatro países estudiados en los subcapítulos 2.3 y 2.4, es decir, aciertos, diferencias, ventajas y desventajas entre las normativas, métodos constructivos y manuales de Chile, Canadá, Estados Unidos y Australia.

En cuanto a lo anterior, destaca el uso del sistema Wood-frame para erguir edificios de mediana altura. En Chile, este método es utilizado para casas de dos o hasta tres pisos, en donde el tercer nivel tiene una superficie reducida para disminuir las sobrecargas de uso, o en caso contrario, el primer piso es de algún material convencional, como cemento o albañilería. Sin embargo, en los otros tres países, si bien el uso del Wood-frame también restringe la cantidad de pisos, se permite mezclar sistemas constructivos con tal de obtener la resistencia requerida. Es así, como al insertar vigas y columnas de MLE o similares como el LVL y NLT, la capacidad ante cargas estáticas y dinámicas aumenta de tal manera que sostener más niveles es posible.

En Chile, el gran problema consiste en resistir cargas producidas por movimientos telúricos, los cuales producen grandes esfuerzos de corte y momentos volcantes en los elementos de las edificaciones en altura. Es por esto que se ha optado por una construcción en base a muros de hormigón armado orientados como una espina de pescado para rigidizar la estructura.

Ahora bien, en edificios de madera la rigidización se puede llevar a cabo con distintos métodos como los especificados a continuación:

- a) Pernos de anclaje: Este sistema se usa ampliamente en Canadá, país que, pese a su baja carga sísmica, cuenta con vientos preponderantes. Estos pernos funcionan uniendo la cima del edificio con la base, pasando por dentro de las esquinas de los muros y produciendo una tracción que limita el movimiento horizontal de los niveles. Se recomienda que los pernos se anclen a una losa de hormigón en la base.
- b) Muros de corte: Este sistema es utilizado mayoritariamente en EE.UU. y Canadá. Consisten en cubrir las tablas del Wood-frame con tabiques de madera, como OSB o contrachapado y generar, en conjunto, muros rígidos que resisten mejor los esfuerzos de corte cuando actúan fuerzas laterales
- c) Uso de riostras: Al igual que en cualquier otro tipo de estructura, se pueden utilizar riostras ya sea horizontales o diagonales, teniendo un mejor desempeño las últimas. En este caso se tendrá que gran parte de la carga lateral será tomada por las riostras, por lo que eventualmente podrían resultar de mayores dimensiones que las mismas columnas. Ante estos casos es recomendable usar riostras de acero o usar riostras horizontales unidas a una estructura rígida, como en el caso del Garden Building en Melbourne, el cual está adjunto a un muro de hormigón.
- d) Núcleos rígidos: Esta solución es utilizada en prácticamente todas las edificaciones de madera en altura, ya sea con núcleos de hormigón, CLT o acero. Éstos suelen encontrarse en la caja de ascensores, escaleras o zonas con altas sollicitaciones. De esta manera, toda la estructura queda sujeta al núcleo, limitando los drift.

Los métodos recién nombrados deben ser complementados entre ellos, pues si bien en el extranjero funcionan adecuadamente, en Chile, las condiciones sísmicas son excepcionales, por lo que un solo método es insuficiente.

Cabe notar que, debido a la alta flexibilidad de la madera, las cargas horizontales pueden ser resistidas sin problemas, sin embargo, las deformaciones y “drifts” deben ser limitados para que las viviendas tengan la serviciabilidad deseada. Ante esto, en Chile la normativa permite desplazamientos de entre pisos limitados a 0.002 veces la altura del nivel pues, como se mencionó previamente, las estructuras típicas son muy rígidas por el uso de hormigón armado. Mientras que en Estados Unidos utilizan un drift más permisivo de 0.015 veces la altura de entrepisos¹⁶ calculado según las ecuaciones 2.4-2 y 2.4-3, es decir, sus estructuras se mueven 7.5 veces más que en Chile, pero no colapsan. De igual manera, Canadá permite un drift de 0.025 veces la altura de entrepisos calculado según la ecuación 2.4-1, siendo 12.5 veces mayor al usado en Chile.

Luego, en cuanto al cálculo de las capacidades resistentes de las piezas de madera en las diferentes direcciones, se tiene que, tanto en Chile como en Estados Unidos, existen similitudes en la presencia de factores de modificación a las tensiones admisibles, con la salvedad de que en el país del norte la mayoría de éstos se encuentran tabulados en dependencia de variables propias del factor de acuerdo con la NDS, mientras que en Chile tales variables se utilizan para calcular factores de modificación más bien continuos, según fórmulas presentes en la NCh. Sin embargo, pese a que el cálculo se desarrolla de manera similar, los valores entregados por las tablas norteamericanas distan bastante de los resultados de las fórmulas especificadas en la NCh.

Por su parte, las construcciones de madera en Australia destacan por su rigurosidad en métodos constructivos que ayudan a un correcto flujo de esfuerzos por medio de los elementos resistentes, los cuales, además, suelen protegerse contra los ataques del medio ambiente. Lo anterior se ve reflejado en la ilustración 14, en donde las vigas principales se constituyen por un par de vigas que se conectan a cada lado de las columnas, evitando excentricidades en el flujo de esfuerzos o aplastamiento en el cabezal de las columnas, en los casos de que el elemento se ubicara por un solo lado o sobre la columna, respectivamente. También de la misma ilustración, se aprecia la protección con hojalata en las zonas expuestas a la intemperie y por donde puede ingresar humedad a la pieza de madera, disminuyendo las capacidades resistentes y de durabilidad de ésta. En este caso, la hojalatería se encuentra en la base de los pilares, para cubrirlos de salpicaduras de lluvia, y en los cabezales de las vigas secundarias, donde el agua puede penetrar el interior de los elementos.

Con esta comparación es posible proponer una serie de medidas con las que el edificio de viviendas sociales en madera sea capaz de resistir las cargas gravitacionales y laterales. Estas medidas se especifican en el subcapítulo 4.1 sobre arquitectura y en el capítulo 5, donde se explican los métodos constructivos asimilados desde la experiencia extranjera.

¹⁶ De acuerdo con las tablas 2-6 y 9.2.2 del anexo.

4 Diseño edificio de viviendas sociales de Media Altura

4.1 Arquitectura

Para llevar a cabo este estudio, se escogió un plano de arquitectura de una obra ya construida – cortesía del SERVIU metropolitano – de un conjunto de edificios de viviendas sociales: El Condominio Vivienda Económica Pacífico Rivas III y IV, ubicado en la comuna de San Joaquín. Estos edificios se materializaron en hormigón armado, contando con cuatro departamentos por piso, en donde dos están separados por la escalera y, los pares juntos comparten el muro del living-comedor y el dormitorio principal. Ver ilustración 15.

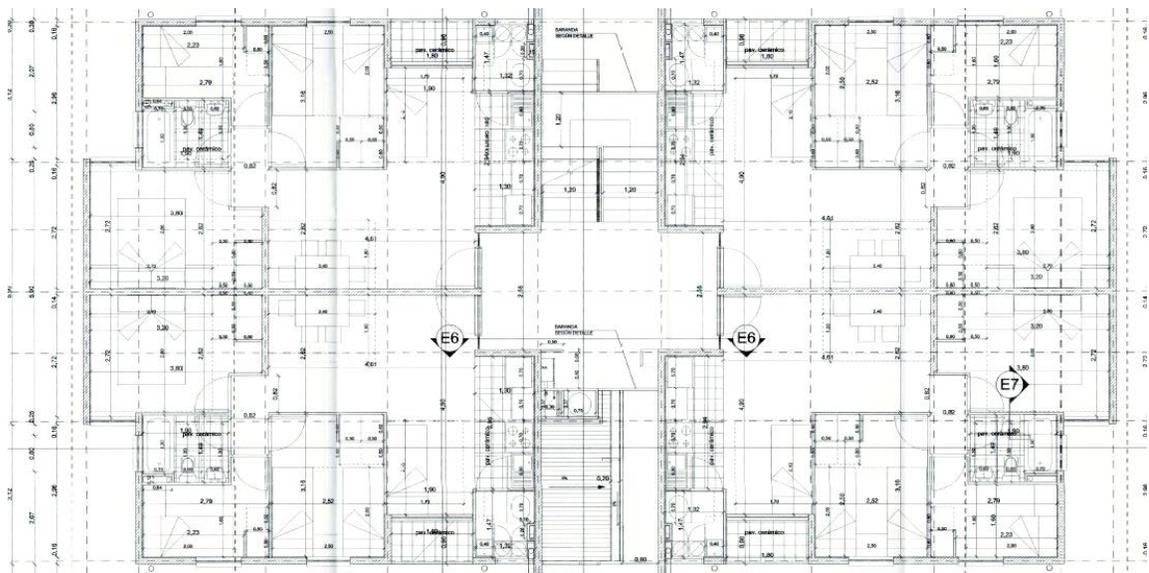


Ilustración 15, plano planta arquitectura de condominio pacífico Rivas III y IV. Gentileza SERVIU metropolitano

Las siguientes ilustraciones presentan planos aproximados de la arquitectura, en donde se cambió algunas dimensiones de habitaciones para hacer calzar los muros y tener una estructura regular.

Las ilustraciones 16, 17, 18, 19 y 20 se elaboraron usando el software AutoCad 2018®, por lo tanto, si se requiere mayor detalle de las dimensiones se recomienda revisar el archivo adjunto.

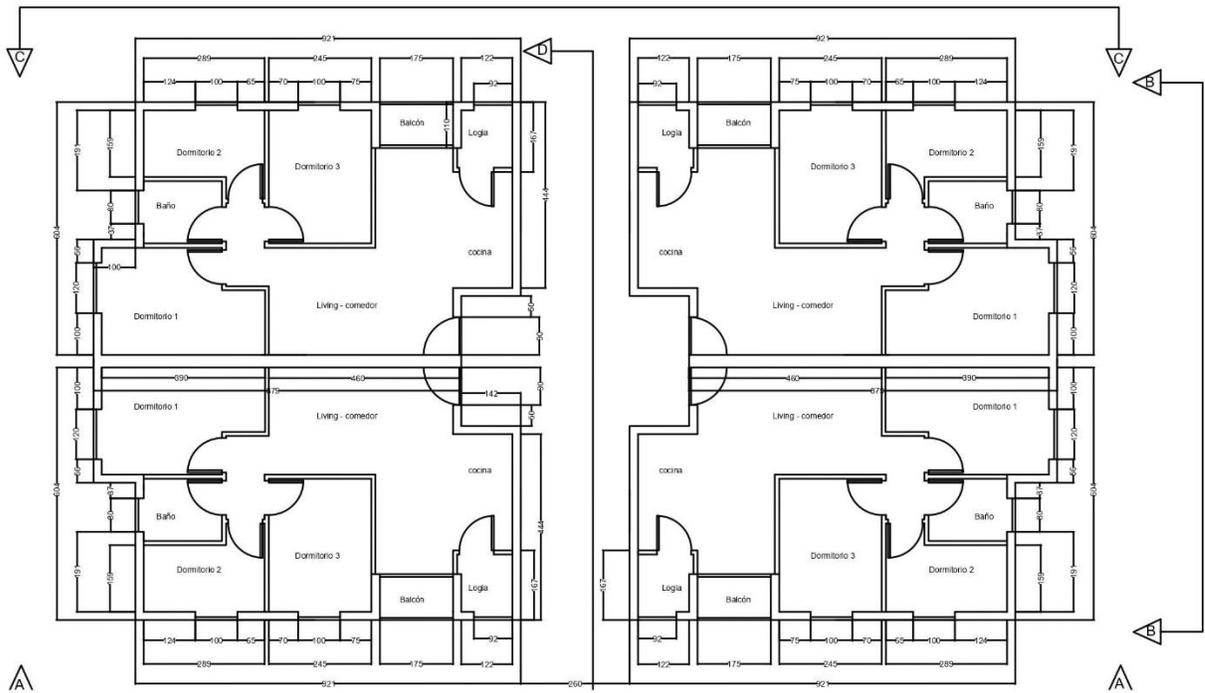


Ilustración 16, planta completa de vivienda social de estudio. Fuente: elaboración propia en base a planos del SERVIU

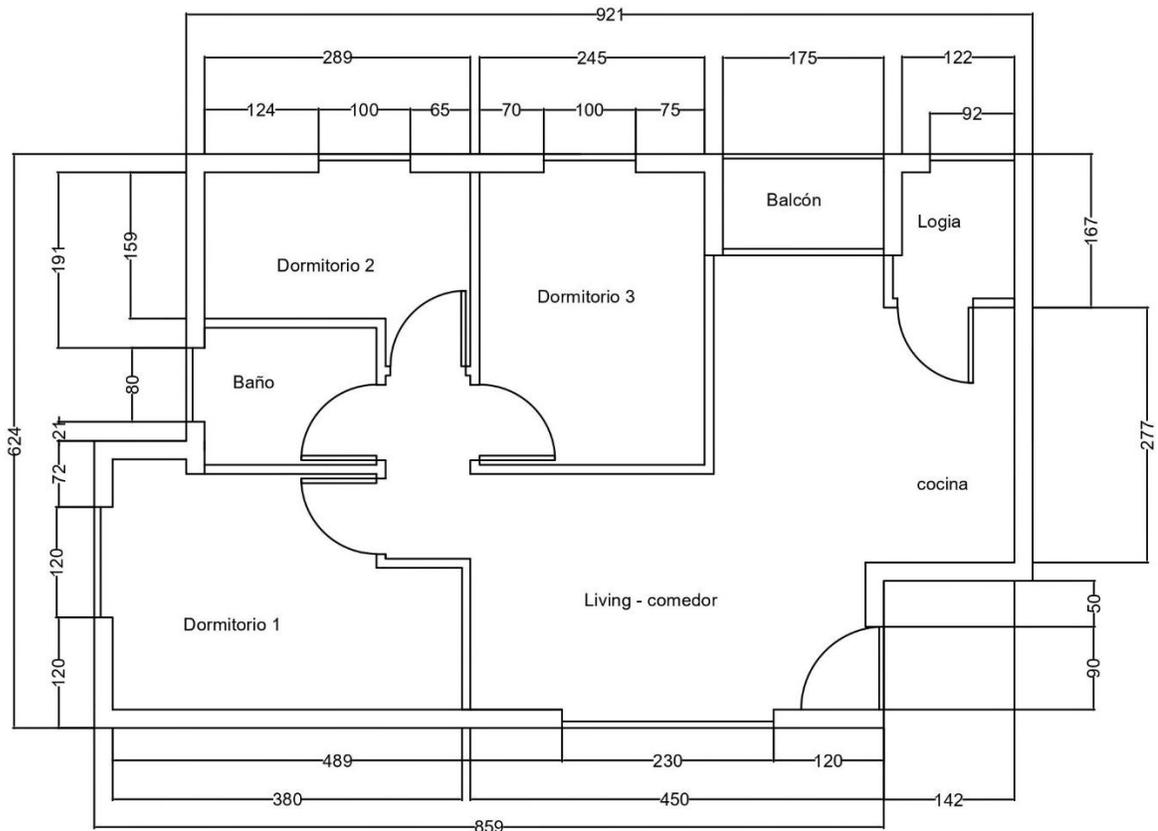


Ilustración 17, Detalle de dimensiones en planta de un departamento del edificio. Fuente: elaboración propia en base a planos del SERVIU

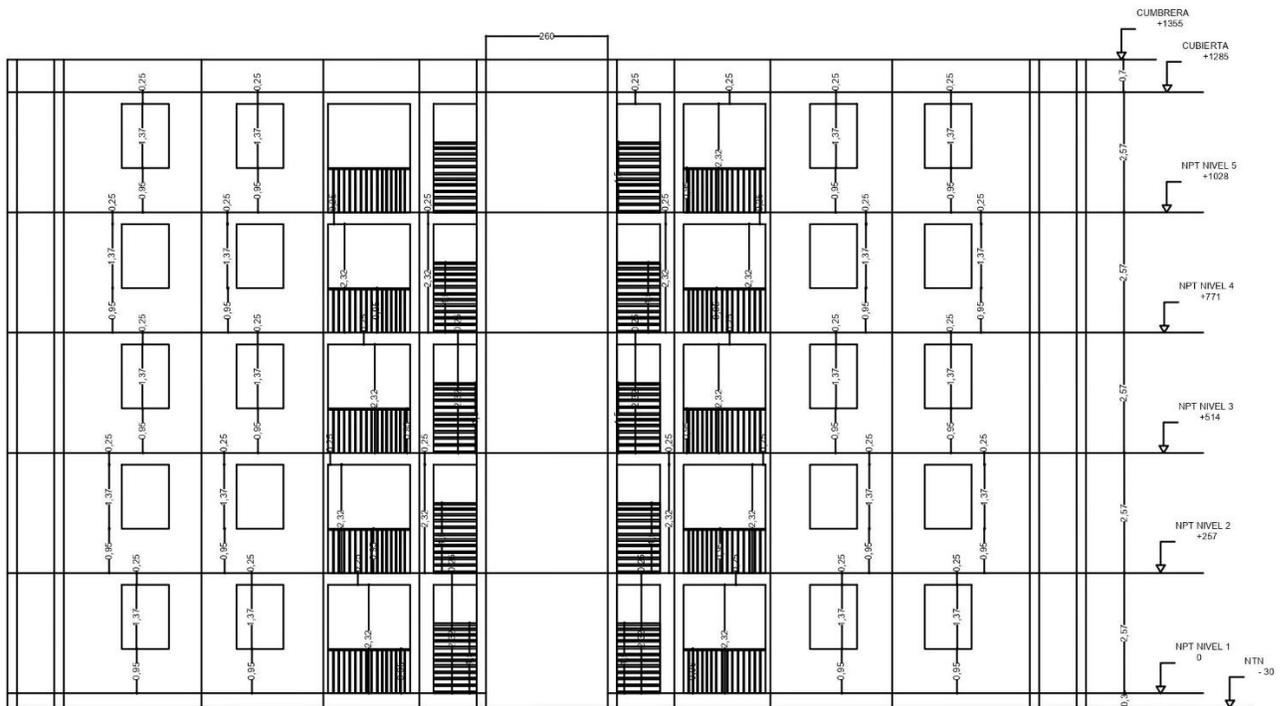


Ilustración 18, elevación cortes A y C de vivienda social de estudio. Fuente: elaboración propia en base a planos del SERVIU

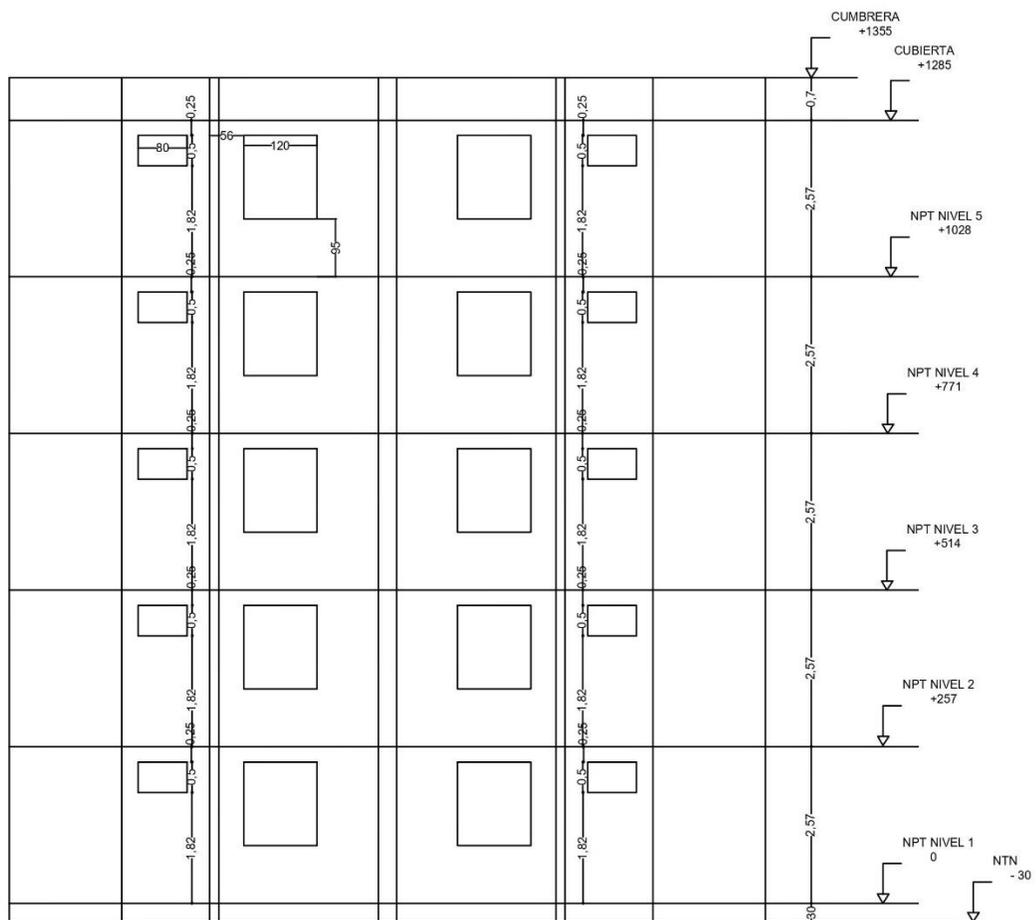


Ilustración 19, elevación corte B de vivienda social de estudio. Fuente: elaboración propia en base a planos del SERVIU

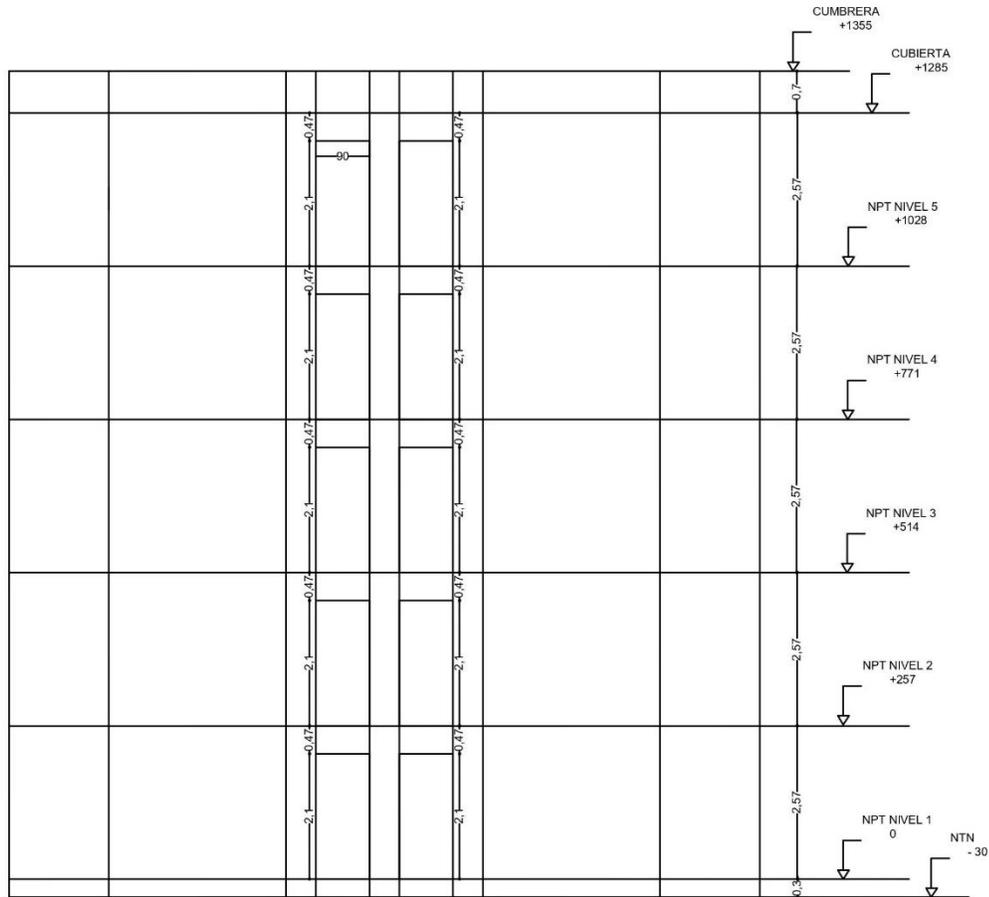


Ilustración 20, elevación corte D de vivienda social de estudio. Fuente: elaboración propia en base a planos del SERVIU

A partir de esta arquitectura se estudia el comportamiento de los elementos de madera ante las cargas estáticas y sísmicas de acuerdo con la normativa chilena y métodos constructivos extranjeros, los cuales definen una estructuración (ver sección 4.3.1).

4.2 Emplazamiento edificio

Para iniciar el diseño, es imprescindible emplazar el proyecto de edificación en una zona cercana a la obtención de la materia prima elemental, en este caso la madera. De esta manera, se disminuye el impacto ambiental por el aumento de la huella de carbono asociado al transporte del material. Además, la ciudad debe presentar un déficit de hogares, con tal de que la construcción de viviendas sociales sea necesaria. Por lo tanto, debido a que Concepción se encuentra en la región forestal del Bio Bío y, según datos del MINVU y el censo del 2017, es una de las comunas con mayor requerimiento de viviendas del país, ya sea por inmuebles en mal estado post – terremoto (irrecuperables), allegamiento y hacinamiento¹⁷, se decide estudiar el diseño estructural en esta ciudad.

Sumado a la cercanía con las forestales, aserraderos y procesadores de madera, se tienen las particularidades climáticas de la ciudad de Concepción, la cual, al encontrarse rodeada por el río

¹⁷ 5671 viviendas requeridas, según *Déficit Habitacional Cuantitativo por región, comuna y zona*, Observatorio Urbano, MINVU, 2017. Extraído desde planillas Microsoft Excel ® en <https://www.observatoriourbano.cl/estadisticas-habitacionales/>

Bio bío y el mar, es una ciudad con alta humedad, tanto en el ambiente como en el suelo. Y, ya que a mayor humedad ambiente, las capacidades resistentes de la madera se ven disminuidas y, si la calidad del suelo es precaria, las solicitaciones sísmicas horizontales se intensifican, entonces, si un edificio de cinco pisos es capaz de resistir las cargas típicas en esta ciudad, el modelo será fácilmente replicable en otras ciudades.

En cuanto a las condiciones climáticas, el Anexo D de la NCh 1198 especifica una HEH de 19% para la ciudad de Concepción, sin embargo, este es un valor calculado con la temperatura y HRA promedio anuales, por lo tanto, es muy probable que existan variaciones dentro del año. Debido a esto, se analizan las condiciones climatológicas, según los datos de cientos de centros de estudio meteorológicos agrupados por la página web www.weather-atlas.com. Ver ilustraciones 21 y 22. Con estos datos se calcula una HEH según los meses con mayor y menor humedad.

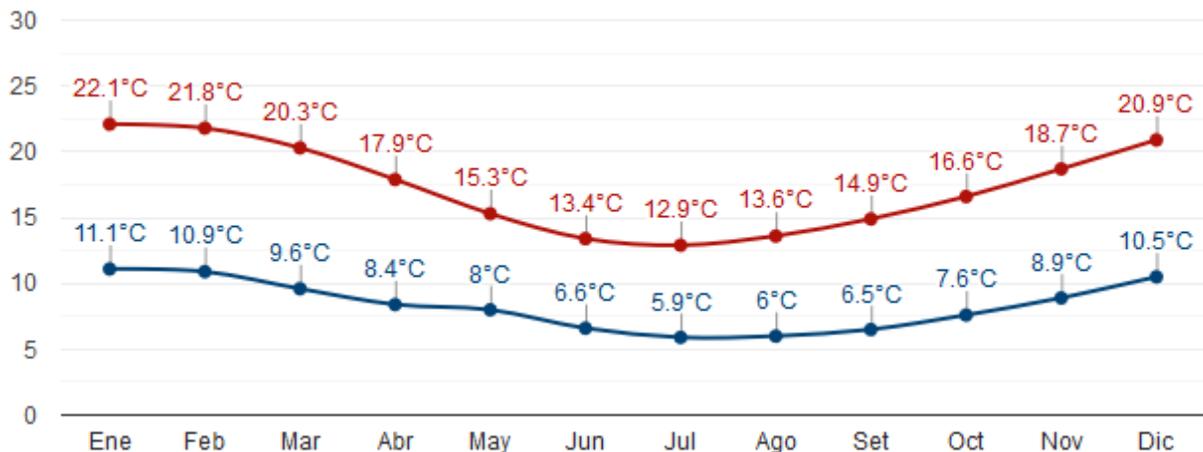


Ilustración 21, Temperatura media alta (rojo) y media baja (azul) en Concepción, Chile por mes. Extraído desde <https://www.weather-atlas.com/es/chile/concepcion-clima>

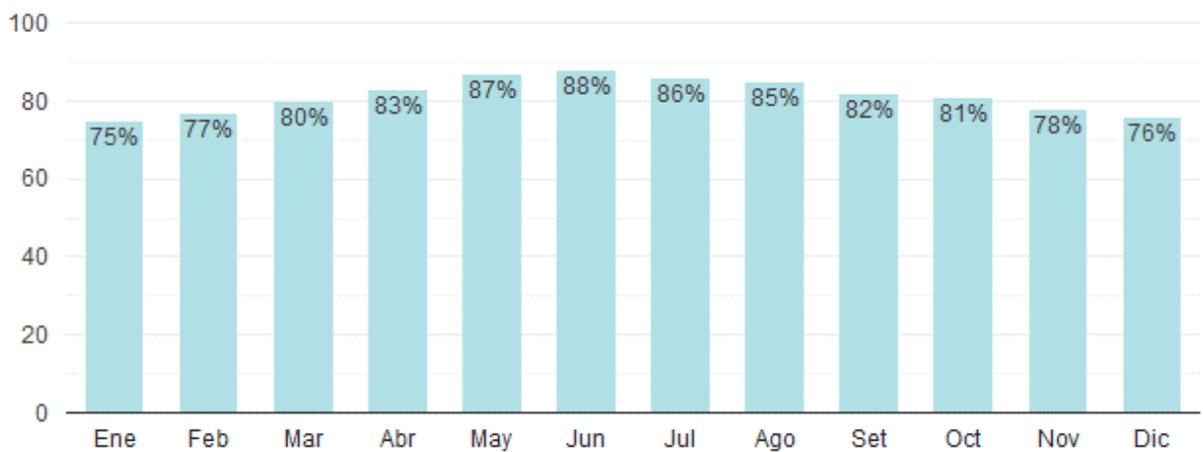


Ilustración 22, Humedad relativa del aire promedio en Concepción, Chile por mes. Extraído desde <https://www.weather-atlas.com/es/chile/concepcion-clima>

Entonces, con los datos de las ilustraciones 21 y 22 y la interpolación de éstos en el ábaco de Kollman de la Figura 2 del Anexo, se pueden obtener las humedades de equilibrio higroscópico por las que variará la madera en los meses más extremos en cuanto a humedad relativa del aire y temperatura. Ver Tabla 4-1.

Tabla 4-1, HEH según condiciones climatológicas de Concepción y el ábaco de Kollman

Mes	T° máxima promedio	T° mínima promedio	HRA [%] promedio	HEH [%] máxima	HEH [%] mínima
Enero	22,1 °C	11,1 °C	75	14,3	14,8
Junio	13,4 °C	6,6 °C	88	19,8	20
Julio	12,9 °C	5,9 °C	86	18,9	19,4
Diciembre	20,9 °C	10,5 °C	76	15,0	14,8

De la Tabla 4-1 se desprende que el contenido de humedad de los elementos de madera en Concepción varía entre un 20 % en invierno hasta un 14,3 % en verano. Por lo que la madera expuesta a la intemperie variará sus dimensiones progresivamente a lo largo del año, expandiéndose de enero a junio y contrayéndose desde julio a diciembre.

Finalmente, se debe tener en cuenta que el lugar de emplazamiento del edificio es solo para una referencia de las condiciones climáticas y en ningún caso se buscará una dirección exacta para la obra. Dicho esto, sólo se requiere un terreno amplio en donde se pueda construir un condominio de viviendas sociales con espacio suficiente para orientar óptimamente las edificaciones.

4.3 Análisis estructural en madera

4.3.1 Estructuración Tipo

En esta sección se presenta la ubicación de los elementos estructurales que resistirán las cargas estáticas y dinámicas. La ilustración 23 muestra la planta tipo que se repite en los cinco pisos.

La superestructura resistente se propone en base al estudio de las construcciones extranjeras (sección 2.4.1) y utilizando las soluciones más fáciles de adaptar en Chile como, por ejemplo, el uso de MLE (Glulam) para vigas y columnas (tal cual las estructuras de Canadá), riostras diagonales de MLE en las zonas más solicitadas (siguiendo el ejemplo del Garden Building en Melbourne) y un núcleo rígido como en todos los edificios estudiados en 2.4.1, materializado en acero. Sin embargo, debido a que el sistema columna plataforma ya fue estudiado en Chile, aquí se presenta un diafragma horizontal semi-rígido de envigados, cadenetas y riostras (especificado en 5.1.4) como solución de piso.

Finalmente, la estructura resistente está dado por las vigas, columnas y diagonales de MLE, el envigado de piso, los tableros de contrachapados y el núcleo rígido de acero en la caja escala. Estos elementos se aprecian en las ilustraciones 23, 24, 25, 26 y 27.

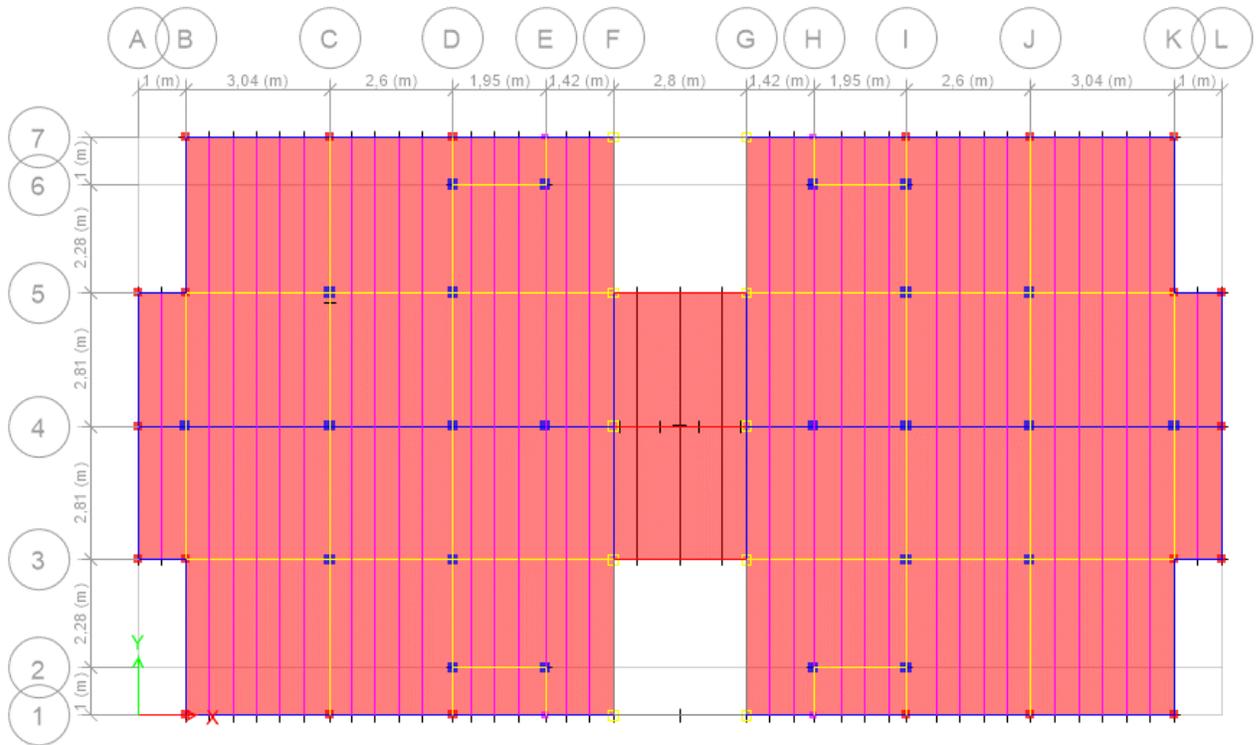


Ilustración 23, planta tipo del edificio (4 departamentos por piso). Elaboración propia usando ETABS

En la ilustración 23 se exhiben de diferentes colores los elementos estructurales. Ver tabla 4-2.

Tabla 4-2, leyenda de los colores (1) utilizados en las ilustraciones de la estructuración

Descripción	Elemento estructural y materialidad
Cuadros rojos	Columnas exteriores (MLE)
Cuadros azules	Columnas interiores (MLE)
Cuadros amarillos	Columnas núcleo de escaleras (A36)
Líneas azules	Vigas principales (MLE)
Líneas amarillas	Vigas secundarias (MLE)
Líneas burdeos y rojas	Vigas de escalera (A36)
Líneas grises	Vigas núcleo de acero (A36)
Líneas moradas	Envigado básico de piso (MA)
Área rosa	Diafragma (Tablero)

A continuación, se presentan imágenes de la estructuración del modelo computacional realizado en el software ETABS 2016, el cual entrega los esfuerzos y deformaciones de las piezas.

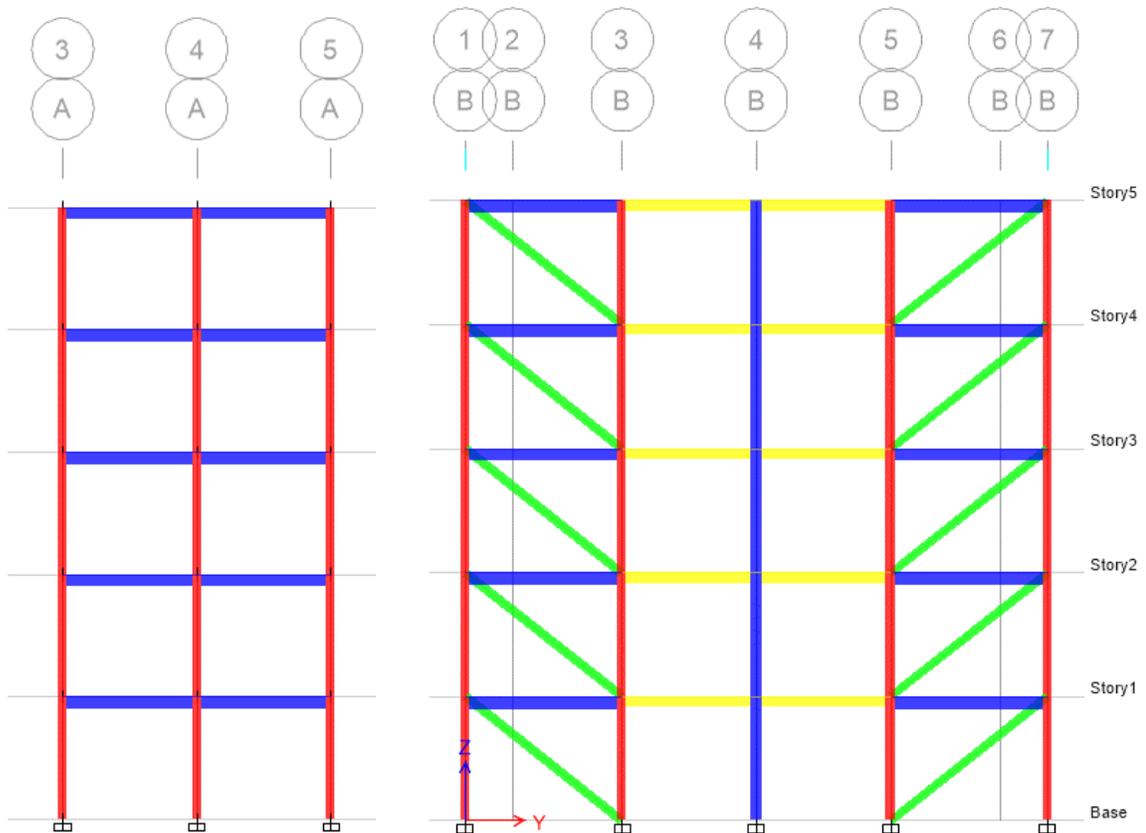


Ilustración 24, elevación eje A y B, respectivamente. A la derecha se aprecian diagonales en el "eje Y". Elaboración propia usando ETABS

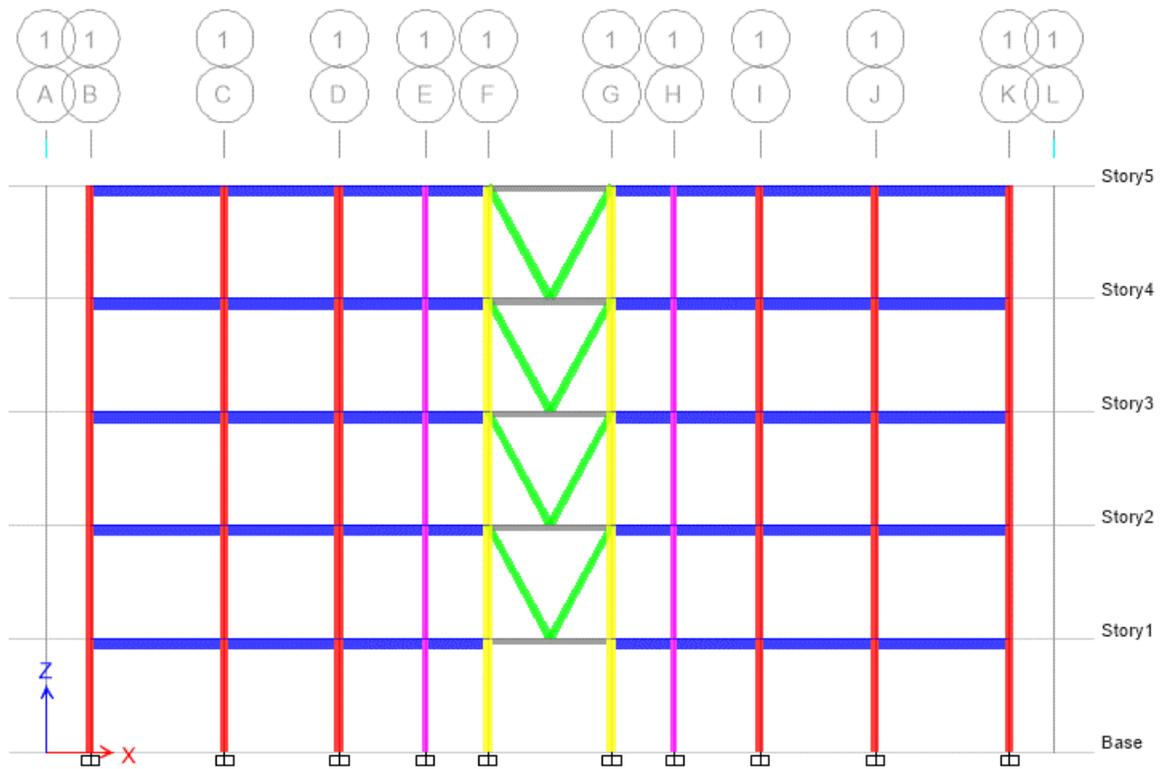


Ilustración 25, elevación del Eje 1. Elaboración propia usando ETABS

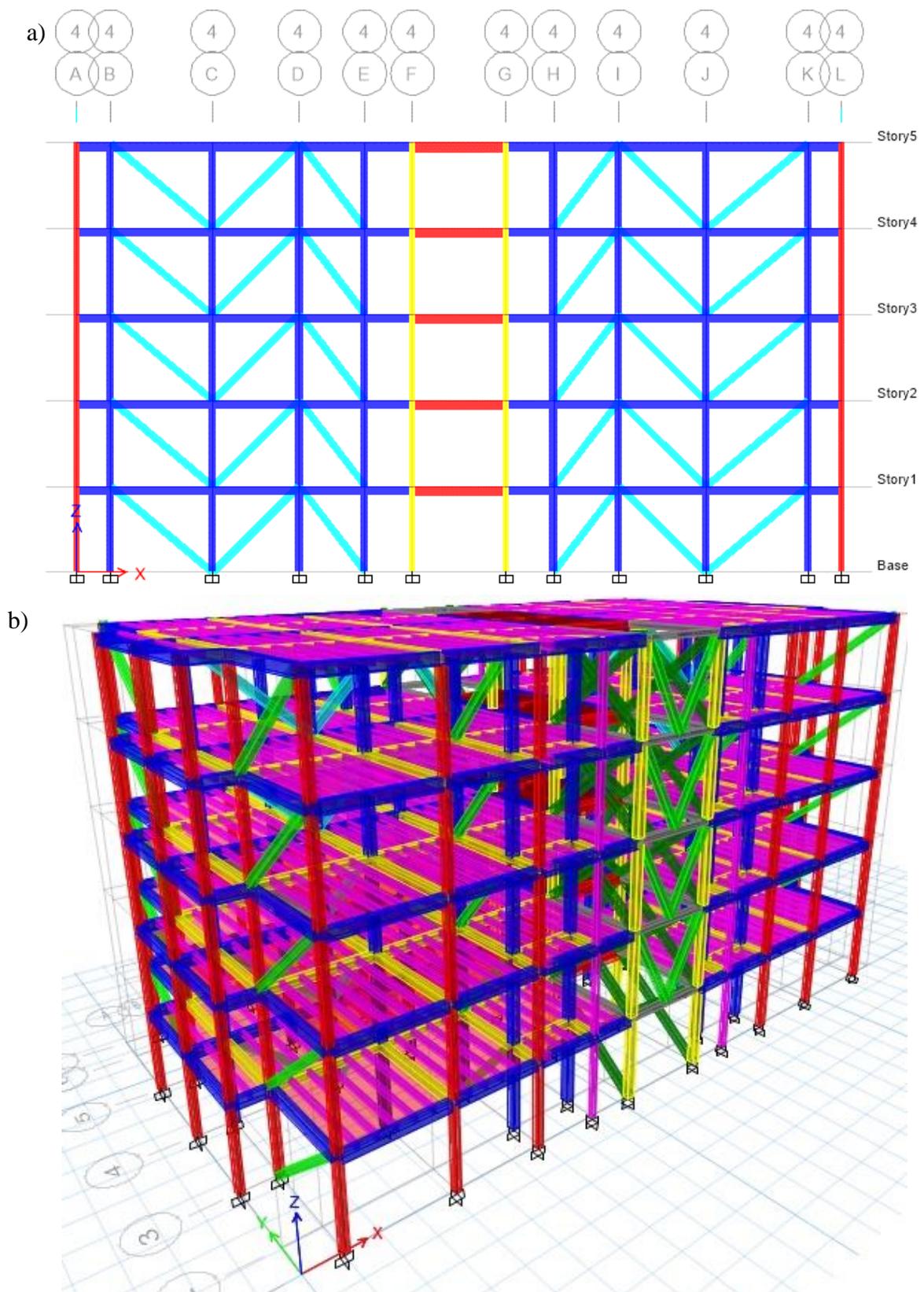


Ilustración 26, a) elevación eje 4, se aprecian las diagonales del eje X. b) elevación en 3D. Elaboración propia usando ETABS

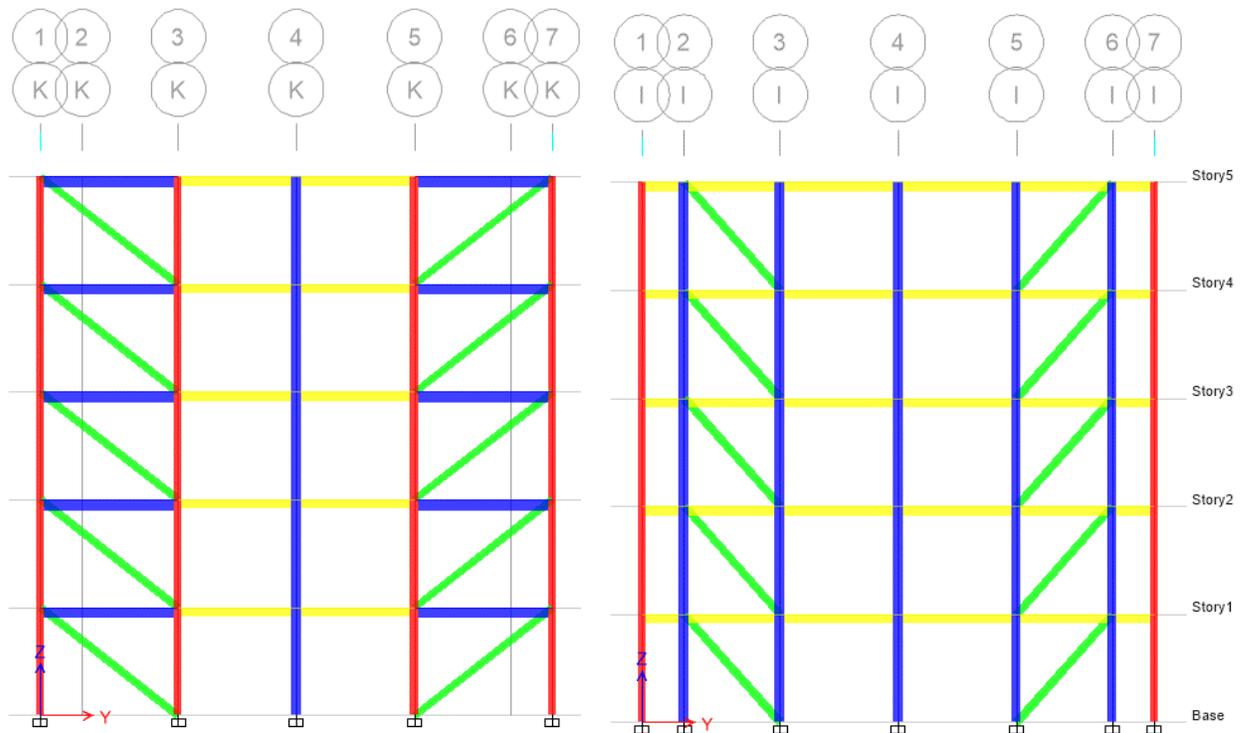


Ilustración 27, elevación K e I en donde se encuentran diagonales en el “eje Y” (simétrico a elevación B y D, respectivamente).
Elaboración propia usando ETABS

Si bien, a priori se puede disminuir la escuadría de los elementos verticales ubicados en los pisos superiores, en este caso se diseñan todos con las mismas dimensiones para evitar problemas con el cerramiento y, así, ocupar columnas de altura completa, es decir, de 12,85 metros. La leyenda de los colores utilizados en la ilustración 26 se especifica en la Tabla 4-3.

Tabla 4-3, leyenda de los colores (2) utilizados en las ilustraciones de la estructuración

Descripción	Elemento estructural y materialidad
Líneas rojas	Columnas externas (MLE)
Líneas azules	Columnas internas (MLE)
Líneas verdes claro	Diagonales en eje Y (MLE)
Líneas celestes	Diagonales en el eje X (MLE)
Línea verde oscuro	Diagonales núcleo (A36)
Líneas fucsias	Columna de balcón (MLE)

Entonces, desde la ilustración 24 a la 27 se presentan vistas en elevación y en 3D de la estructura resistente según la arquitectura propuesta de viviendas sociales. De existir dudas en cuanto a la estructuración, se recomienda revisar el archivo ETABS adjunto.

A este modelo se le asignan materiales, escuadrías iniciales y constantes elásticas de cada material, como Módulo de Young (E) y Módulo de corte (G) (ver Tabla 4-4), para obtener los esfuerzos internos en cada uno de ellos y poder diseñarlos e iterar los resultados.

Tabla 4-4, Constantes y propiedades de los materiales utilizados en la estructuración del edificio

Material	Peso específico [kgf/m ³]	E [MPa]	G[MPa]
MLE A	430	9500	600
MA G1	430	9500	600
Acero A36	7860	200000	77000
Tableros	690	9000	45

4.3.2 Pisos y pesos

Luego de correr el modelo estructural en el software ETABS 2016 con esquadrias estimadas para cada elemento, se obtienen los pesos por piso, el corte basal y periodos fundamentales por eje entre otros valores. En esta sección se analiza el comportamiento sísmico de la estructura, es decir, se aplican las fórmulas e indicaciones de la NCh 433. Debido a que el edificio tiene cinco pisos y una altura inferior a 20 metros, se utilizan las ecuaciones pertinentes al análisis estático¹⁸.

Considerando que el edificio (categoría II) en base a vigas-columnas de madera arriostradas (R=5,5) se construirá en Concepción, ciudad ubicada en la zona sísmica 3, con un suelo medianamente denso (tipo D), se tienen los parámetros de la Tabla 4-5.

Tabla 4-5, parámetros para utilizar la NCh 433 propios del edificio y su ubicación (Concepción).

Zona sísmica	3
A_0	0,4 g
Suelo	D
n	1,8
S	1,2
T'	0,85
Categoría	II
I	1
R	5,5

Tabla 4-6, pesos por piso y periodos fundamentales obtenidos en ETABS 2016.

H [m]	Piso	Peso por piso
0	Base	3.558,6 [kgf]
2,57	2	65.279,0 [kgf]
5,14	3	65.549,1 [kgf]
7,71	4	65.549,1 [kgf]
10,28	5	65.549,1 [kgf]
12,85	Techo	68.109,6 [kgf]
Peso total		333.594,36 [kgf]
Periodo fundamental x, T_x		0,354 [seg]
Periodo fundamenta y, T_y		0,300 [seg]

¹⁸ Sección 6.2.1 de la NCh433 of 1996, mod 2012 – Diseño sísmico de edificios, INN

Por lo tanto, usando las ecuaciones del subcapítulo 6.2 de la NCh 433 y adoptando los valores de la Tabla 4-5 y los resultados de la última iteración entregados por el software (Tabla 4-6), se encuentra el corte basal y las fuerzas horizontales que actuarán durante un sismo sobre el edificio en cuestión (Tabla 4-8).

Se debe aclarar que el peso por piso y total se calculan internamente por el software ETABS considerando el peso propio de los elementos más un peso muerto asignado según la Tabla 4-7.

En la Tabla 4-7 se presentan las cargas distribuidas en todos los pisos, tanto vivas como muertas. En el caso de las cargas vivas, especifica 200 y 250 [kgf/m²], pues se utiliza 200 para todas las superficies, salvo en los balcones en donde la carga aumenta en 50 [kgf/m²]. Además, para la carga de techo se considera una solución de techo a dos aguas con 30° de pendiente, tal cual especifica la sección 5.1.6, por lo que al seguir la NCh 1537 se obtiene la carga viva presente en la Tabla 4-7. Por su parte, la carga muerta se compone por una carga distribuida en las losas, en donde se considera un peso estimado de la solución de piso de la sección 5.1.4, y una carga distribuida correspondiente al peso de los distintos tipos de muros livianos que sostendrá cada viga, según las soluciones de la sección 5.1.5.

Tabla 4-7, vivas y muertas por superficie y lineales

Piso	D (carga muerta) [kgf/m ²]	L (carga viva) [kgf/m ²]
Base	40	200/250
2	40	200/250
3	40	200/250
4	40	200/250
5	40	200/250
Techo	200	30
Muros	g (carga muerta) [kgf/m]	
Cerramientos	120	
Tabiques interiores	87	
Muro divisorio	122	

tabla 4-8, Fuerzas sísmicas horizontales en ambas direcciones sobre el edificio en cuestión. Calculado según NCh 433

Piso	Altura [m]	$F_{H,x}$ [kgf]	$F_{H,y}$ [kgf]
1	2,57	14.897,9	14.897,9
2	5,14	16.979,8	16.979,8
3	7,71	20.141,2	20.141,2
4	10,28	26.248,5	26.248,5
5	12,85	65.845,1	65.845,1
Q basal [kgf]		144.112	

Pese a tener distintos periodos fundamentales en los ejes x e y, las fuerzas horizontales son iguales, pues el Coeficiente sísmico, C, llega a su máximo (0,43 de acuerdo con la NCh 433 para suelos tipos D).

4.3.3 Dimensiones de columnas y riostras

Luego de ingresar las cargas sísmicas de la sección anterior (Tabla 4-8) al software ETABS 2016, considerando una torsión accidental, éste calcula internamente los esfuerzos que sufren los elementos estructurales, según las distintas combinaciones de cargas para el método de diseño por tensiones admisibles presentes en el capítulo 9.2 de la NCh3171¹⁹.

Debido a que las cargas sísmicas en el análisis estático corresponden a fuerzas horizontales actuando sobre las masas, es decir, aproximadamente a la altura de cada piso, es que los elementos más solicitados ante movimientos telúricos son las columnas y riostras (o diagonales, en este caso). Ya que estos elementos tienden a flectarse y comprimirse a la vez por este tipo de solicitaciones, se debe también comprobar el diseño por combinación de esfuerzos de flexión y compresión. Además, cabe notar que todo elemento en compresión se debe diseñar contemplando un posible pandeo.

Por lo tanto, utilizando las fórmulas de la NCh2165²⁰ para la madera laminada encolada (MLE) y de la NCh1198²¹ para los elementos sometidos a esfuerzos combinados, se obtienen las escuadrías en MLE, de la Tabla 4-9.

Tabla 4-9, Escuadrías de elementos estructurales verticales e inclinados de Madera laminada encolada

Elemento estructural	h [mm]	b [mm]	n	Grado
Diagonales en el eje Y	185	185	5	A
Diagonales en el eje X	228	185	6	A
Columnas externas	185	185	5	A
Columnas internas	228	228	6	A
Columnas balcón	138	138	4	A

En la Tabla 4-9, las Diagonales en el eje Y son aquellas que se encuentran en los ejes B, D, I y K con un largo de 4,2 y 3,9 metros (ver ilustración 27), mientras que las diagonales en el eje X se encuentran entre departamentos en el eje 4, con largos de 3,2 - 3,66 - 3,9 metros (ver ilustración 24). Por su parte, las columnas externas son aquellas que bordean el edificio y las secundarias las que se encuentran dentro de la envolvente de éste, ambas con alturas de 2,57 metros.

Además, en la Tabla 4-9 y 4-12, h se utiliza para denominar la altura del elemento, b para el ancho o espesor, n para el número de láminas y el Grado obtenido según la NCh2150. La Tablas 4-19 muestran las solicitaciones en toneladas fuerza ([tonf]), mientras que las Tablas 4-10 y 4-11 en

¹⁹ NCh 3171 of 2010 “Diseño estructural – Disposiciones generales y combinaciones de cargas”, INN, Chile.

²⁰ NCh 2165 of 1991 “Tensiones admisibles para la madera laminada encolada estructural de pino radiata”, INN, Chile

²¹ Capítulo 8.6 de la NCh 1198 “Madera – Construcciones en madera – Cálculo”

[MPa], calculadas como las solicitaciones entregadas por ETABS en Newton [N] divididas por el área (en [mm²]) del elemento correspondiente.

Tabla 4-10, máxima solicitación en laminación Horizontal (eje fuerte) de los elementos y su tensión de diseño

Elemento estructural	Solicitación [MPa]				Tensión de diseño [MPa]			
	Compresión	Cizalle	Tracción	Flexión	Compresión	Cizalle	Tracción	Flexión
Diagonales en el eje Y	1,95	0,01	1,95	0,23	3,99	1,15	5,18	11,74
Diagonales en el eje X	5,62	0,01	5,62	0,20	7,07	1,30	6,04	14,03
Columnas externas	4,48	0,14	4,48	3,80	4,62	1,26	5,79	13,46
Columnas internas	5,53	0,15	5,53	3,43	6,00	1,30	6,04	14,03
Columnas balcón	2,11	0,08	2,11	2,84	2,72	1,15	5,18	12,22

Las Tablas 4-10 y 4-11 presentan las tensiones de diseño, resistencias calculadas según lo especificado en las fórmulas de la NCh 2165 y NCh 1198. Por otro lado, estas tablas indican que las tensiones de diseño son levemente mayores para laminación horizontal, sin embargo, en ambas direcciones la resistencia está verificada para las cargas impuestas al modelo.

Tabla 4-11, máxima solicitación en laminación Vertical (eje débil) de los elementos y su tensión de diseño

Elemento estructural	Solicitación [MPa]				Tensión de diseño [MPa]			
	Compresión	Cizalle	Tracción	Flexión	Compresión	Cizalle	Tracción	Flexión
Diagonales en el eje Y	1,95	0,00	1,95	0,00	4,19	0,83	5,18	9,45
Diagonales en el eje X	5,62	0,00	5,62	0,00	6,07	0,83	6,04	11,97
Columnas externas	4,48	0,08	4,48	2,15	4,59	0,83	5,79	11,47
Columnas internas	5,53	0,09	5,53	1,90	5,96	0,83	6,04	11,97
Columnas balcón	2,11	0,02	2,11	0,91	2,74	0,83	5,18	10,25

Finalmente, al comprobar por esfuerzos combinados, se tiene que el valor es inferior a 1 para estos elementos, pese a utilizarse las mayores solicitaciones, las cuales no necesariamente coexistirán al mismo tiempo, pues corresponden a distintas combinaciones de cargas.

4.3.4 Dimensiones de Vigas

De acuerdo con la NCh 1537²², el peso propio del envigado de piso y los resultados obtenidos del modelo estructural en ETABS 2016 se procede a diseñar las vigas maestras (principales), viguetas (vigas secundarias) y envigado de piso. Las primeras corresponden a vigas que bordean los departamentos, mientras que las secundarias se localizan dentro del perímetro del edificio, ambas diseñadas como vigas semi - empotradas a las columnas. Por su parte el envigado de piso se encarga de resistir las cargas directas de uso y transmitir las a las vigas principales y secundaria. Ésta última se diseña como una viga simplemente apoyada.

²² NCh 1537 of 2009 “Diseño estructural – Cargas permanente y cargas de uso”, INN, Chile.

En la Tabla 4-12 se presentan las escuadrías óptimas, obtenidas del diseño según la NCh 2165 y NCh 1198, para los diferentes tipos de vigas ya nombradas.

Tabla 4-12, escuadrías para las vigas

Material	Elemento estructural	h [mm]	b [mm]	n	Grado
MLE	Viga principal	266	185	7	A
MLE	Viga secundaria	228	185	6	A
MA	Envigado de piso	165	90	-	G1

Al usar las escuadrías de la tabla 4-12 y las fórmulas la NCh 2165 y 1198, se obtienen los resultados de las tensiones de diseño expresadas en las tablas 4-13 y 4-14, las cuales son mayores a las solicitaciones impuestas en tales vigas.

Tabla 4-13, solicitaciones y tensiones de diseño para vigas entorno al eje fuerte

Elemento estructural	Solicitación [MPa]				Tensión de diseño [MPa]			
	Compresión	Cizalle	Tracción	Flexión	Compresión	Cizalle	Tracción	Flexión
Viga principal	2,86	0,68	2,86	6,42	7,85	1,26	5,79	13,64
Viga secundaria	0,78	0,41	0,78	5,21	7,21	1,26	5,79	13,46
Envigado de piso	0,52	0,18	0,77	3,8	5,05	0,958	4,93	10,8

Tabla 4-14, solicitaciones y tensiones de diseño para vigas entorno al eje débil

Elemento estructural	Solicitación [MPa]				Tensión de diseño [MPa]			
	Compresión	Cizalle	Tracción	Flexión	Compresión	Cizalle	Tracción	Flexión
Viga principal	2,86	0,300	2,86	1,95	6,93	0,83	5,79	11,47
Viga secundaria	0,78	0,22	0,78	1,90	6,40	0,83	5,79	11,47
Envigado de piso	0,52	0,07	0,77	2,31	2,07	0,88	4,93	10,83

Además, las vigas son propensas a sufrir deformaciones elásticas permanentes y con el paso del tiempo (creep), por lo que para una correcta serviciabilidad se debe controlar que las deformaciones verticales no superen las presentadas en la Tabla 2-2.

Tabla 4-15, deflexiones instantáneas, diferidas en el tiempo (creep) y permitidas

Elemento estructural	Y [mm]	Creep [mm]	Luz [mm] ²³	Permitido [mm]
Viga principal	1,59	1,76	3040	8,44
Viga secundaria	5,68	7,49	3040	8,44
Envigado de piso	4,27	6,60	3280	9,11

²³ Luz más larga del elemento, con tal de considerar la situación más desfavorable.

Por su parte, la Tabla 4-15 presenta las deformaciones instantáneas, creep (deformación en el tiempo) y permitidas, notando que ni siquiera el creep es capaz de sobrepasar las deflexiones límites. La deformación por creep se da cuando las cargas gravitacionales permanentes son superiores al 50% de las cargas totales sobre las vigas.

4.3.5 Deformaciones dinámicas

Como ya se nombró, las solicitaciones sísmicas tienen gran importancia en Chile y, si bien la madera tiene una alta resistencia a la compresión y flexión, tiende a deformarse bastante debido a su bajo módulo de elasticidad. Es por esto que se consideran riostras tipo diagonales en ambas direcciones para limitar estos drifts, además de un núcleo de acero para la caja escala, siguiendo las recomendaciones de la experiencia extranjera estudiada en el capítulo 2 y 3.

Con esto se reduce las deformaciones de tal manera que se tienen los siguientes drift de entre piso entregados el software.

Tabla 4-16, deformaciones por piso y drift de entrepiso para el eje X, según normas de Canadá, EEUU y Chile

PISO	$\delta_{max,piso}$ [mm]	Drift "según Canadá" [mm]		Drift "según EEUU" [mm]		Drift "según Chile" [mm]	
		Actual	Permitido	Actual	Permitido	Actual	Permitido
5	18,31	15,29	64,25	14,30	38,55	3,97	5,14
4	14,34	14,02	64,25	13,11	38,55	3,64	5,14
3	10,70	13,59	64,25	12,71	38,55	3,53	5,14
2	7,17	13,25	64,25	12,39	38,55	3,44	5,14
1	3,73	14,35	64,25	13,42	38,55	3,73	5,14

En las Tabla 4-15 y 4-17, al hablar del “drift según...” se refiere a la norma que se aplica en cada país y que se precisó en el capítulo 2 para cada uno de ellos. La columna de $\delta_{max,piso}$ entrega el valor del desplazamiento máximo que sufre tal piso con respecto a la vertical, medida desde la base del edificio y entregada por el software ETABS. En cuanto al Drift actual, el cálculo se lleva a cabo con datos del piso de la fila en cuestión con el que está inmediatamente debajo.

Tabla 4-17, deformaciones por piso y drift de entrepiso para el eje Y, según normas de Canadá, EEUU y Chile

PISO	$\delta_{max,piso}$ mm	Drift "según Canadá" [mm]		Drift "según EEUU" [mm]		Drift "según Chile" [mm]	
		Actual	Permitido	Actual	Permitido	Actual	Permitido
5	16,49	17,95	64,25	16,79	38,55	4,66	5,14
4	11,83	15,23	64,25	14,24	38,55	3,96	5,14
3	7,88	13,47	64,25	12,60	38,55	3,50	5,14
2	4,38	10,36	64,25	9,69	38,55	2,69	5,14
1	1,69	6,49	64,25	6,07	38,55	1,69	5,14

Para el cálculo de los drift actuales se usaron las ecuaciones 2.4-2 y 2.4-3, además de las tablas 2-4 y 9-1 (anexo) para el caso de Estados Unidos, con un 0,015h de drift permitido (riesgo III, según ASCE). Para Canadá, se utilizó la ecuación 2.4-1, la tabla del anexo 9-2 y un 0,025h como drift permitido. Mientras que, para Chile, se utilizó un drift actual calculado como la diferencia entre desplazamientos máximos por piso y un 0,002h para el drift permitido, de acuerdo con la sección 2.3.2 de este trabajo de título.

De las tablas 4-16 y 4-17 se desprende que, justamente es el eje X el que más desplazamientos sufre durante un sismo. Esto pues cuenta con arriostramientos menos rígidos y la masa traslacional por metro lineal es mayor. Sin embargo, en ningún caso se exceden los drift permitidos por ninguna norma.

4.3.6 Rigidización

Luego de procesar el modelo estructural en el software ETABS 2016 y utilizar las fórmulas de la NCh 2165 y 1198 para encontrar las escuadrías resistentes de las Tablas 4-9 y 4-12, se deben considerar que las conexiones entre elementos sean capaces de satisfacer tanto las reacciones en los encuentros, como también de replicar los grados de libertad del modelo (sección 4.3.7). De esta forma, la estructura se comportará similarmente al modelo computacional ante movimientos telúricos típicos. Pero ¿Qué pasará frente a sismos excepcionales? Es sabido que Chile, al encontrarse en la convergencia de dos placas tectónicas, presenta una alta probabilidad de sufrir terremotos de gran envergadura, por lo tanto, para asegurar una estructura rígida, resistente y capaz de disipar la energía de grandes fuerzas horizontales, se agregan algunos elementos estructurales de acuerdo con las recomendaciones de la OGUC y experiencia extranjera. Éstos son los siguientes:

4.3.6.1 Núcleo de acero

Para la caja de escaleras, se diseña un núcleo rígido de acero, el cual forma parte de los departamentos al introducir las columnas y riostras (dirección Y) de A36 dentro del cerramiento de los departamentos. Las dimensiones propuestas para la estructura de escaleras son las de la Tabla 4-18, aunque pueden reemplazarse por elementos de inercia y capacidad axial similar. En las ilustraciones 30, 31 y 32, se observan en amarillo y verde, las columnas y riostras de acero, respectivamente.

No se diseña la escalera como tal, sino más bien la estructura de la caja escaleras que rigidiza la estructura de madera a los movimientos horizontales causados por los eventuales sismos.

Tabla 4-18, dimensiones de los perfiles de la estructura de acero para caja escaleras

Elemento	Perfil	H _w [mm]	B _f [mm]	e (t _w)[mm]	t _f [mm]
Diagonales A36	Cuadrado 200x200x10	200	200	10	-
Columnas A36	Cuadrado 200x200x10	200	200	10	-
Vigas estructura A36	Cuadrado 150x150x10	150	150	10	-
Vigas escalera A36	H 300x300x25x18	300	300	18	25
Vigas escalera A36	H 250x250x25x18	250	250	18	25

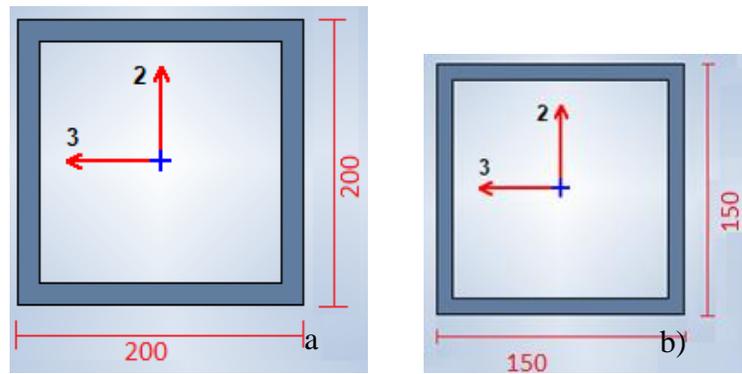


Ilustración 28, perfiles del núcleo rígido. a) columnas y diagonales; b) vigas de estructura

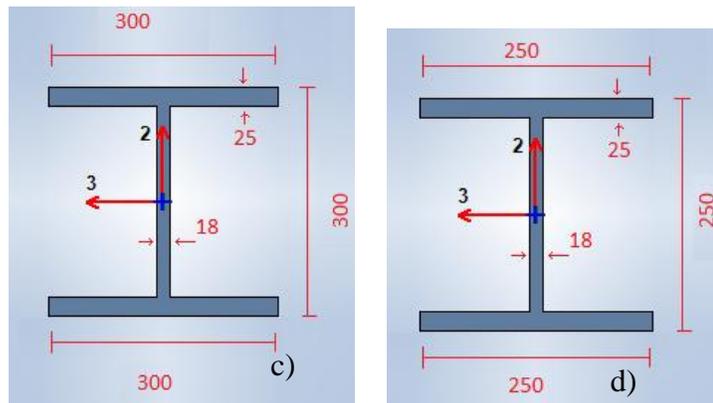


Ilustración 29, perfiles de la estructura de escalera.

Las conexiones entre estos perfiles de acero también quedan propuestas. En este trabajo de título se trabajará como si se conectaran por medio de soldaduras in-situ.

Además, los perfil H se disponen con el eje 3 (local, según ilustración 29) direccionado verticalmente, es decir, los perfiles rotados en 90 grados, puesto que las máximas sollicitaciones provienen de movimientos telúricos y son justamente estas vigas las responsables de traspasar las cargas de un lado del edificio al otro y, dado que los esfuerzos máximos son horizontales (momentos y cortantes) y no verticales (desde cargas gravitacionales), se acomoda el eje fuerte de cara a estas sollicitaciones.

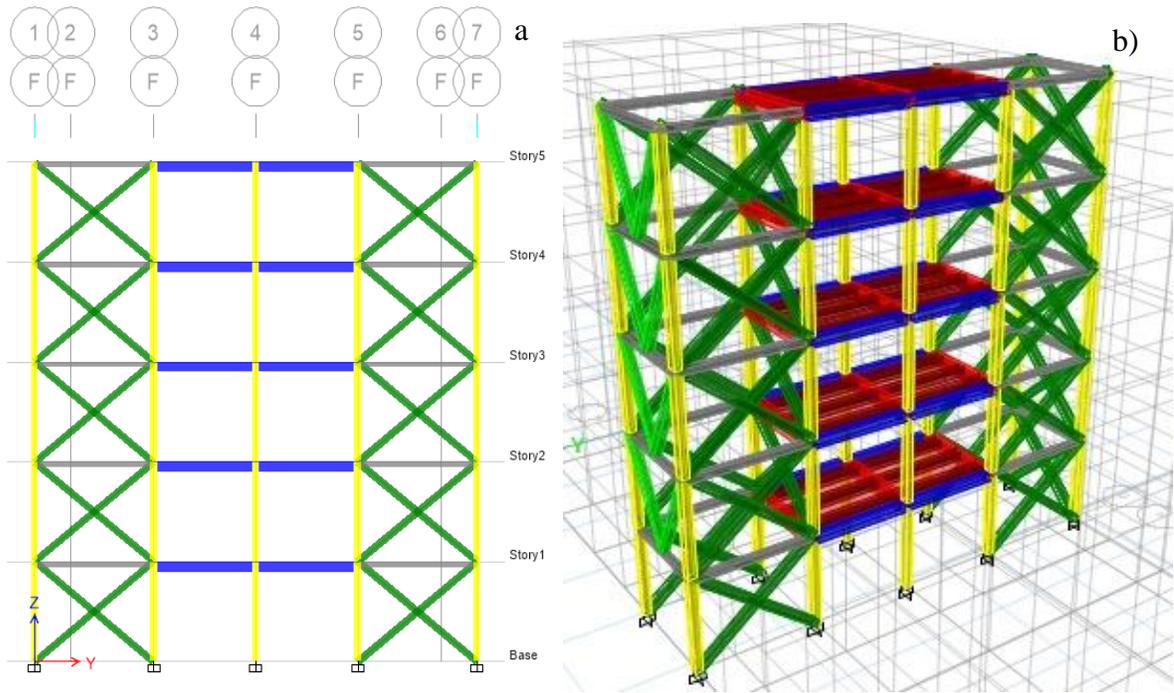


Ilustración 30, a) elevación F o G del núcleo de acero b) vista en 3D en donde se aprecia el núcleo rígido.

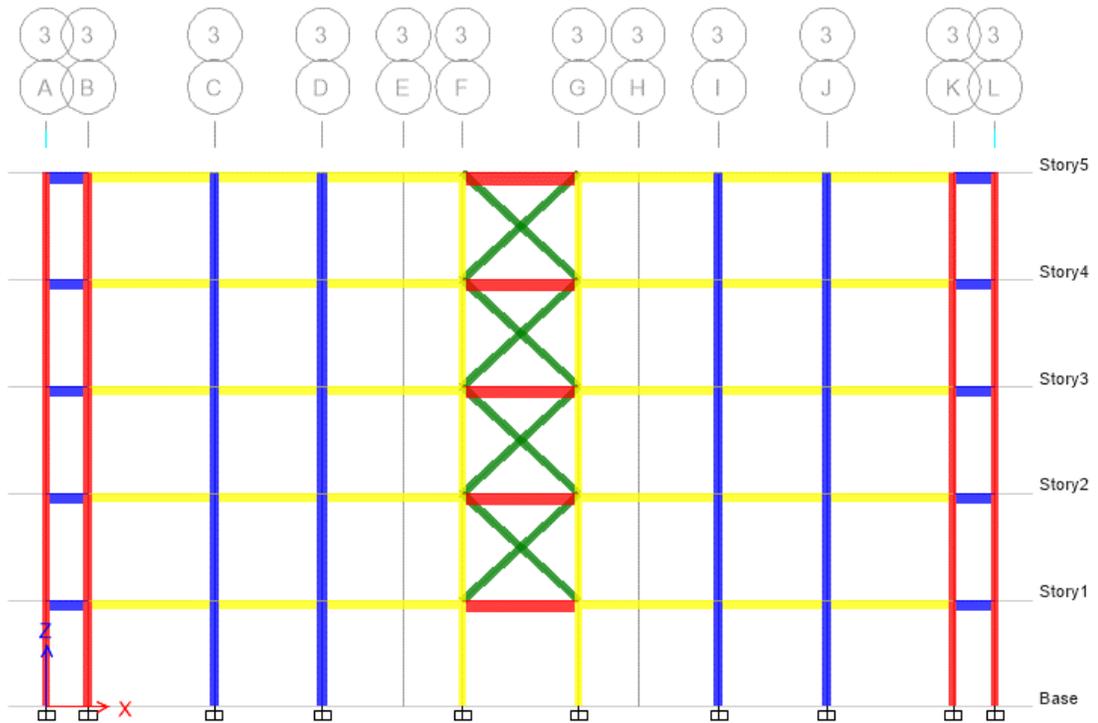


Ilustración 31, elevación eje 3. Núcleo de acero: en verde - riostras de acero; líneas verticales amarillas - las columnas de acero; líneas horizontales rojas - perfiles de acero.

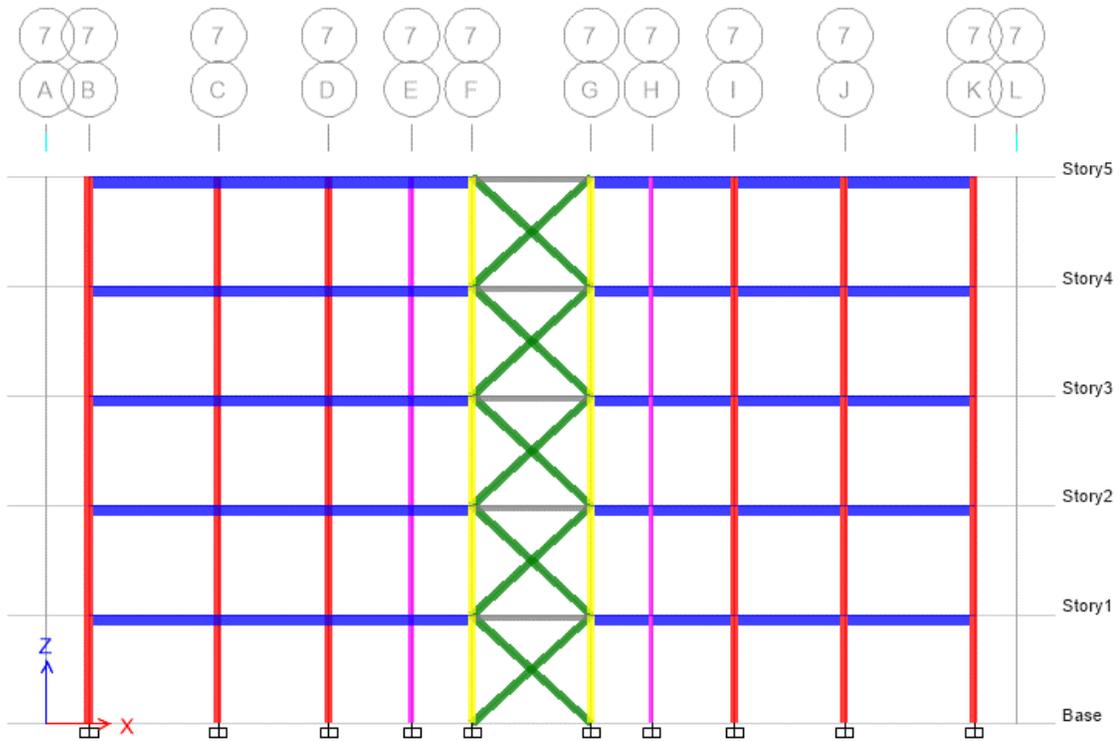


Ilustración 32, elevación eje 7. Núcleo de acero: en verde - riostras de acero; líneas horizontales grises - vigas de acero; líneas verticales amarillas - columnas de acero.

4.3.6.2 Tabiques

Muros de corte: Al igual que en Canadá y Chile, se deben implementar paneles contrachapados o de OSB rigidizando los pies derechos por ambos lados de las piezas. Estos separarán las distintas habitaciones, los departamentos entre sí y el cerramiento del edificio. Además, estos diafragmas verticales no fueron considerados en el modelo computacional como elementos resistentes, si no sólo como pesos sobre las vigas (Tabla 4-7), por lo que los tabiques, tal cual se considera en los edificios de Canadá y EEUU, suman un soporte adicional a la estructura al ayudar a distribuir y resistir esfuerzos de corte.

Tanto para los tabiques de entre departamentos, como para el cerramiento, se deben contemplar rellenos con materiales aislantes de sonido y temperatura, entre los pies derechos (ver capítulo 5).

4.3.7 Cálculo de conexiones

Ya se han diseñado los elementos resistentes de la estructura, pero una gran limitante para las construcciones en madera son las conexiones, pues éstas condicionan las dimensiones de los maderos al exigir separaciones mínimas entre conectores y a los bordes.

Para esta edificación se consideran conexiones con pernos y barras de acero de alta resistencia (sobre 310 MPa de fluencia) y herrajes de acero, de los cuales se consideran espesores de 6 [mm] para placas laterales y de 8 [mm] para placas centrales (insertas en los maderos).

El alcance del cálculo de las conexiones para este trabajo de título se limita a encontrar el tipo y cantidad de conectores que requieren los maderos para unirse y traspasar las cargas hasta la fundación. Sin embargo, el diseño de los herrajes se deja propuesto, sólo deben ser capaces de resistir las solicitaciones y tener las dimensiones de los orificios y separaciones calculadas (considerando tolerancias). Además, se consideran las máximas solicitaciones, por lo que las conexiones pueden ser optimizadas al utilizar las solicitaciones por pieza específica.

Tabla 4-19, Solicitaciones máximas en piezas. Valores entregados por software ETABS 2016

		P [tonf]	V2 [tonf]	V3 [tonf]	M2 [tonf m]	M3 [tonf m]
1	Viga primaria (MLE)	14,37	2,28	1,00	0,30	1,43
2	Viga secundaria (MLE)	3,34	1,18	0,62	0,25	0,85
3	Diagonales eje Y (MLE)	5,84	0,02	0,00	0,00	0,03
4	Diagonales eje X (MLE)	16,42	0,03	0,00	0,00	0,03
5	Columnas exteriores (MLE)	15,63	0,33	0,19	0,23	0,41
6	Columnas internas (MLE)	29,33	0,54	0,33	0,38	0,69
7	Columnas balcón (MLE)	4,11	0,10	0,03	0,04	0,13
8	Envigados de piso (MA)	0,77	0,19	0,11	0,05	0,15

De la Tabla 4-19 se tiene que la denominación P es para carga axial, mientras que V y M para las solicitaciones de cizalle y momento, respectivamente. Notando que el eje 2 corresponde a un eje Y local de la pieza (vertical en el plano transversal) y el eje 3 a un eje X local de la pieza (horizontal en el plano transversal).

Las conexiones a diseñar son: columna MLE – Vigas MLE; Columna MLE – Diagonales MLE – Vigas MLE; Vigas MLE – Vigas MA; Columnas MLE – Fundación. Para esto se utilizan las fórmulas presentes en el capítulo 10 de la NCh 1198 para conexiones mecánicas.

4.3.7.1 Columna MLE – Vigas MLE

Las columnas de MLE, tanto interiores como exteriores, reciben entre dos y cuatro vigas de MLE, ya sean primarias o secundarias. Las vigas transmiten esfuerzos de cizalle en torno a los ejes 2 y 3, tracción y compresión, en donde sólo V2 se produce a carga estática. Los demás esfuerzos se producen ante carga dinámica de sismo, por lo tanto, se pueden mayorar las resistencias en el uso de K_D (factor de modificación por tiempo de carga. 1,33 ante sismo).

A continuación, se presentan las cargas que recibe (en [N]) la columna y vigas, y cuáles serán los elementos a unir. Para esta estructura se prefieren barras de acero para conectar la pieza solicitante y pernos para la pieza solicitada.

Tabla 4-20, diseño de conexión de Viga primaria a columna MLE

Viga primaria a columna MLE		D [pulg.]	# Conect.	# hileras	Resiste [N]	Solicita [N]
Viga primaria	Solicitante	Barras de acero				
	a corte (V2)	5/8"	3	3	50.966	22.354
	a axial (P)	5/8"	3	3	156.124	140.855
Columna MLE	Solicitada	Pernos de anclaje ASTM A325				
	a corte (V2)	½"	3	2	23.599	22.354
	a corte (V3)	½"	2	2	16.824	9.839
	a axial (P)	¾"	2	3	146.524	140.855

Las solicitudes de la última columna de la Tabla 4-20, son idénticas a las de la fila 1 de la Tabla 4-19, pero en Newton ([N]). Además, para cada pieza, solicitante y solicitada, se utiliza la condición de conexión más conservadora, es decir, la que tenga el mayor diámetro y cantidad de pernos.

Por lo tanto, la placa en la viga primaria se diseña con 3 hileras de 3 conectores cada una de 5/8" en la dirección de la fibra. Mientras que a la columna solicitada le bastan 3 conectores de ½" en dos hileras para resistir las solicitudes de cizalle.

Por su parte, esta conexión se diseña como un herraje anclado con pernos a la columna (cizalle simple), el cual cuenta con una aleta (placa) que se conecta en el centro de las vigas primarias (cizalle doble) por medio de barras de acero que se apernan en sus extremos. Esta placa debe considerar las separaciones mínimas a los bordes y entre conectores de acuerdo con las disposiciones de la NCh 1198. Notar que, durante un sismo las cargas oscilan en ambos sentidos, por lo tanto, se diseña con los dos bordes cargados cuando se conecta en la altura (h) de la viga.

Tabla 4-21, dimensiones mínimas de las escuadrías para conectar Vigas primarias a Columna de MLE.

Viga primaria a columna MLE		Dimensión cargada	Bordes cargados	S_p/S_{bc} [mm]	Dimensión mínima	Cumple	
Viga primaria	Solicitante	3 barras de acero de 5/8" por 3 hileras					
b [mm]	185	(V2)	h	2	60/60	240	SI
h [mm]	266	(P)	L	2	110/110	660	Si
Columna MLE	Solicitada	2 pernos de ½" por 3 hileras					
b [mm]	228	(V2)	L	0	85/85	170	SI
h [mm]	228	(V3)	b	2	50/50	200	SI

S_p es la separación que debe existir entre conectores y S_{bc} al borde cargado. Cuando la dimensión cargada sea L, la separación al borde y entre conectores es de 7D (siete veces el diámetro), mientras que cuando es h o b el borde cargado, la separación es de 4D al borde y entre conectores y de 2D a bordes descargados. Los valores se aproximan al múltiplo de 5 ([mm]) más cercano.

Finalmente, para resistir la tracción y compresión en la viga, el herraje se diseña anclándolo a las 4 caras de la columna de MLE, por lo que, dependiendo de la cantidad de vigas que se conecten al poste, será la cantidad de aletas (placas) que se le agreguen para unirlos.

Por otro lado, las columnas de MLE también reciben vigas secundarias, las cuales también se deben conectar usando el herraje de 4 caras descrito anteriormente y presente en la ilustración 33. El diseño de resistencia y de separación de conectores se aprecia en las Tablas 4-22 y 4-23.

Tabla 4-22, diseño de conexión de Viga secundaria a columna MLE

Viga secundaria a columna MLE		D				
		[pulg.]	# Conect.	# hileras	Resiste [N]	Solicita [N]
Viga secundaria	Solicitante	Barras de acero				
	a corte (V2)	½"	3	2	22.086	11.564
	a axial (P)	½"	2	3	69.747	32.761
Columna MLE	Solicitada	Pernos de anclaje				
	a corte (V2)	½"	3	2	22.891	11.564
	a corte (V3)	½"	2	2	11.384	6.076
	a axial (P)	5/8"	2	3	51.764	32.761

Tabla 4-23, dimensiones mínimas de las escuadrías para conectar Vigas secundarias a Columna de MLE.

Viga secundaria a columna MLE			Dimensión cargada	Bordes cargados	S_p/S_{bc} [mm]	Dimensión mínima	Cumple
Viga secundaria	Solicitante	3 barras de acero de ½" por 2 hileras					
b [mm]	185	(V2)	h	2	50/50	200	SI
h [mm]	266	(P)	L	2	85/85	425	Si
Columna MLE	Solicitada	2 pernos de ½" por 3 hileras					
b [mm]	185	(V2)	L	0	85/85	170	SI
h [mm]	185	(V3)	b	2	50/50	150	SI

Como es posible apreciar en las tablas 4-20, 4-21, 4-22 y 4-23, las uniones a la columna solicitada están determinadas por las cargas axiales, compresión y tracción. Sin embargo, esta solicitación debe ser resistida por las caras laterales de la columna con respecto a la unión con la viga, es decir, la cara de la columna que se une a la viga secundaria tendrá los pernos resistentes a la carga axial de la viga primaria (3/4") y viceversa (cara de columna hacia la viga primaria tendrá pernos de 5/8"), por lo que las resistencias al cizalle en las caras de las columnas queda sobredimensionado para los pernos. Para un mejor entendimiento de cómo se debe materializar esta conexión se presentan las siguientes ilustraciones realizadas en el software Autocad ®.

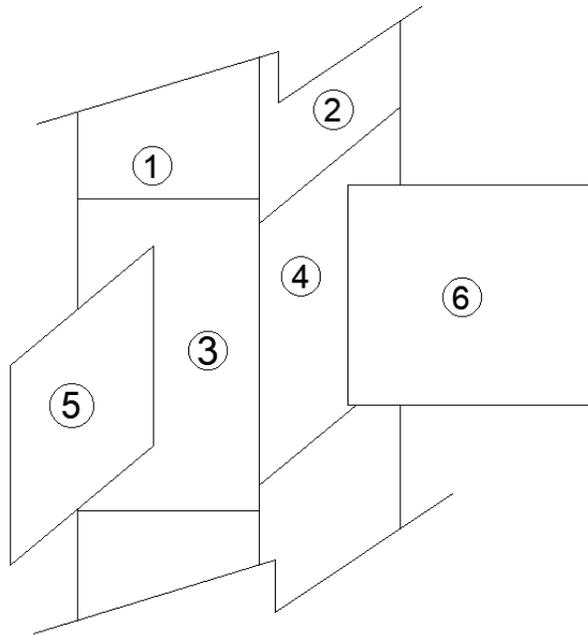


Ilustración 33, herraje de conexión de vigas MLE a columna de MLE. Elaboración propia usando Autocad 2018

En la ilustración 33 se aprecian dos caras de una columna de MLE (1 y 2 en círculos), dos caras del herraje (3 y 4 en círculos) y dos placas o aletas de acero (5 y 6 en círculos). En este caso, se considera que las dos caras faltantes de la columna son simétricas a las que se ven en esta ilustración. Cabe mencionar que la cara que tiene los números pares corresponde a la cara de la columna que está conectada a una viga primaria de MLE (185 x 266 [mm]), mientras que la cara con números impares se conecta a la viga secundaria de MLE (185 x 228 [mm]). Las siguientes ilustraciones detallan el espaciamiento existente entre agujeros para pernos y barras de acero.

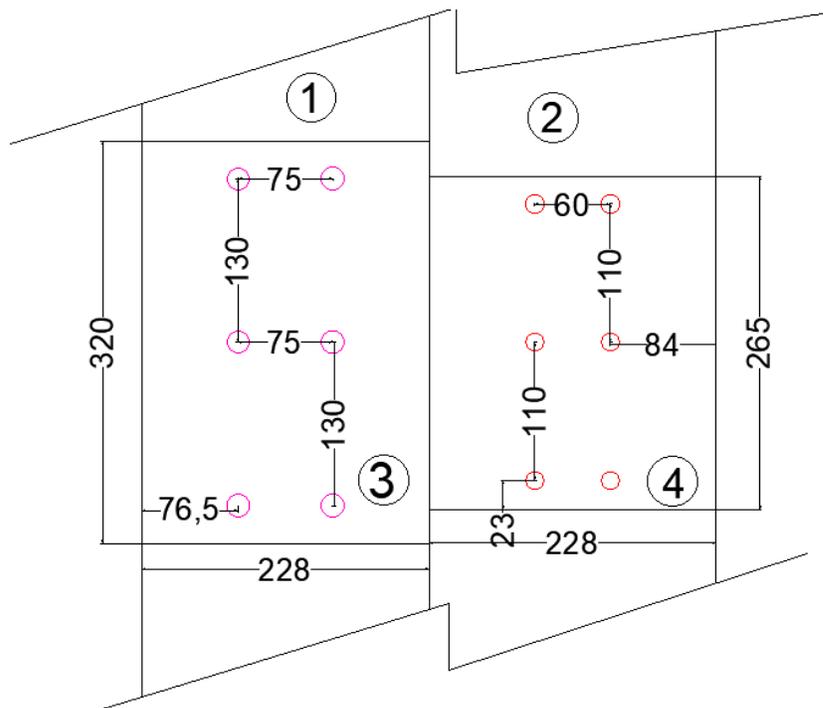


Ilustración 34, vista de dos caras de la columna en simultaneo y separación de pernos resistente a la carga axial de las vigas paralela a tal cara. Elaboración propia usando Autocad 2018.

Para las ilustraciones 34, 35 y 36, los círculos fucsias representan pernos de $\frac{3}{4}$ ", los círculos rojos pernos de $\frac{5}{8}$ ", los círculos verdes barras de acero de $\frac{5}{8}$ " y los círculos naranja barras de acero de $\frac{1}{2}$ ".

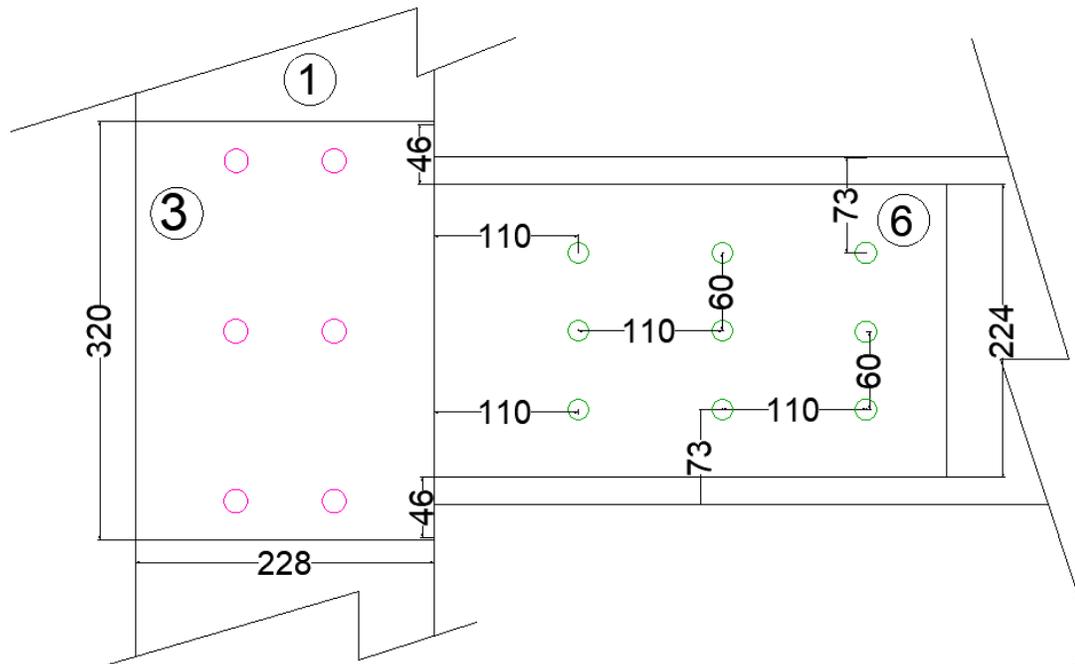


Ilustración 35, columna y viga primaria de MLE conectadas mediante el herraje especificado. Elaboración propia usando Autocad 2018.

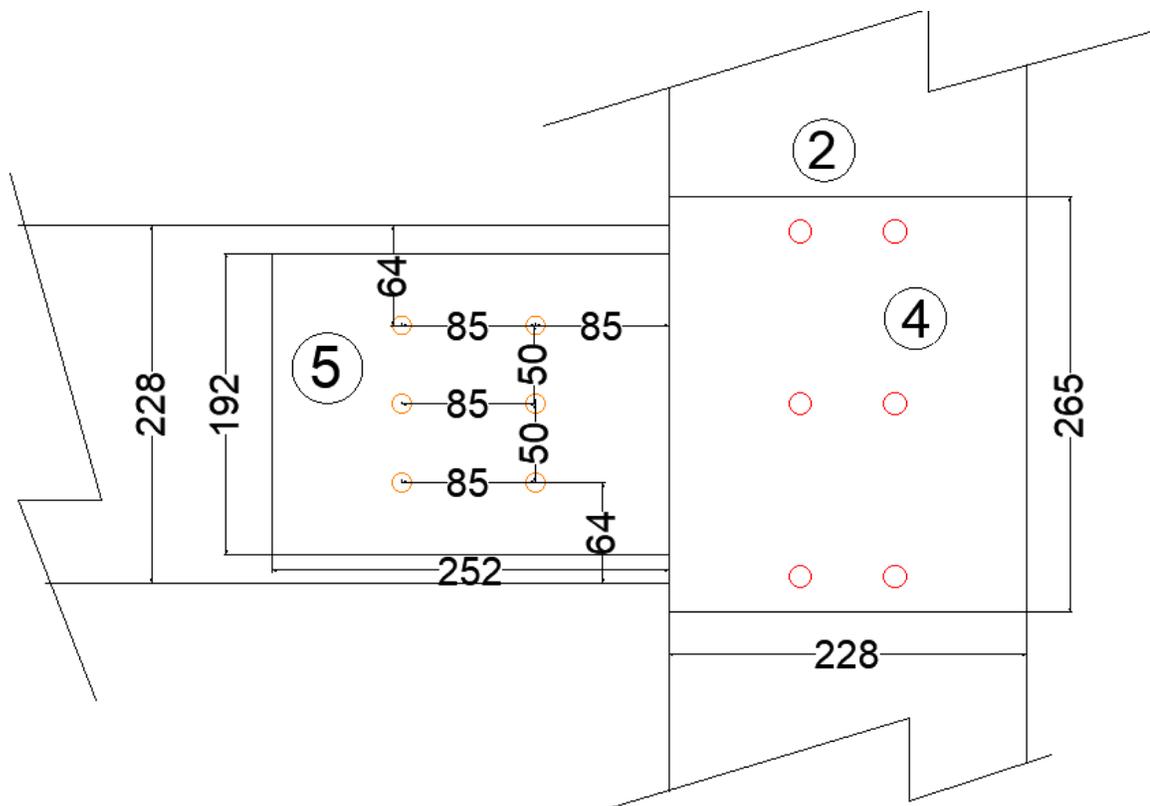


Ilustración 36, columna y viga secundaria de MLE conectadas mediante el herraje especificado. Elaboración propia usando Autocad 2018.

Resumiendo, las ilustraciones 35 y 36 representan los pernos y barras resistentes a la carga axial para la viga primaria y secundaria de MLE, respectivamente.

4.3.7.2 Columna MLE – Diagonales MLE – Vigas MLE

Para el cálculo de las conexiones que forman las diagonales contra la columna y viga de MLE, se considera solo la fuerza axial como solicitante (las demás son despreciables), descomponiéndola en dos fuerzas: una horizontal resistida por la viga de MLE y una vertical resistida por la columna de MLE, ambas configuradas como una unión apernada a cizalle simple. Por su parte, la diagonal de MLE es perforada para el paso de barras de acero que se conectan a placas de acero tipo Gusset capaces de resistir y fluir durante un sismo, generando apoyos rotulados en los extremos. La tabla 4-24 especifica los datos del cálculo de esta conexión.

Además, cabe destacar que esta conexión se realiza en el eje 4, solidario al eje X global, que divide los departamentos colindantes, por lo tanto, esta unión es soportada por una viga primaria de MLE y columnas internas. Y, pese a que estas diagonales tienen distintas luces, se considera la más solicitada para replicar el caso más conservador a las demás.

Tabla 4-24, diseño de conexión de diagonal (eje X) a viga primaria y columna de MLE.

Diagonal X a Viga y Columna MLE		D				
Diagonal	Solicitante	[pulg.]	# Conect.	# hileras	Resiste [N]	Solicita [N]
	a axial (P)	5/8"	5	2	168.106	160.877
Viga	Solicitada	Pernos de anclaje ASTM A325				
	a axial (Px)	5/8"	6	2	98.717	96.922
Columna	Solicitada	Pernos de anclaje ASTM A325				
	a axial (Py)	5/8"	6	3	148.076	128.390

Tabla 4-25, dimensiones mínimas de las escuadrías para conectar la diagonal (eje X) a Viga primaria y Columna de MLE.

Diagonal X a viga y columna MLE		Dimensión cargada	Bordes cargados	S_p/S_{bc} [mm]	Dimensión mínima	Cumple	
Diagonal	Solicitante	5 barras de acero de 5/8" por 2 hileras					
b [mm]	185	(P)	L	2	110/110	1210	SI
h [mm]	228	(P)	b	0	60/30	120	SI
Viga primaria MLE	Solicitada	6 pernos de 5/8" por 2 hileras					
b [mm]	185	(Px)	L	1	110/110	770	SI
h [mm]	266	(Px)	b	0	60/30	120	SI
Columna MLE	Solicitada	6 pernos de 5/8" por 3 hileras					
b [mm]	228	(Py)	L	1	110/110	770	SI
h [mm]	228	(Py)	b	0	60/30	180	SI

Por su parte, las diagonales en el eje Y reciben cargas menores y están conectadas a vigas secundarias y a columnas internas y externas, por lo que se diseñan de la siguiente manera:

Tabla 4-26, diseño de conexión de diagonal (eje Y) a viga y columna de MLE.

Diagonal Y a Viga y Columna Y		D [pulg.]	# Conect.	# hileras	Resiste [N]	Solicita [N]
Diagonal	Solicitante	Barras de acero				
	a axial (P)	½"	3	2	68.353	57.281
Viga	Solicitada	Pernos de anclaje				
	a axial (Px)	½"	4	2	44.638	37.926
Columna	Solicitada	Pernos de anclaje				
	a axial (Py)	½"	4	2	44.638	42.904

En donde, al igual que para las diagonales del eje X, las ubicadas en el eje Y se configuran como una placa Gusset (cizalle doble) adosada a la columna y viga adyacente a cizalle simple.

Tabla 4-27, dimensiones mínimas de las escuadrías para conectar la diagonal (eje Y) a Viga y Columna de MLE.

Diagonal Y a viga y columna MLE		Dimensión cargada	Bordes cargados	S_p/S_{bc} [mm]	Dimensión mínima	Cumple	
Diagonal	Solicitante	3 barras de acero de ½" por 2 hileras					
b [mm]	185	(P)	L	2	85/85	595	SI
h [mm]	185	(P)	b	0	50/25	100	Si
Viga MLE	Solicitada	4 pernos de ½" por 2 hileras					
b [mm]	185	(Px)	L	1	85/85	425	SI
h [mm]	228	(Px)	b	0	50/25	100	SI
Columna MLE	Solicitada	4 pernos de ½" por 2 hileras					
b [mm]	185	(Py)	L	1	85/85	425	SI
h [mm]	185	(Py)	b	0	50/25	100	SI

La conexión para las diagonales del eje X se deben materializar con las disposiciones mínimas que se presentan en las siguientes ilustraciones. Para las conexiones de las diagonales en el eje Y, se considera un herraje análogo, pero con las separaciones y diámetros presentes en las Tablas 4-26 y 4-27.

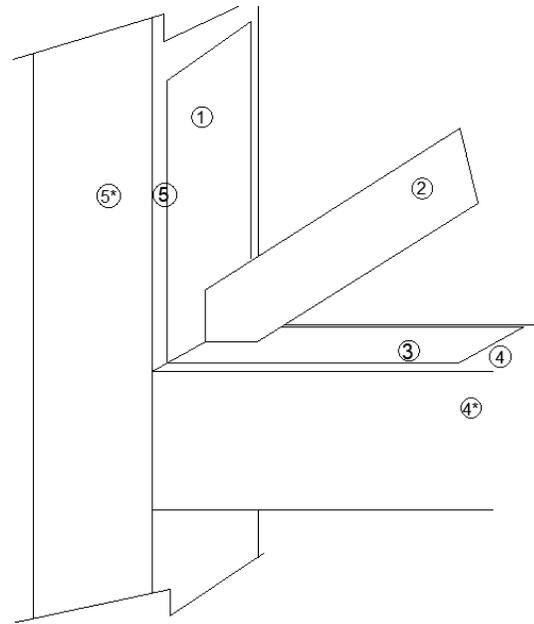


Ilustración 37, Esquema de columna interna (228x228) conectada a una viga (185x266) y a la placa Gusset. Elaboración propia usando Autocad 2018.

Para las ilustraciones 38 y 39, se tiene que los círculos color verde representan barras de acero, mientras que los círculos rojos pernos, ambos de 5/8”.

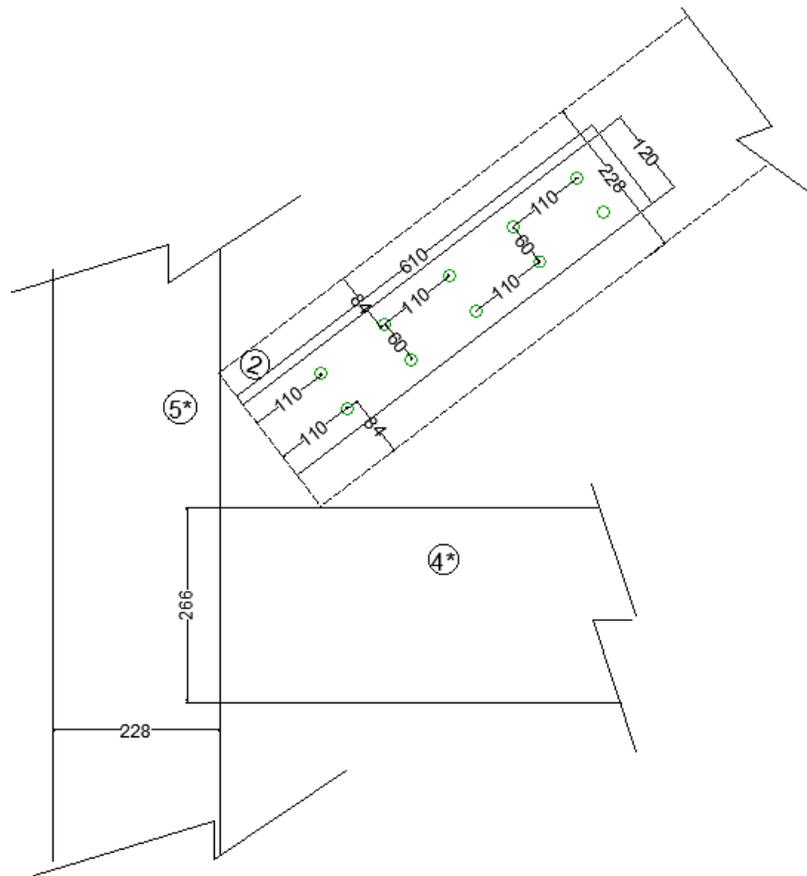


Ilustración 38, detalle de separación entre pernos de 5/8” para la placa de unión herraje - a diagonal de MLE. Elaboración propia usando Autocad 2018.

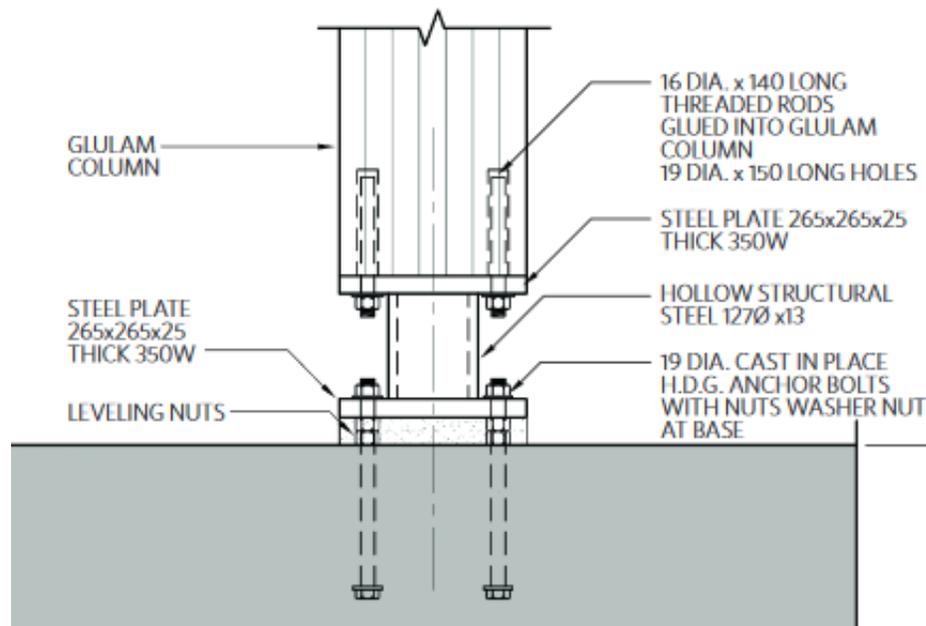


Ilustración 40, esquema de placa unión columna fundación. Fuente: Brock Commons tallwood house. Design & Preconstruction overview.

De acuerdo a la ilustración 40, la unión se compone por dos placas de 228x228x25 o 185x185x25 [mm], dependiendo de la escuadría de las (265x265x25 utilizan en el esquema, puesto que las columnas de tal edificio son cuadradas de 265 [mm]); un tubo de 127 [mm] de diámetro y 13 [mm] de espesor, en donde una placa se une a la columna de madera por medio de pernos de acero de 5/8” de diámetro y 140 [mm] de largo y la otra a la fundación con cuatro pernos de 3/4”.



Ilustración 41, unión entre columna y la fundación. A la izquierda bosquejo, a la derecha ejecución de ésta. Fuente: Brock commons tallwood house, Design Modelling.

4.3.7.4 Envigado de piso a Vigas de MLE

En este caso, para resistir las solicitaciones de la Tabla 4-19, se utilizan dos pernos de acero galvanizado de ½” en b/2 del envigado de piso que, a su vez, se conecta a la viga de MLE por medio de pernos de ½” dispuestos en 1 hilera con 2 conectores cada uno. La hilera se ubica por debajo de la viga de madera aserrada. Ver ilustración 42.

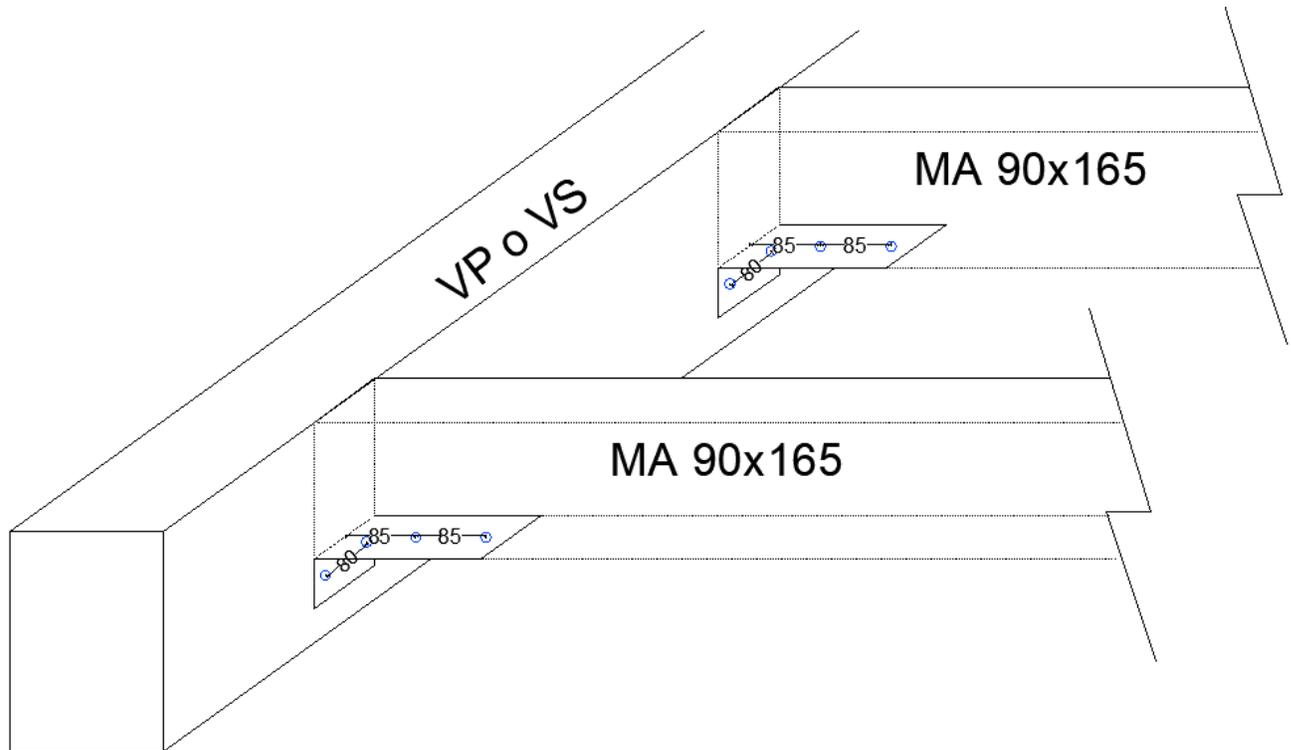


Ilustración 42, disposición de conectores para el envigado de piso a las vigas primarias (VP) o vigas secundarias (VS).
Elaboración propia usando Autocad 2018.

4.3.8 Fundaciones

En cuanto a las fundaciones, las máximas solicitaciones que entrega el software ETABS son las de la tabla 4-28, en donde F_y , F_x y F_z son las solicitaciones en los ejes globales Y, X y Z, respectivamente, mientras que R_i , es la solicitación inclinada, resultante entre F_z y el máximo de las cargas horizontales:

Tabla 4-28, solicitaciones para las fundaciones del edificio

Material	FX	FY	FZ	Ri
	tonf	tonf	tonf	tonf
Columnas MLE	15,01	5,24	46,81	49,16
Columnas Acero	19,96	20,83	98,36	100,54

En esta sección se estudia la dimensión de la fundación en cuanto al ancho de la zapata. Ya que se carece de información sobre los parámetros del suelo se opta por utilizar valores sumamente desfavorables, considerando un suelo de baja cohesión (200 kgf/m^2) y con un ángulo de fricción interna de 30° . Por lo tanto, utilizando las fórmulas de Meyerhof (ver Anexo, sección 9.3) para cargas verticales e inclinadas con un Factor de seguridad igual a 3, se llega a que a las dimensiones de la tabla 4-29.

Tabla 4-29, dimensiones de las zapatas de fundación

Fundación de	D _f [m]	B [m]	L [m]	Resistencia vertical [tonf]	Resistencia inclinada [tonf]
Columnas MLE	1,5 ²⁴	1,9	1,9	147,0	52,2
Columnas Acero	1,5	2,5	2,5	271,2	122,0

En donde, D_f corresponde a la profundidad del sello de fundación y B y L a los anchos de la fundación. Para revisar los cálculos y procedimientos se recomienda ver el Apéndice de memoria de cálculo.

El cálculo del espesor de las fundaciones se deja propuesto para un profesional de la geotecnia, sin embargo, de acuerdo con el “Technical Guide for the Design and Construction of tal Wood Buildings in Canadá”²⁵ para estructuras de madera las fundaciones utilizan aproximadamente el 65% del material para cimientos de estructuras de hormigón, por lo tanto, para el caso de este trabajo de título se utilizarán espesores de 45 [cm] (asumiendo que un edificio de 5 pisos en hormigón utiliza fundaciones de 70 [cm]).

Estos valores se deben corroborar según la geotecnia de la zona y la tabla 4-28.

²⁴ Se corroboran los 4 pies (1,2 metros) propuestos por el Mid-rise Best Practice - Proven construction Techniques for five and six storey wood frame Buildings, Canadian wood council, S/F, Canadá p 41

²⁵ Technical Guide for the Design and Construction of tal Wood Buildings in Canada, 2013, FPIInnovations, Canadá. P 110.

5 Métodos constructivos en altura para MLE

Debido a que las edificaciones en altura en Chile no utilizan la madera como parte de su sistema estructural, es necesario proponer métodos constructivos que guíen el proceso para erigir inmuebles en este material. Por lo tanto, en este capítulo se detallan los procesos, procedimientos, cuidados y protecciones que se deben tomar, en base a la experiencia extranjera, para construir el edificio de viviendas sociales descrito en el capítulo anterior.

Es importante tener en cuenta que, ya que la estructura soportante corresponde a las columnas, vigas y diagonales de MLE en conjunto con el núcleo de acero y el diafragma horizontal semi rígido, el diseño de los demás elementos, si bien pueden aportar estructuralmente, su construcción no dista de la de una casa de dos pisos estructurada en Wood-frame (tabiquería liviana), puesto que la resistencia gravitacional y sísmica ya está abordada con la estructura soportante. Por lo tanto, el modo de construcción de la tabiquería se basa tanto en *Canadian Wood-frame House Construction*, de Canadá, país que permite construir hasta 6 pisos en este sistema, como en un manual de CORMA para viviendas de dos pisos.

5.1 Secuencia constructiva

Este subcapítulo aborda la manera de construir y tratar con los materiales de madera y sus conexiones, además de presentar una secuencia lógica de cómo montar la estructura del edificio, siguiendo las normas y buenas prácticas extranjeras.

Esta secuencia inicia con la instalación de los cierres perimetrales en el lugar de emplazamiento en Concepción con paneles OSB o similar, para luego proceder con el movimiento de tierras y fundaciones, las cuales deben ser precisadas por el estudio geotécnico de la zona. Una vez terminado el movimiento tierras, se emplaza la oficina técnica en obra, la cual se monta en contenedores acondicionados para tal función. Éstos se deben posicionar de forma eficiente, con tal de no moverlos durante toda la faena, por lo tanto, su ubicación dependerá de la superficie de faena disponible.

Después de finalizar estas tareas, en la cuales no se entrará en mayor detalle por estar fuera del alcance de este trabajo de título, se comienza con el sobrecimiento, radier de primer piso y a montar las piezas estructurales de acero, MLE y madera aserrada, para luego adosar los diafragmas horizontales y verticales, completar los cerramientos, instalaciones y solución de techo. Todas estas tareas se detallan en las siguientes secciones de este capítulo.

5.1.1 Radier primer piso

Luego de la instalación de la oficina técnica en obra, se comienza el proceso de fundar el edificio sobre un suelo competente. Para el alcance de este trabajo de título solo se especifica la forma de trabajar en obra y no las dimensiones, grados de resistencia ni las cuantías de armadura para las fundaciones y vigas de fundación.

Ya que el edificio se emplaza en Concepción, ciudad con un suelo de fundación desfavorable, para cimentar la estructura probablemente se necesite un mejoramiento de suelo y una adecuada compactación de éste. En este caso, debido a que el traspaso de cargas gravitacionales y sísmicas al terreno es por medio de columnas de MLE y acero, se estudia el uso de cimentaciones aisladas unidas por vigas de fundación que siguen la geometría de los muros y tabiques del edificio.

De acuerdo con la guía para construcción de viviendas de madera de CORMA²⁶, el Canadian Wood frame house construction²⁷ y la sección 4.3.8, el proceso constructivo es el siguiente.

Excavaciones

- Excavación de todo el terreno hasta 20 centímetros por sobre el sello de fundación (D_f en la tabla 4-29).
- Excavación, según las dimensiones de la tabla 4-29, de los 20 centímetros faltantes en la ubicación donde recaen las columnas, de acuerdo con el replanteo topográfico.
- Seguir excavando 6 a 8 [cm] extras para la colocación de un emplantillado.
- Si el terreno no es apto para fundar, se debe mejorar el suelo excavando por debajo del sello de fundación tantos centímetros como el proyecto geotécnico indique, considerando una adecuada compactación del terreno artificial colocado.

Fundaciones

- Colocación de emplantillado contra terreno de 6 a 8 [cm] de hormigón pobre (G5) ejecutado en obra y trasladado con carretillas.
- Colocación de moldaje de madera con las dimensiones indicadas en la Tabla 4-29 o el proyecto geotécnico. Este moldaje debe contemplar los apoyos/puntales necesarios para sostener el hormigón hasta endurecer.
- Si la humedad es preponderante en el terreno y el proyecto geotécnico lo indica, se debe colocar una membrana impermeable por el perímetro de la excavación.
- Colocación de parrilla de acero desplazada del emplantillado 2 a 5 cm, según EETT del proyecto de geotecnia, con separadores plásticos o de hormigón.
- Colocación de armadura amarrada a la parrilla, según EETT del proyecto de geotecnia, la cual debe sobresalir de la zapata en sí para adosarse a las vigas de amarre (o de fundación).
- Verter el hormigón con carretillas o bomba de hormigón, vibrar el hormigón por al menos 10 segundos por cada 20 centímetros de altura de la zapata y/o cimiento con vibrador de inmersión.

²⁶ Manual para la Construcción de viviendas en Madera, CORMA, Chile.

²⁷ Canadian Wood frame house construction, CMHC, Canadá, 2013.

- Curar el hormigón superficial con riego durante el día y la noche, dependiendo de las condiciones meteorológicas.
- Cubrir y compactar hasta la cota superior del cimiento con material según el estudio geotécnico.
- En condiciones de humedad se debe ejecutar una zanja de drenaje, en donde se rellena la orilla exterior la fundación con una capa de 15 centímetros de ancho con gravas y en la base un tubo perforado, con tal de evitar la infiltración de agua. Ver ilustración 43.

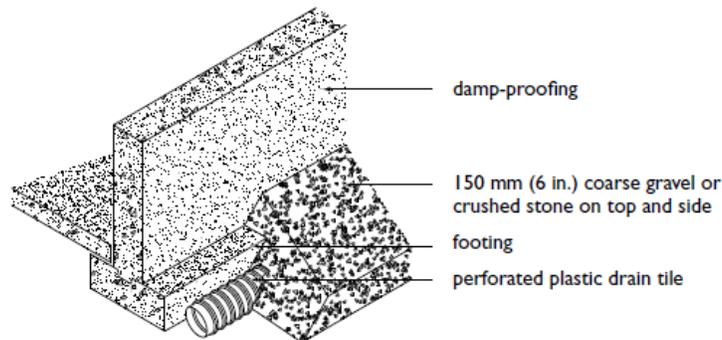


Ilustración 43, bosquejo viga de fundación, zapata y tubo perforado para drenaje. Fuente: Canadian Wood frame house construction, CMHC

Vigas de fundación

- Una vez ejecutada la cimentación se adosa la armadura de las vigas de amarre, las cuales siguen el perímetro y tabiquerías del edificio, según la ilustración 16.
- Moldaje, hormigonado, vibrado y curado del sobrecimiento y de las vigas de fundación, las cuales sobrepasan en 20 [cm] la altura del terreno natural en el perímetro, sirviendo como un sobrecimiento.
- Al momento de hormigonar se deben incorporar espárragos de acero de diámetro 10 mm con hilo en su parte superior, cada 1 metro, para anclar las soleras del diafragma vertical.

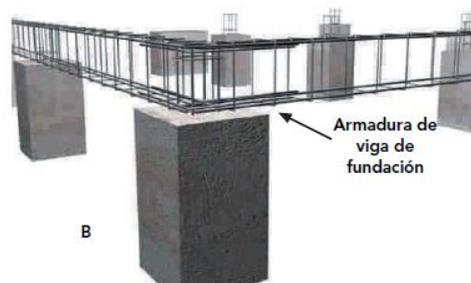


Ilustración 44, esquema de instalación de armadura de vigas de fundación. Fuente: Manual para construcción de viviendas de madera, CORMA

Radier

- Antes de ejecutar el radier, se debe mejorar las condiciones del terreno, lo primero es compactar el terreno mejorado que cubre la fundación y, por lo menos, 20 [cm] de la viga de amarre.
- Capa de ripio de espesor mínimo 8 [cm] compactado mecánicamente, con tal de evitar el ascenso de humedad hasta el radier.

- Cama de arena de 3 centímetros, sobre la cual se coloca una lámina de polietileno de 5 milímetros como barrera de humedad, cubriendo hasta la superficie de la viga de amarre.
- Para evitar retracciones excesivas del radier, se coloca una malla electrosoldada de 8 mm separada dos centímetros de la lámina de polietileno con separadores plásticos.



Ilustración 45, capas previas al radier del primer piso. Fuente: Manual para construcción de viviendas de madera, CORMA.

- Todo tipo de instalación debe estar contemplada dentro del radier, con tal de evitar perforaciones.
- Hormigonado, vibrado y curado del radier con hormigón G10 como mínimo, hasta llegar a la cota de proyecto.

Finalmente, las columnas descansarán sobre los sobrecimientos de la fundación, por lo que éstos deben tener una geometría mínima de 228x228 [mm] para columnas internas, 185x185 [mm] para columnas externas y 200x200 [mm] para las columnas de acero, mientras que las vigas de amarre tendrán un ancho de 140 [mm], como mínimo, para empalmar las soleras inferiores del primer piso. Las conexiones de estos elementos a las fundaciones se especifican en la sección 5.1.3.

5.1.2 Protección y controles de la madera en obra

Antes de estudiar el montaje de la superestructura se debe tener en cuenta que la madera, tal como otros materiales de construcción, debe tener cuidados especiales, sin embargo, en este caso pueden considerarse más exigentes puesto que existen varios factores que pueden afectar el desempeño tanto estructural como funcional de las piezas de madera. En esta sección se estudia cómo proteger la madera laminada encolada y aserrada durante todo el proceso constructivo, es decir, en base a normas y manuales chilenos²⁸ y extranjeros²⁹ se proponen métodos de cuidado para el transporte, almacenamiento y durante el montaje, revisados en 5.1.2.1, 5.1.2.2 y 5.1.2.3.

²⁸ De acuerdo con el Folleto técnico Terminación y Mantenimiento, 2019, HILAM – ARAUCO, Chile.

²⁹ De acuerdo con la Guía de Construcción en madera, Labernia I Badia C. 2010, Madrid, España.

5.1.2.1 Transporte y controles de recepción

Con tal de que la madera mantenga sus propiedades mecánicas y funcionales una vez que sale de la fábrica, es de suma importancia hacer un correcto manejo en el transporte de estas piezas. Por lo tanto, se deben seguir las siguientes recomendaciones:

- Los elementos de MLE y MA deben salir de la planta de fabricación con los productos de protección contra la humedad ya aplicados, con tal de evitar cambios volumétricos y en las propiedades mecánicas.
- Las piezas de madera se deben transportar cubiertas con cartón corrugado y, dependiendo de las condiciones meteorológicas del momento, embaladas con un film retráctil, con tal de protegerlas ante el polvo, humedad y lluvia.
- Al sujetar la carga al camión, se deben proteger especialmente los cantos y aristas de los elementos, colocando piezas de madera o cartón grueso.
- La descarga de los elementos debe realizarse con maquinaria capaz de izarlas de forma segura y estable, considerando un peso de referencia de 550 kgf/m³.
- En el caso de la descarga de elementos de más de 10 metros de largo, como las columnas (12,9 metros), se deben descargar con dos grúas a modo de prevención ante una deformación o volcamiento.
- Se debe evitar el transporte en días de lluvia, pues en la descarga podría verse afectado por el exceso de humedad en el ambiente o por la inserción de agua.

Además, es importante que al momento de llegada de los pedidos de MLE y MA, se haga un debido control de recepción pues, de existir algún problema o incongruencia con el pedido, se debe notificar de inmediato al proveedor. Los datos más importantes para la aceptación son los siguientes:

- 1) Control de documentación del suministro/pedido
 - a) Nombre y dirección de la empresa proveedora
 - b) Nombre y dirección del aserradero y fábrica (para MA y MLE, respectivamente)
 - c) Fecha de suministro
 - d) Cantidad suministrada
 - e) Tipo de elemento estructural
 - f) Clase resistente y especie de la madera
 - g) Dimensiones nominales
 - h) Contenido de humedad.
- 2) Control del material suministrado/pedido
 - a) Aspecto y estado general del suministro
 - b) El producto es identificable
 - c) Se ajusta a las especificaciones del proyecto
 - d) Especie de madera (de existir dudas se debe enviar a un laboratorio especializado)
 - e) Calidad estructural
 - f) Medición del contenido de humedad con un xilohigrómetro
- 3) Control dimensional y de propiedades^{30, 31}
 - a) MA – Para alturas y anchos (sección transversal) ≤ 100 [mm] se tolera (-1 + 3 [mm])

³⁰ De acuerdo con UNE EN 336 - Madera estructural. Medidas y tolerancias, 2014. España

³¹ De acuerdo con UNE EN 390 – Madera laminada encolada. Dimensiones y tolerancias, 1995. España

- b) MA – Para alturas y anchos (sección transversal) > 100 [mm] se tolera $(-2 + 4$ [mm])
 - c) MA – Para la longitud del elemento, siempre debe ser mayor o igual al largo solicitado
 - d) MLE – Para anchos (sección transversal) se tolera ± 2 [mm]
 - e) MLE – Para alturas (sección transversal) ≤ 400 [mm] se tolera $(-2 + 4$ [mm])
 - f) MLE – Para alturas (sección transversal) > 400 [mm] se tolera $(-0,5 + 1 \%)$
 - g) MLE – Para longitud del elemento ≤ 2 [m] se tolera ± 2 [mm]
 - h) MLE – Para longitud entre 2 y 20 [m] se tolera $\pm 0,1 \%$
 - i) MLE – Para longitud mayor a 20 metros se tolera ± 20 [mm]
- 4) Control de certificado del tratamiento de protección (según requerimientos)
- a) La identificación del aplicador
 - b) Protector empleado
 - c) Método de aplicación
 - d) La clase de uso que cubre
 - e) Fecha del tratamiento
 - f) Precauciones ante mecanizaciones posteriores al tratamiento

Por lo tanto, si cumple con lo especificado en estos cuatro puntos, se puede aceptar la recepción, en caso contrario se abrirá una disputa con el proveedor, en donde primero se notifica la incongruencia con los requerimientos y si es aceptada se harán las modificaciones pertinentes.

5.1.2.2 Almacenamiento

El almacenamiento de los elementos de madera tiene como finalidad evitar que éstos se encuentren en peores condiciones de humedad, contacto con agua y esfuerzos que cuando la estructura esté terminada. Por lo tanto, se siguen las siguientes recomendaciones.

- La descarga del material debe realizarse según lo especificado en 5.1.2.1.
- Los elementos, como se mencionó en 5.1.2.1, deben venir con una protección de cartón y film retráctil, los cuales no se deben retirar hasta el montaje.
- Se debe evitar el contacto con el terreno y su humedad, por lo que se necesita una superficie plana en donde los elementos estructurales de MA y MLE se apoyen sobre piezas de madera o algún material hidrófugo de mínimo 25 cm de alto y separados 80 cm.
- En el caso de apilar elementos en altura, uno sobre otro, se deben colocar espaciadores de 10 cm de espesor (ya sea de madero o material hidrófugo) alineados verticalmente con los separadores del terreno.
- Si el clima de la zona es lluvioso, como en el caso de Concepción, los elementos no pueden quedar a la intemperie, por lo que se debe generar una bodega de fácil montaje para almacenar los elementos.
- Si el clima de la zona presenta lluvias esporádicas, se podrá dejar a la intemperie, pero antes de colocar los separadores del terreno, se deberá colocar una lámina de polietileno que luego los cubrirá por encima para evitar que se mojen. Se debe dejar alguna abertura para que se puedan ventilar.

De acuerdo con lo anterior, en Concepción el montaje debe hacer preferentemente durante el verano, para mitigar las lluvias y evitar la construcción de la bodega.

5.1.2.3 Cuidados en el montaje

Durante toda la obra, el administrador de obra, en conjunto con el equipo de oficina técnica, deberán controlar la ejecución de cada partida, verificando el replanteo, materiales utilizados, correcta ejecución y disposición de los elementos constructivos, siguiendo las buenas prácticas constructivas y recomendaciones dadas en este trabajo, como mínimo.

Además, se deben tener los siguientes cuidados en el manejo de los elementos para montar:

- Primero, en trabajo de gabinete, se establece una secuencia de montaje.
- Se enumeran las piezas de madera y conectores, de acuerdo con la secuencia de montaje.
- Toda intervención a los elementos, como cortes, perforaciones, rebajes, debe realizarse de acuerdo con los planos de estructuras y con maquinaria, herramientas y personal adecuado.
- Las perforaciones se realizarán con un taladro de pedestal, para garantizar que éstas queden perpendiculares a las caras del elemento.
- Estas perforaciones deben tener una tolerancia de acuerdo con la NCh 1198.
- Los conectares tipo herraje metálico, clavos, pernos y barras de acero se deben materializar en acero galvanizado en caliente, para evitar la oxidación y manchas en la madera.
- Para el izaje se debe considerar un peso de referencia de 550 kg/m^3 .
- Se debe impedir todo tipo de golpe que pueda dañar irremediablemente alguna pieza.
- Para elementos pequeños, el izaje se puede realizar tomando directamente la pieza con las eslingas, cuidando que no se indenten en la madera.
- Cuando el elemento es de grandes dimensiones (>4 metros) se debe usar una barra de distribución de carga bien asegurada al elemento a izar.
- Para que el elemento se posicione en donde se debe conectar, la cuadrilla a cargo se puede ayudar mediante cordeles adosados (no tirantes) a la pieza.
- Los elementos posicionados en su ubicación definitiva se unirán primero a un conector, como guía, y luego al otro extremo.
- Los ejes se deben armar de a pares, con tal de arriostrar inmediatamente a la estructura ya montada y darle estabilidad a ésta.
- Cuando queden elementos en voladizo momentáneo, estos se deben apuntalar con maderas (secas) o alzaprimas.
- Los elementos menores se montan usando andamios, plataformas elevadoras o similar.
- Toda unión apernada o con barras de acero usara golillas según lo dispuesto en la NCh 1198.
- Todos los maestros y jornales deben usar su EPP de acuerdo con lo estipulado por el profesional de prevención de riesgos

5.1.3 Montaje estructura soportante

Dependiendo de la cantidad y disposición de los edificios que conformen el proyecto de viviendas sociales, se instalará una grúa torre o bastará con una grúa móvil, es decir, si se compone 2 o más edificios se puede optar por una grúa torre capaz de izar las piezas más lejanas a ella. Para este caso de estudio, solo se construye un edificio, por lo que conviene usar una grúa móvil pues el tiempo de montaje debe ser acotado.

Antes de comenzar con el montaje de la estructura de madera laminada, se debe instalar el núcleo rígido al cual se sujeta ésta³², por lo que, luego de ejecutada las fundaciones y radier, se ensambla la estructura metálica de caja escala. A continuación, se detalla el desglose de las actividades de esta partida, de acuerdo con la construcción del Wood innovation and Design Centre y el Brock Commons Tallwood House³³, ambos en Canadá y precisados en el capítulo 2 de este trabajo de título, adaptándola al edificio de estudio.

- Unión de las columnas de acero A36 a las fundaciones por medio de una placa capaz de resistir las cargas impuestas por la estructura. Diseño propuesto
- Montaje y unión de las diagonales a las columnas por medio de placas Gusset soldadas entre estos elementos. Diseño propuesto
- Unión soldada o apernada de las vigas que sostienen los pisos de la caja escalera. Diseño propuesto.

Para evitar tiempos muertos en la construcción se deben hacer los pedidos de las maderas estructurales con antelación suficiente y almacenarlas en obra, según la sección 5.1.2. En Chile existen múltiples proveedores que pueden satisfacer estos pedidos, sin embargo, en este caso se han utilizado algunas medidas estandarizadas de los productos que ofrece HILAM, división de Arauco que se dedica a la fabricación de Madera Laminada Encolada.

Mientras una cuadrilla se dedica al montaje de las estructuras metálicas, otra cuadrilla especializada en madera deberá instalar las conexiones entre columnas, diagonales y vigas principales y secundarias de MLE en planta, es decir, deben perforar las maderas según el diámetro de los pernos o barras que se conectarán a ellos. A continuación, se detallan los procesos que deben pasar las piezas de madera previo al montaje.

- Todas las piezas deben ser numeradas para saber en dónde se instalarán.
- Perforación con taladro de pedestal de todas las piezas, de acuerdo con las dimensiones, separaciones y ubicaciones de los pernos o barras de acero que recibirán para conectarse a la estructura.
- Conexión de herrajes que unen postes con vigas a toda columna de MLE.
- Conexión de herrajes que unen vigas de MLE con vigas de MA a toda viga primaria y secundaria, siguiendo las separaciones entre ejes descrita en los planos de arquitectura.

Luego de tener las conexiones unidas a las piezas solicitadas y la estructura metálica erguida, se procede a montar los maderos de MLE. Como el edificio es simétrico con respecto al núcleo de acero, el orden del montaje puede diferir sin afectar el resultado final. Por ejemplo, se puede avanzar montando desde el núcleo rígido hacia los extremos del edificio, o bien desde los extremos del edificio hacia el centro, en ambos casos montando paralelamente ambos lados del edificio. Como también, es posible montar completamente las maderas a un lado del núcleo y luego seguir por el otro. Para el estudio de este trabajo de título, se abordará la última opción, pues permite que una vez completado la estructura soportante de los dos departamentos de un lado, se puede

³² Siguiendo las recomendaciones de A Technical case study – Wood Innovation and Design Centre, Canadian Wood Council, S/F, Canadá. P 6.

³³ Brock Commons Tallwood Building, Naturally:Wood, 2016, Canadá.

comenzar a instalar los diafragmas y terminaciones en paralelo al avance de la estructura soportante del otro costado. A continuación, se precisa el proceso constructivo para tal opción.

- En planta se conectan las columnas del eje E-7, E-4 y E-1 a las vigas primarias que van desde el eje E al F, desde el piso 2 hasta el piso 5.
- Se iza una a una cada subestructura de 12,85 metros, utilizando amarras a las mismas vigas del piso 5, las cuales deben estar protegidas con piezas de madera o similar para evitar desgastes en la zona del amarre.
- Cada columna se monta y fija sobre la placa base (de fundación) y se hace las vigas primarias con los herrajes presentes en la columna de acero respectiva del núcleo rígido. Una vez generada tal conexión, la grúa puede soltar la subestructura y continuar con la siguiente columna.
- Se procede de igual manera para las columnas de los ejes D, las cuales se unen a las vigas secundarias que van desde el eje D al F (columnas en D-5 y D-3) y a las vigas primarias que van desde el eje D al E (columnas en D-7, D-4 y D-1).
- En el caso de las columnas del eje 4 con sus vigas, además debe ir preinstalada la diagonal respectiva a las vigas inferior y superior, por piso. Por lo tanto, la unión de esta subestructura se completa conectando primero las vigas a la columna de llegada y, una vez finalizada tal partida, se conectan las diagonales a las columnas.
- Una vez montadas las columnas y las vigas ancladas a su respectiva columna de llegada (en eje E o F) se montan las columnas del eje E-6 y E-2 que sostienen el balcón. Estas llevarán conectadas previamente las vigas secundarias que se unen a la columna en E7 y E1, respectivamente. Se montan de igual manera que las demás subestructuras
- Se conectan en planta las columnas del eje D-6 y D-2 a las vigas secundarias que van desde D a E, se izan, montan a las placas de fundaciones y las vigas se conectan a sus respectivas columnas de llegada en el eje E.
- Ahora, solo resta completar el eje D con las vigas secundarias que van en la dirección Y global para arriostrar las estructuras ya montadas. En este caso también existen diagonales, y se debe proceder de igual forma que para las del eje 4.
- Para terminar la estructura a un lado del núcleo rígido se debe repetir este procedimiento hasta llegar al eje A, es decir, unir en planta columnas con vigas y diagonales si corresponde en la dirección X global para todos los pisos, izarlas y conectarlas a las columnas de llegada. Una vez montadas y fijadas las columnas, vigas y diagonales, se procede a la conexión de vigas y diagonales en el eje Y global para arriostrar la estructura ya montada. Para un mejor entendimiento ver la ilustración 46.
- Para cualquier caso en que una viga quede sin una conexión por un largo periodo, se debe alzaprimar con el suelo o la viga inferior capaz de soportar el peso propio de la viga desconectada.

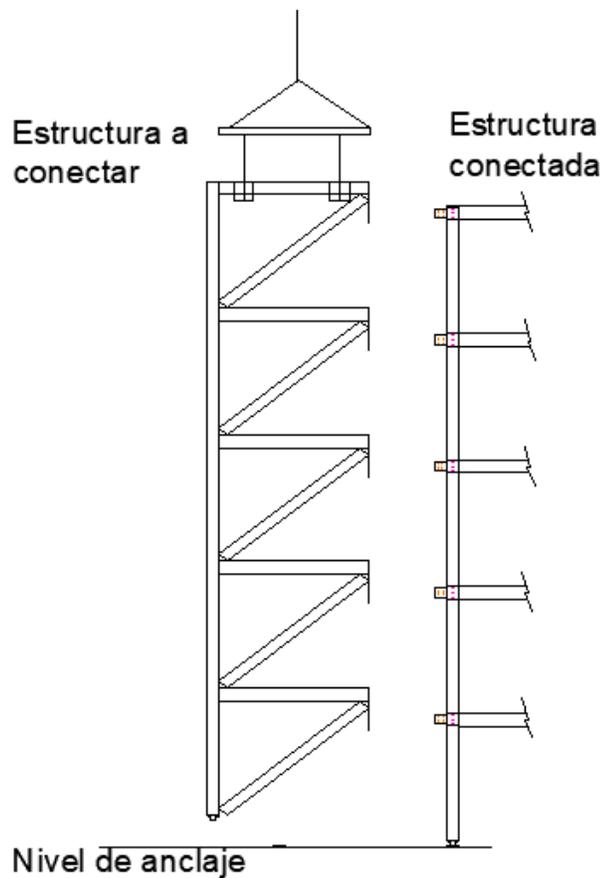


Ilustración 46, esquema del montaje de subestructura a la estructura conectada. Elaboración propia usando Autocad 2018.

También, muchos trabajos se realizan en altura cuando aún no existe una losa o piso donde los trabajadores puedan apoyarse, por lo que todo izamiento en altura debe estar acompañado de andamios o elevadores mecánicos que permitan acceder a los obreros a los pisos superiores para conectar herrajes, colocar alzaprimas, entre otras tareas.

Por lo tanto, repitiendo estos procedimientos para la estructura del otro costado del núcleo, se tendrá montada toda la estructura soportante de madera y acero, quedando solo que conectar los diafragmas horizontales y verticales, cerramientos y techumbre, explicados en las siguientes secciones.

5.1.4 Diafragma horizontal

El envigado horizontal presentado en el modelo computacional se debe complementar con una serie cadenas y riostras de 90x138 [mm] con tal de obtener un diafragma semi-rígido.

- Cadenetas: estas corresponden a piezas fijadas perpendicularmente entre vigas contiguas del envigado de piso. La separación entre ellas es de 60 centímetros, pero intercalándose por su espesor, con tal de lograr clavarlas al envigado (ver ilustración 46). Al ser de menor escuadría que las vigas de piso, éstas se disponen haciendo coincidir el plano horizontal superior con el de las vigas del piso. Utilizar dos pares de tirafondos de 1/4x4” para conectar a las vigas de piso.

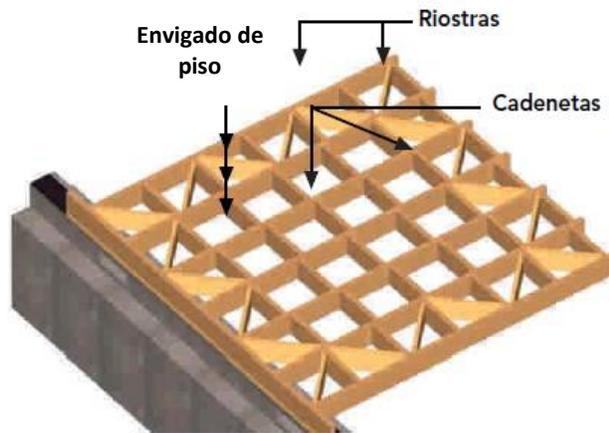


Ilustración 47, distribución de vigas de piso, cadenas y riostras. Fuente: Manual para la construcción de viviendas en Madera, CORMA.

- Riostras de piso: piezas diagonales entre las vigas de piso y cadenas. Se disponen por el perímetro que forman las vigas secundarias y/o principales por habitación. Utilizar tirafondos de 1/4x4'' para conectar la riostra a la viga de piso.
- Paneles de contrachapado: es la superficie de piso por la que se camina o, dependiendo de la arquitectura, se tendrá el piso de terminación. Será de 18 mm de espesor y se anclan a las vigas por medio de clavos corrientes de 2 ½ '' distanciados 150 mm en los bordes del panel y 300 mm en la zona central (envigado de piso), iniciando el clavado desde el centro hacia las orillas. Además, los paneles se disponen traslapados (ver ilustración 48) y separados 3 mm en bordes colindantes, con tal de aminorar los ruidos y vibraciones que se producen por su uso.

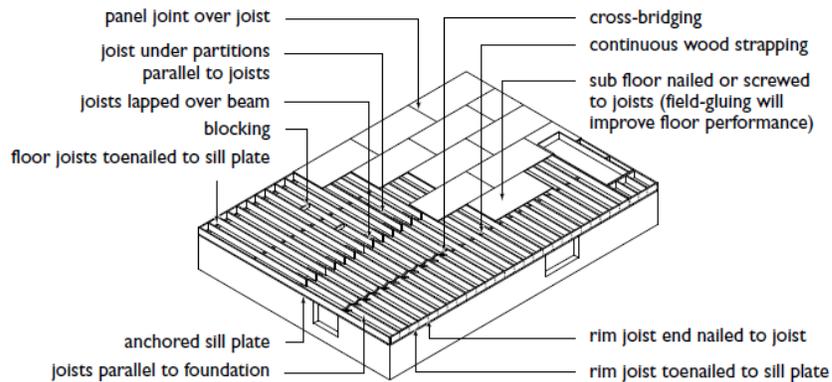


Ilustración 48, disposición traslapada de los paneles de piso. Fuente: Canadian Wood frame house construction, CMHC

Luego, para cumplir con los requerimientos nacionales de aislamiento térmico y acústico se puede proceder con una de las siguientes opciones de aislamiento.

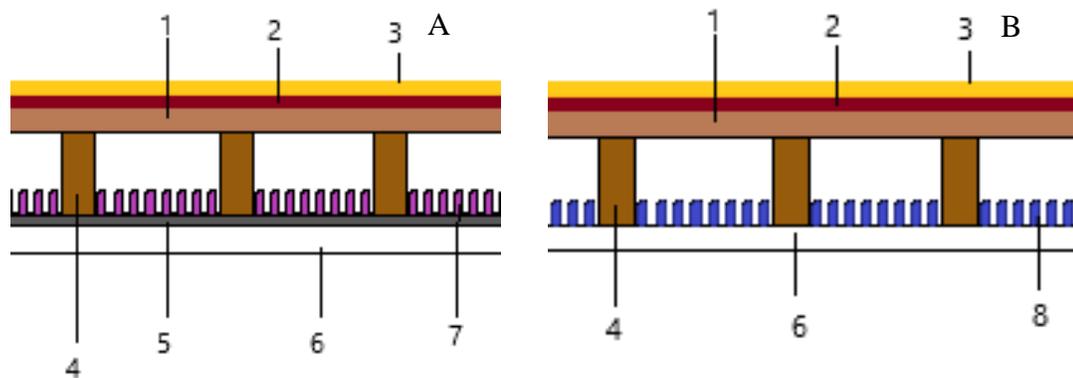


Ilustración 49, opciones de aislamiento para pisos ventilados. A) lana de vidrio común, B) lana de vidrio con Papel una cara.
Elaboración propia.

Opción A:

- 1) Tablero contrachapado (18 mm): con tal de rigidizar el envigado, se conecta con un tablero, tal cual como se indicó anteriormente.
- 2) Pañete de lana (10 mm): para absorber las ondas sonoras es recomendable utilizar un paño de lana.
- 3) Piso: según arquitectura, sobre el paño de lana se debe colocar una capa de piso, ya sea piso flotante, cerámica (para el baño y cocina), entablado, entre otros.
- 4) Envigado de piso: vigas estructurales de 90x165 [mm].
- 5) Barrera de vapor: con tal de evitar condensaciones que pueden deteriorar o aminorar las capacidades de la estructura, se utiliza una lámina de polietileno de 0,2 o 0,15 [mm], las cuales deben traslaparse 15 cm en sus encuentros. Se engrapan a las tablas de piso, con separaciones de 30 a 40 [cm].
- 6) Yeso cartón: como protección ante el fuego y aislamiento acústico, se ejecuta un cielo de yeso-cartón de 15 mm fijado al envigado con tornillos de punta aguda gruesa 1 ¼'' cada 20 [cm], se conectan desde el centro hacia las orillas.
- 7) Lana de vidrio: como el edificio se emplaza en Concepción, zona térmica 4, se necesita un $R_{100} > 150$ para pisos ventilados³⁴ (revisar Anexo 9.4), esto se tiene con una lana de vidrio de 80 [mm] de espesor. La colocación de esta debe ser lo más continua posible, salvo cercano a aparatos o sistemas que liberan calor, como conexiones de ampollas, de los cuales se debe separar mínimo 8 centímetros.

Opción B:

- 1) Tablero contrachapado (18 mm): Idem opción anterior
- 2) Pañete de lana (10 mm): idem opción anterior
- 3) Piso: idem opción anterior.
- 4) Tablas de piso: idem opción anterior
- 5) Eliminado para esta opción
- 6) Yeso cartón: idem opción anterior

³⁴ De acuerdo con el mapa de las zonas térmicas de Chile presentes en el Manual de aplicación de la Reglamentación térmica, OGUC

- 7) Lana de vidrio con rollo de papel una cara: tiene la misma finalidad que en la opción A, salvo que se le agrega un papel Kraft por una cara fijado con polietileno, lo cual le confiere una resistencia al paso del vapor, constituyendo una barrera para éste.

La secuencia constructiva del diafragma horizontal es: armar el diafragma con las piezas de madera (envigado, cadenas y riostras) fijadas a las vigas maestras (primarias y secundarias), luego, colocar la plancha de yeso-cartón, incluyendo o no la barrera de vapor, dependiendo del tipo de lana de vidrio. Posteriormente, se coloca la lana de vidrio correspondiente y se termina colocando el panel de contrachapado, el pañete de lana y, finalmente, el piso de terminación.

5.1.5 Diafragma vertical

Debido a que las cargas verticales y horizontales del edificio son soportadas por la estructura de columnas y vigas de MLE con el núcleo de acero para la caja escala, se hace innecesario utilizar los pernos de anclaje según la experiencia canadiense, sin embargo, se siguen algunas recomendaciones extranjeras para ejecutar tabiquerías, las cuales le confieren una mayor rigidez al inmueble.

A continuación, se detalla cómo configurar, construir y aislar el diafragma vertical o tabiquería de acuerdo con el Manual para Construcción de viviendas de Madera de Corma y el Canadian Wood Frame house construction del CMHC.

5.1.5.1 Configuración de tabiques

A continuación, se abordan las principales piezas del diafragma vertical, sus disposiciones y funciones.

- Ya que ningún tabique cumple funciones estructurales, las escuadrías de las piezas pueden ser las mínimas: Pino radiata estructural de 2" x 6" cepilladas (41 x 138 [mm]) para los primeros tres pisos y de 2" x 4" (41 x 90 [mm]) para los dos pisos superiores, siempre con un porcentaje de humedad de 14% (tolerancia $\pm 2\%$) y grado estructural G2.
- La unidad básica de cada tabique está constituida según la ilustración 50.
- Estas nueve piezas tienen las mismas escuadrías. Salvo el Dintel que, cuando la luz de la ventana es mayor a 80 cm, se deberá usar una pieza de madera maciza que complete la altura entre el vano de la ventana y la solera superior. Para este edificio, las ventanas de los dormitorios 2 y 3 tienen una luz de 100 cm y separados 25 cm del cielo, calzando con las dimensiones de la viga primaria, por lo tanto, esta viga cumple el papel de pieza maciza y se debe complementar con una pieza de madera de dintel simple.
- Las jambas se clavan a los pies derechos adyacentes (clavos de 3 ½", separados 15 cm longitudinalmente e intercalando los lados) y éstas sujetan el dintel.
- Los muchachos se clavan igual que las jambas a los pies derecho.
- Los travesaños se separan 65 cm de las soleras (superior e inferior) y se clavan intercaladamente por su espesor.
- Los pies derechos se separan 40 cm entre ejes, como mínimo, permitiéndose aumentar en 10 cm si la luz del tabique lo requiere en alguna zona.

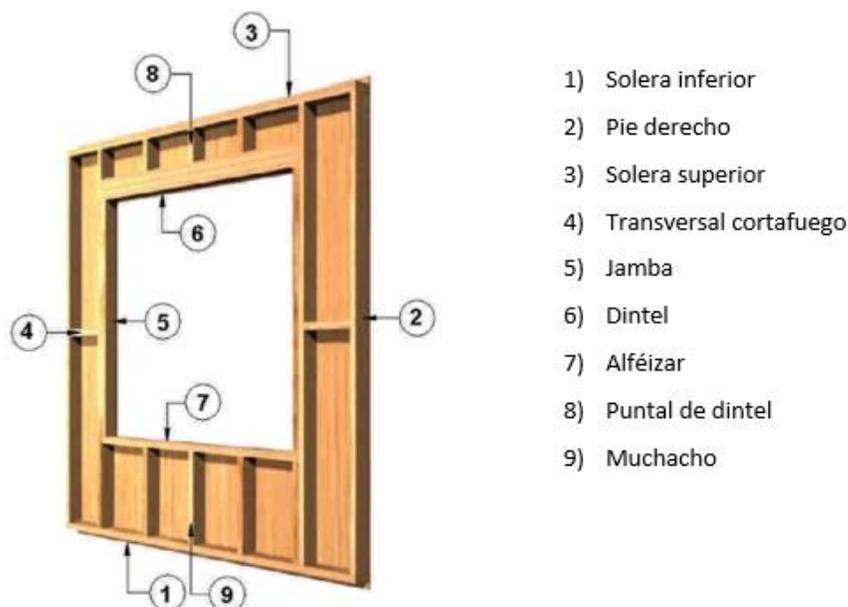


Ilustración 50, piezas principales de un tabique. Fuente: Manual para construcción de viviendas en madera, CORMA

- Para rigidizar el diafragma vertical, el tabique se ancla a un tablero de OSB de 9,5 mm de espesor, para el exterior de los muros perimetrales y placas de yeso cartón de 15 mm para el interior y tabiques interiores.

5.1.5.2 Aislamiento del tabique

Ya teniendo las dimensiones necesarias para las piezas y su disposición dentro del tabique, se procede a explicar el procedimiento constructivo y de aislamiento de éste.

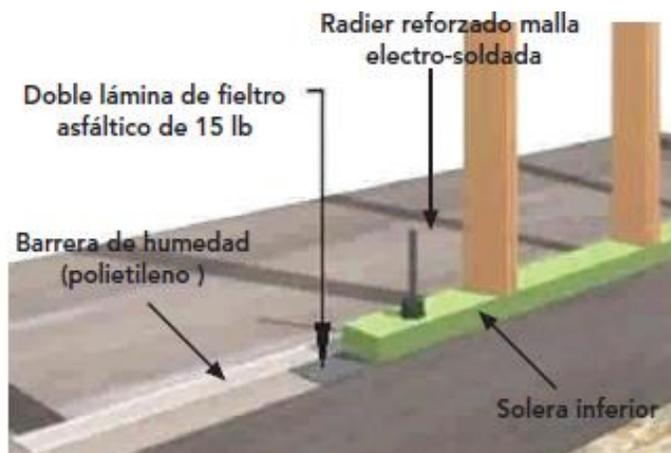


Ilustración 51, bosquejo de utilización de la madera en contacto con el hormigón de fundación. Fuente: Manual para la construcción de Viviendas en madera, CORMA

El diafragma del primer piso, al estar en contacto con el hormigón del radier y fundación, debe estar protegido del ascenso de agua y humedad. Tal como se mencionó, bajo el radier se posiciona una lámina de polietileno que se sujeta en la viga de fundación. Sobre esta viga se debe colocar un doble fieltro alquitranado de 15 libras (ver ilustración 51) y encima se coloca la solera inferior impregnada con sales CCA con contenido mínimo de 4 kg/m³ de óxidos activos (según NCh

819³⁵). De la misma ilustración, se aprecian los espárragos de 10 mm que se embeben en las vigas de fundación. Éstos se deben unir a la solera inferior.

En cuanto al aislamiento, se debe proteger ante el ruido, vapor, humedad y temperatura. Sin embargo, solo los tabiques del cerramiento deben aislarse de estos cuatro factores, pues la tabiquería interna sólo se preocupa de limitar el paso del ruido y vapor de agua.

Al igual que para el diafragma horizontal, se utilizan láminas de polietileno de 0,15 o 0,2 mm como barrera de vapor, placas de yeso cartón de 15 mm para disminuir el paso del ruido a través de los tabiques y protección al fuego y lana de vidrio para aislar térmicamente la vivienda de 25 y 40 mm de espesor, según corresponda. La barrera de humedad se ejecuta con un fieltro alquitranado de 15 libras.

Para un buen entendimiento de la disposición de la tabiquería, se separará en tres tipos de diafragma: tabiques perimetrales, tabiquería interna, muro divisorio.

a) Tabiques perimetrales:

Este se compone por el diafragma de madera aserrada estipulado en 5.1.5.1 y, desde el interior hacia el exterior, las capas son:

- 1) Placa yeso cartón de 15 mm
- 2) Barrera de vapor de polietileno 0,15 mm
- 3) Suple de madera de 1'' x 2'' cepillada seca de Pino radiata (19 x 41 mm), grado G2.
- 4) Lana de vidrio de 25 mm
- 5) Tablero estructural de OSB de 9,5 mm
- 6) Pie derecho según 5.1.5.1
- 7) Lana de vidrio 40 mm
- 8) Tablero estructural de OSB de 9,5 mm
- 9) Fieltro alquitranado de 15 libras

³⁵ Riesgo R2, de acuerdo con la NCh 819 – Madera preservada – Pino radiata – Clasificación según uso y riesgo en servicio y muestreo

10) Revestimiento según arquitectura

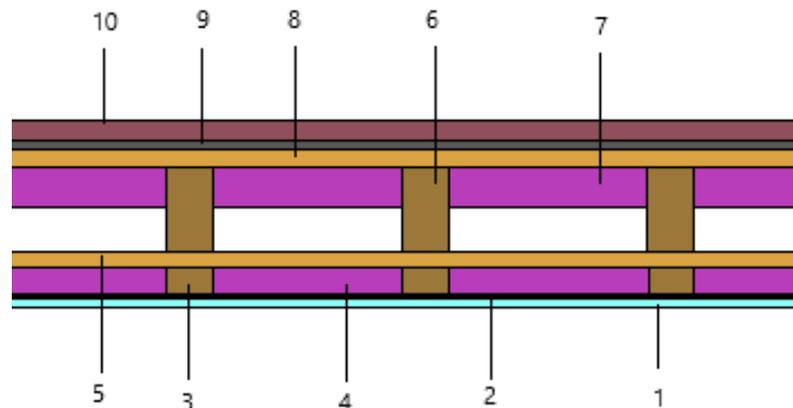


Ilustración 52, bosquejo de tabiques perimetrales. Elaboración propia

b) Tabiquería interna:

Esta se compone del diafragma estipulado en 5.1.5.1 y corresponde a todo muro interno del edificio, excepto el muro divisorio entre departamentos (Eje 4). Las capas son

- 1) Placa yeso cartón de 15 mm
- 2) Lana de vidrio 25 mm
- 3) Pie derecho según 5.1.5.1
- 4) Placa yeso cartón 15 mm

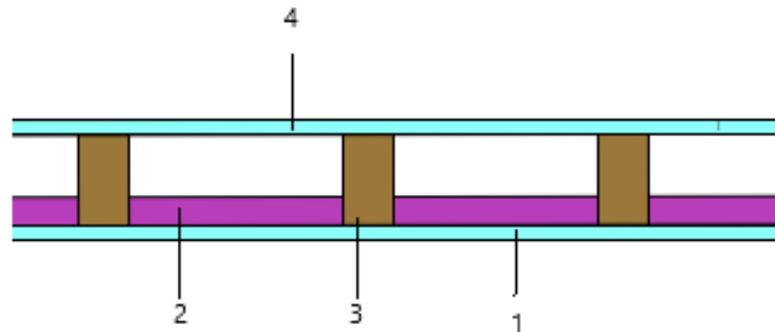


Ilustración 53, bosquejo de tabiques internos. Elaboración propia

c) Muro divisorio

Este se refiere al muro que divide un departamento de otro (Eje 4) y debe tener especial aislamiento acústico y contra el fuego. Las capas son:

- 1) Placa yeso cartón de 15 mm
- 2) Doble pie derecho de 2" x 4" cepillada seca de Pino radiata (41 x 90 mm efectiva). Grado G2, espaciados 400 mm y traslapados 400 mm (ver ilustración 54)
- 3) Doble lana de vidrio de 40 mm
- 4) Placa yeso cartón 15 mm

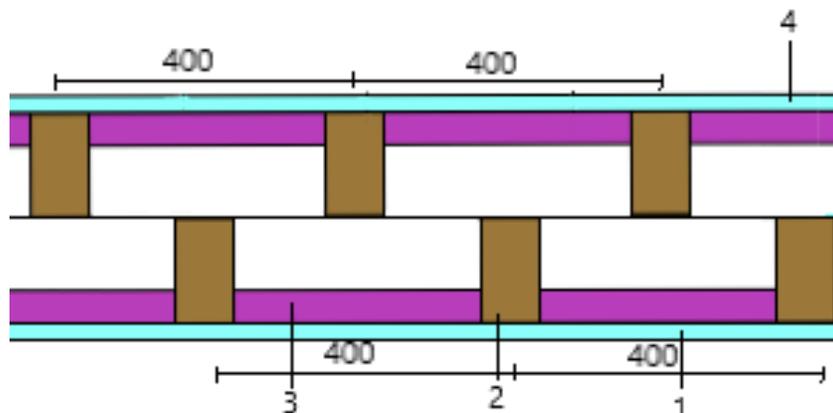


Ilustración 54, bosquejo de tabique de muro divisorio de departamentos. Elaboración propia

Además, la altura de las distintas tabiquerías varía entre ellas y para el primer piso y los demás. Las alturas libres (altura entre solera inferior y de amarre) y del pie derecho se ven en la siguiente tabla:

Tabla 5-1, Alturas libres y de pie derecho en los distintos tabiques

Tabique	Altura libre [m]		Altura (largo) pie derecho [m]	
	Primer piso	Piso 2, 3, 4 y 5	Primer piso	Piso 2, 3, 4 y 5
Perimetral	2,104	2,304	1,981	2,181
Internos	2,342	2342	2,219	2,219
Muro divisorio	2,304	2,304	2,181	2,181

Las diferencias entre alturas en la tabla 5-1, se dan pues en el primer piso, en el perímetro, existe un sobrecimiento de 20 cm y las vigas primarias (también bordeando el perímetro) tienen una altura de 26,6 cm, mientras que las vigas secundarias (por dentro del edificio) 22,8 cm de altura. Por su parte, para la altura del pie derecho, se le debe restar además el espesor de las soleras inferior, superior y de amarre (41 mm). Recordando que la altura de piso es de 2,57 metros, se tienen las medidas de la tabla. Se puede asumir una tolerancia de ± 2 milímetros.

Se debe tener en cuenta que en el encuentro entre muro y columna existirá una diferencia de espesores, puesto que, por ejemplo, los tabiques internos tendrán un espesor de 215 [mm] (considerando pies derecho y placa yeso-cartón) y las columnas internas de 258 [mm] al considerar también una placa yeso-cartón que proteja a la columna del fuego, puesto que este material no es inflamable. Por su parte, en los muros del cerramiento tendrán un espesor aproximado de 238 [mm], según lo especificado en esta sección, y la columna externa 210 [mm] si se considera el panel de OSB y la placa yeso-cartón. En todos estos casos se deben utilizar los mismos aislamientos, de manera continua, con tal de evitar puentes térmicos en las esquinas y los muros deben seguir por el mismo eje que las vigas que los sostienen.

5.1.5.3 Construcción y conexiones del diafragma vertical

En este apartado se especifica cómo trabajar con los materiales del diafragma vertical y su aislamiento en cuanto a sus conexiones y manipulación.

Para empezar, las piezas de madera se deben unir siempre en planta y al menos conectando una cara con la placa de yeso cartón u OSB según corresponda. Luego, se levanta y se ancla a la viga inferior y superior. Posteriormente se rellena con todos los aislamientos necesarios y se coloca cara faltante de yeso cartón u OSB. A continuación, se detallan los pasos a seguir para conectar y trabajar con los tabiques.

1) Formación del diafragma:

- Clavar con dos clavos helicoidales de 3 ½ ‘’ cada pie derecho a la solera inferior y superior, procurando tener la separación de 400 mm entre ejes.
- Unir con dos clavos corrientes de 3 ½ ‘’ cada travesaño a 0,65 metros (aprox.) de la solera inferior, intercalándose por su espesor (para poder clavar). Repetir para travesaños a 0,65 metros (aprox.) de la solera superior.
- Si se requiere empalmar soleras (inferior o superior), se unirán por medio de una pieza de madera de igual escuadría y de largo tal que calce justo dentro de la separación entre pies derechos.
- El tablero de OSB o yeso cartón se fija con clavos corrientes de 2 ½ ‘’ separados 20 cm en el centro del tablero y 15 cm en cualquier tipo de borde (soleras superiores e inferiores y bordes de vanos en puertas y ventanas), además debe respetar una distancia de 10 mm al borde del tablero. El clavado se inicia desde el centro hacia las orillas.
- En todo espacio entre pies derechos se coloca el aislamiento de la lana de vidrio del espesor correspondiente.
- La barrera de vapor cubre toda la cara interna del tabique, sujetándose con adhesivos y pasándola por sobre la solera superior y fijándose con la solera de amarre.
- La solera superior se une a una solera de amarre (de igual escuadría) por medio de clavos corrientes de 3 ½’’ separados 15 cm entre sí e intercalándose de lado a lado.
- En el caso de existir vanos para ventanas o puertas, los pies derechos se deben acortar para formar los muchachos y puntales de dintel, unidos a alféizar y dintel, respectivamente con dos clavos helicoidales de 3 ½ ‘’ cada pieza.
- En el caso de existir vanos para puertas y ventanas, se deben conectar las Jambas a los pies derecho con clavos corrientes de 3 ½ ‘’ separados 15 cm e intercalados de lado a lado.
- El dintel se sostiene por debajo por las jambas con dos clavos corrientes de 4’’ a cada lado, distanciados mínimo 15 mm de los bordes.

2) Conexión del diafragma a las vigas y columnas

- Para el primer piso, el diafragma debe posicionarse sobre los espárragos para unirlos a las fundaciones (procurando tener el fieltro alquitranado).
- Para el primer piso, se utilizan clavos helicoidales de 5’’ separados 15 cm e intercalados de lado a lado para unir la solera superior y de amarre a la viga de MLE. De igual manera se une a las columnas adyacentes por medio de los pies derecho, pero esta vez con clavos corriente de 3 ½ ‘’.

- Para los demás pisos, la unión se hace de igual forma, incluyendo la conexión de la solera inferior a la viga de MLE con clavos helicoidales de 3 ½ ‘‘.
- 3) Aislación y terminación tabiques perimetrales
- Colocar el tablero de OSB interior, de igual manera que el exterior.
 - El suple se une con el tablero OSB interior por medio de clavos corrientes de 2’’ separados 15 cm, haciéndolos coincidir con los pies derechos.
 - Cortar la lana de vidrio de 25 mm de espesor con la geometría del espacio que dejan los suples.
 - Colocar la barrera de vapor con adhesivos a los suples de madera, cubriendo toda la cara interna del tabique. De existir empalmes, éstos deben ser de 15 cm.
 - Fijar la placa de yeso cartón tal cual se hizo con el tablero.
 - En la cara exterior se debe colocar la barrera de humedad por medio de clavos de punta plástica (o similar, con tal de no rajar la lámina). Como mínimo deben ir clavados en la parte superior, media e inferior. De existir empalmes, éstos deben ser de 15 cm.
 - Se materializa el revestimiento exterior según arquitectura.
- 4) Aislación y terminación tabiques internos
- Colocar la placa faltante de yeso cartón, clavándola con clavos corrientes de 2 ½ ‘‘ separados 20 cm en el centro y 15 en los bordes. Se comienza clavando desde el centro a las orillas.
- 5) Aislación y terminación de muro divisorio
- Queda definida su instalación contemplando el paso 2) dos veces, con la salvedad que una de las dos partes (idénticas) que forma el muro, debe adosarse a las vigas cuando aún carece de la placa de yeso.

Finalmente, solo queda tener en cuenta la existencia de diagonales de MLE que interrumpen el paso de los pies derechos. En estos casos, se debe generar una solera que vaya por encima y debajo de la diagonal, clavada con clavos helicoidales de 3 ½ ‘‘ separados 15 cm. Lo demás se hace exactamente igual.

5.1.6 Solución de techo

Para materializar el techo del edificio se estudia una solución simple, a dos aguas, con pendiente de 30 %, de 13,8 metros de luz y con la configuración de las cerchas según la ilustración 55.

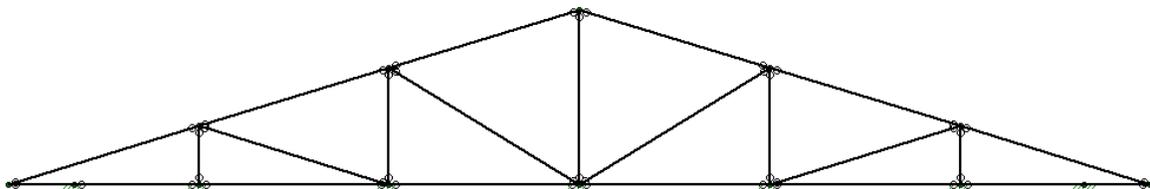


Ilustración 55, disposición de estructura de techo

La ilustración 55 representa una configuración de cerchas que se separan 1,2 metros entre ellas y se apoyan a 80 cm de los extremos en la solera inferior (que a su vez se apoya en las vigas primarias

de MLE) del último piso. Estos 80 cm restantes sirven como aleros para proteger la cubierta del sol y la lluvia.

La estructura se conforma de piezas de madera aserrada y cepillada de Pino de grado estructural G1, seca. Las escuadrías para los cordones superiores e inferiores es de 90 x 138 [mm] (4 x 6 ‘’) mientras que para los montantes y diagonales de 45 x 138 [mm] (2 x 6’’).

Para la construcción de ésta se utilizará un cordón superior e inferior de luz completa, mientras que los montantes y diagonales serán piezas dobles, es decir, se conectara una de estas piezas a cada lado de los cordones superiores e inferiores. En donde toda unión se realizará por medio de mínimo 4 clavos estriados de 3 ½ ‘’ de diámetro.

Sobre estas cerchas se posan las costaneras, de igual escuadría que las diagonales, y se ubican separadas 50 centímetros entre ejes y haciéndolas calzar, preferentemente, encima de los nudos de las cerchas, salvo en la cumbre, en donde la costanera se ubica desplazada 20 centímetros. A la vez, sobre las costaneras se coloca una barrera de vapor de polietileno de 0,2 mm y, encima de ésta, un tablero de OSB clavado de igual manera que los tableros de cielo. En este tablero descansa la cubierta según arquitectura.

Por lo tanto, la secuencia constructiva de las cerchas es:

- Unir las piezas de la cercha en planta según su geometría con clavos estriados de 3 ½ ‘’
- Teniendo todas las cerchas armadas, se suben al último piso con la grúa torre o pluma.
- Se conecta una solera inferior a la viga de MLE perimetral por medio de clavos de 3 ½ ‘’ separados 15 [cm].
- El cordón inferior debe ser rebajado tanto como la escuadría de la solera inferior, es decir, a 80 [cm] del borde de la cercha, tendrá un rebaje de 41 x 185 [mm].
- La primera en instalarse será la cercha del frontis. La cercha se ancla a la solera inferior con un herraje como el de la ilustración 56 o similar, salvo que para este edificio se conecta al cordón inferior.
- La cercha se apuntalará al diafragma del último piso con suficientes piezas de madera para sostenerla verticalmente.

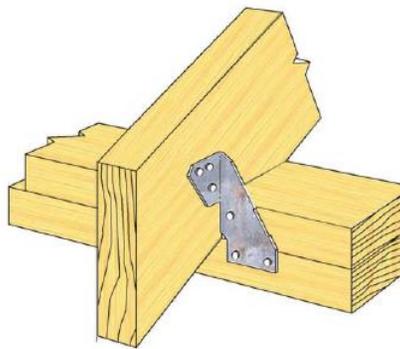


Ilustración 56, unión de cercha a soleras inferior y montante. Fuente: Manual para la construcción de viviendas en Madera, CORMA

- Se prosigue colocando las demás cerchas de igual manera que la primera, apuntalándola momentáneamente hasta que existan tantas cerchas como para colocar la primera tabla de costanera.
- Una vez colocadas todas las cerchas y costaneras, se procede a quitar los apuntalamientos momentáneos y de la primera cercha.
- Se coloca la barrera de humedad.
- Se clava el tablero de OSB con clavos de 2 ½ ‘’ de igual forma que los tableros de cielo.
- El alero se cubre por debajo con paneles OSB a la medida, dejando escotillas de ventilación.
- Los frontis también se cubren con paneles OSB, dejando una abertura en la parte superior para ventilación. Esta abertura se cubre con hojalatería según arquitectura.
- Anclar canaletas de geometría tal que sea capaz de evacuar el agua sin rebalsarse.
- La evacuación se canalizará en tubos de PVC anclados a los muros externos.

5.2 Buenas prácticas constructivas y de mantención

A continuación, se especifican buenas prácticas que se deben contemplar al momento de construir estructuras de madera, con tal de aumentar la vida útil de la edificación. Esto considerando que, en condiciones naturales, una pieza de pino radiata tiende a durar menos de 5 años, según la NCh789/1 (clasificación de maderas comerciales por su durabilidad), por lo que aplicar métodos de protección se torna sumamente importante para elevar la durabilidad de la vivienda.

Los problemas que experimentan los maderos se relacionan con el cambio volumétrico producto de la modificación de la HEH, como también de la pudrición por la proliferación de hongos y mohos.

A continuación, se entregan las especificaciones para cumplir el objetivo de esta sección:

- Controlar la humedad durante la construcción, procurando que esta sea, como máxima, la de equilibrio higroscópico. Esto se logra con ayuda de un xilohigrómetro, aparato que permite medir la humedad de un trozo de madera. También se puede estimar conociendo la humedad y temperatura interna de la vivienda y la tabla de HEH.
- Para evitar la proliferación de hongos, la madera debe tener un contenido de humedad $H < PSF$ y condiciones de temperatura ambiente entre 25 y 35°C. Esto se mitiga teniendo madera seca en la construcción.
- Prevenir condensaciones y evaporaciones indeseadas en materiales en contacto con la madera que conlleven a la humificación de esta. Por ejemplo, el hormigón de los sobrecimientos debe secarse por mínimo 20 días, con tal de que no exista evaporación excesiva del agua contenida en él.

Se incluye en esta sección el estudio de los elementos de madera con caras hacia el exterior de la vivienda, los cuales requieren de una protección ante la lluvia y sus efectos, pues si se acumula agua o es salpicada constantemente, la madera variará su contenido de humedad, lo que puede conllevar a cambios bruscos y excesivos en sus dimensiones, perder resistencia y desarrollar mohos o proliferar hongos, entre otros problemas.

Sin embargo, considerando que en este caso de estudio las piezas de madera que quedan expuestas a la intemperie son mínimas (columna de balcón, cabezales de vigas de techo y columnas en los ejes 4-F y 4-G), estos riesgos son menores. Por otro lado, de igual forma se presentan ciertas recomendaciones en el caso de otra estructuración lo requiera.

- Las envolventes deben ser impermeables al agua y capaces de evacuar de forma rápida el agua hacia el terreno (contemplado con la barrera de humedad hermética).
- El traslapo del revestimiento debe ser suficiente para que el agua no se introduzca en las uniones de éstos. Además, debe presentar características de estanqueidad.
- El agua que cae sobre la techumbre debe evacuar hacia canaletas que impidan el contacto con la madera.
- Evitar conexiones y empalmes de elementos con geometría que permitan la acumulación de aguas lluvias.
- Prevenir empozamientos de agua en encuentros de diferentes elementos, como entre la envolvente con puertas, ventanas y/o ductos.
- Neutralizar las salpicaduras de aguas lluvias en las zonas basales de la edificación. Esto se logra con sobrecimientos de hormigón generosos, tal que el agua rebote hasta ellos, impidiendo que moje la madera. Además, se puede bordear la estructura con una zona empedrada que aminore las salpicaduras.
- También se pueden dejar tramos de tablas de sacrificio para prevenir la entrada de agua y humedad en la junta entre sobrecimiento y solera.
- Los cabezales y extremos de elementos de madera expuestos directamente a la lluvia deben ser cubiertos con hojalatería, con tal de prevenir la inserción de agua por entre la fibra. Además, el corte en el que terminan debe facilitar el escurrimiento del agua.
- Evitar el uso de maderos gruesos, cuando éstos se encuentren expuestos directamente a la lluvia, reemplazándolos por dos o más piezas o utilizando madera laminada encolada.
- Si el revestimiento exterior es con tablas, debe considerarse una orientación vertical, para facilitar el escurrimiento del agua. Además, se contemplarán las posibles contracciones de la madera para clavar las tablas.
- Materializar una hojalata horizontal entre juntas verticales del envigado vertical del revestimiento exterior, para facilitar la evacuación de aguas lluvias.
- Orificios a la medida de cualquier conducto de instalaciones de la vivienda, procurando un sellado hermético.

Finalmente, teniendo en cuenta que la madera, pese a ser un material con gran resistencia, se debe resguardar de utilizarla en la orientación que mejor se comporte, pues al ser un material anisotrópico tendrá deformaciones y resistencias diferenciales en cada una de sus caras, por lo tanto, la correcta puesta en servicio de las piezas es elemental para obtener la resistencia deseada en el diseño.

Como se estudió en la sección 2.2.3 la madera presenta contracciones diferentes en cada plano cuando la HRA varía. En donde, según la tabla 5-2, la cara tangencial es la que más se deforma al cambiar la HEH, seguida por la radial, es por esto que en cualquier elemento horizontal de madera es preferible orientar las caras de la pieza considerando que la posible deformación tangencial o radial se contrarreste con la aplicación de las cargas típicas del elemento. En caso contrario, la deformación por contracción se verá facilitada por la aplicación de las cargas.

Por ejemplo, en vigas de piso se recomienda orientar la cara del duramen hacia arriba, pues desde esa dirección provendrán las cargas típicas, por lo que éstas aminorarán la deformación. Ver ilustración 58.

Tabla 5-2, coeficientes de contracción en los distintos cortes en una pieza de Pino radiata

Madera	Coeficiente de contracción, en %		
	Tangencial, α_t	Radial, α_R	Axial, α_L
Pino Radiata	0,29	0,20	0,04

La ilustración 57, representa las caras referidas de la tabla 5-2, en donde el corte transversal experimentará las contracciones axiales acortando o alargando las dimensiones del rollizo.

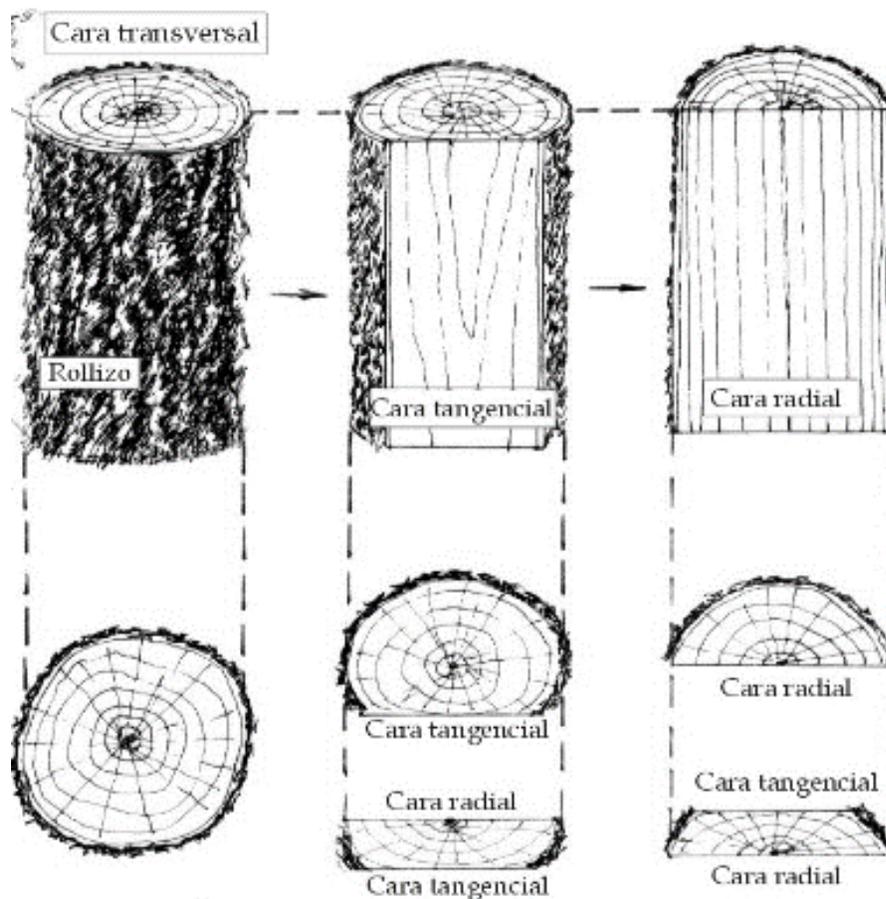


Ilustración 57, caras y cortes en un tronco de madera. Fuente Barañao J.J. "et al", 2008 (Manual para la identificación de maderas)



Ilustración 58, correcta disposición de un madero ante carga distribuida. Elaboración propia.

En algunos casos particulares, en donde se conoce a priori que existirá una carga puntual ubicada alejada del centro de la pieza, puede ser aconsejable orientar el duramen de la madera hacia abajo, como por ejemplo en los peldaños de escaleras, ya que, según lo observado en la ilustración 59, las deformaciones por contracción se pueden contrarrestar con la aplicación de la carga al pisar la tabla para subir o bajar la escalera.



Ilustración 59, opciones de cómo orientar un madero ante cargas puntuales en un extremo. Elaboración propia.

Por lo tanto, se entiende de esta sección que la madera es un material minucioso y que su comportamiento depende de su orientación, ubicación en la estructura y contenido de humedad, entre otros.

5.3 Comparación del costo en obra gruesa entre hormigón y MLE

En este subcapítulo se presentan los costos en materiales de obra gruesa para el mismo edificio de viviendas sociales, ya sea estructurado en hormigón armado o en madera laminada encolada como estructura soportante. Para esta comparación se tienen las siguientes limitaciones:

- Se compara solo los materiales de obra gruesa en ambos sistemas
- Se considera que la estructura de escalera es la misma para ambos sistemas, por lo tanto, queda fuera de la comparación
- No se entra en el detalle de uso de maquinaria ni del transporte de materiales
- No se comparan los costos de excavaciones y fundaciones
- No se aborda en el costo de mano de obra
- La tabiquería liviana de separación dentro de un mismo departamento se asume igual en ambos sistemas, por lo que no se compara

- No se toma en cuenta la diferencia en el tiempo de ejecución entre un sistema y otro.
- No se considera el costo de los clavos y tornillos menores utilizados en la estructura de hormigón

Por su parte, la cubicación de los materiales de obra gruesa para el edificio en hormigón se encuentra en la Tabla 5-3 en donde se utilizan espesores tipo y las longitudes presentes en la ilustración 23. Mientras que para la cantidad de madera utilizada se usan los datos entregados por el modelo estructural cargado en el software ETABS, ver tabla 5-5 y 5-6.

Tabla 5-3, cubicación materiales obra gruesa de hormigón armado para el edificio de viviendas sociales en cuestión.
Elaboración propia

		Muros perimetrales	Muros divisorios	Muros internos	Vigas y dinteles	Losa
1	L [m] ³⁶	94,44	17,18	36,64	96,56	18,02
2	e [m]	0,18	0,25	0,15	0,25	0,15
3	H [m] ³⁷	2,57	2,57	2,57	0,35	12,18
4	Volumen por piso [m ³]	43,7	11,0	14,1	8,4	34,6 ³⁸
5	Pisos	5	5	5	5	5
6	Volumen Hormigón total [m³]	218,4	55,2	70,6	42,2	173,0
7	Acero de refuerzo [kg/m ³] ³⁹	85	85	85	140	75
8	Peso de acero de refuerzo	18.567,4	4.691,2	6.003,0	5.914,3	12.978,2
9	Moldaje [m ² /m ³] ³⁹	11	11	11	9	9
10	Moldaje [m ²]	2.402,8	607,1	776,9	380,2	1.557,4

Para obtener el peso del acero de refuerzo y los metros cuadrados de moldaje se multiplican las filas 6 x 7 y 6 x 9, respectivamente. Además, con tal de subdividir la losa, se situaron vigas y dinteles de 0.25 x 0.35 [m] (ancho por alto) en donde originalmente van las vigas secundarias de MLE. A continuación, con los valores anteriores se calcula el costo de cada partida y el total en cuanto a materiales de obra gruesa. Ver tabla 5-4.

Tabla 5-4, costo de los materiales de obra gruesa para el edificio en cuestión materializado en hormigón armado

Muros	Vigas	Losas	TOTAL
-------	-------	-------	-------

³⁶ Para la losa representa el largo en el eje X global

³⁷ Para la losa representa el largo en el eje Y global

³⁸ Para el cálculo del área se le agrega el área remanente de 11,24 m²

³⁹ Valores de acuerdo con el Manual del constructor – Grupo Polpaico, Anexo 5. Extraído desde <http://www.polpaicoconexion.cl/manual/manual.htm>

1	Volumen de Hormigón [m ³]	344,3	42,2	173,0	559,5
A	Costo de hormigón [\$]	27.561.614	3.382.212	13.854.117	44.797.944
2	Peso de acero [kg]	29.262	5.914	12.978	48.154
B	Costo de acero de refuerzo [\$]	18.434.805	3.726.009	8.176.268	30.337.082
3	área de moldaje [m ²]	3.787	380	1.557	5.724
C	Costo de moldaje [\$]	8.308.228	868.768	12.979.241	22.156.237
	Costo total (A+B+C)	\$54.304.647	\$ 7.976.990	\$35.009.625	\$ 97.291.263

En la fila A de la tabla 5-4, se utilizó el costo de 2,79 UF (valor UF al 3 de mayo igual a \$28.699) entregado por Melón⁴⁰, mientras que el costo del acero de refuerzo se estima en 630 \$/kg, y finalmente, el costo del moldaje se obtiene desde el generador de precios Chile⁴¹.

Por otro lado, los costos en materiales de obra gruesa para el edificio de viviendas sociales estructurado en MLE, se calculan según el volumen o área de cada material y los precios unitarios de la tabla 5-5, en el caso de los herrajes se consideran los valores de la tabla 5-6.

Tabla 5-5, costo en materiales de obra gruesa para el edificio en cuestión, estructurado en MLE

	Peso [tonf]	Peso específico [kgf/m ³]	Volumen [m ³]	Precio unitario [\$/m ³]	Costo
MLE columnas	11,85	430	27,6	656.065 ⁴²	\$ 18.084.905
MLE vigas	19,57	430	45,5	656.065 ⁴²	\$ 29.863.072
MLE diagonales	6,06	430	14,1	656.065 ⁴²	\$ 9.249.220
Madera aserrada (diafragma Hor.)	11,66	430	27,1	169.750 ⁴³	\$ 4.602.179
Madera aserrada (diafragma Ver.)	9,60	415	23,1	169.750 ⁴³	\$ 3.927.153
Impregnación Madera Aserrada	-	-	50,2	38.703 ⁴³	\$ 1.944.688
	Peso [tonf]	Peso específico [kgf/m ³]	Área [m ²]	Precio unitario [\$/m ²]	Costo
Tableros contrachapados	15,31	690	1153,6	6.257 ⁴³	\$ 7.218.188
Tableros de muros perimetrales	[-]	690	1207,9	2.171 ⁴³	\$ 2.622.351
TOTAL					\$77.511.755

Tabla 5-6, costo de herrajes para la unión de piezas principales en el edificio estructurado en MLE.

	Volumen real [m ³]	Peso [kgf]	Herrajes por piso	Peso total [kgf]	Costo
Herraje columna – viga (3)	0,0029	23,1	18	2075,8	\$ 1.496.637 ⁴²
Herraje columna – viga (4)	0,0035	27,9	18	2509,3	\$ 1.809.240 ⁴²
Herraje columna – viga (2)	0,0023	18,2	14	1277,3	\$ 920.916 ⁴²
Herraje diagonal eje X	0,0018	13,9	12	833,6	\$ 601.018 ⁴²
Herraje diagonal eje Y	0,0007	5,8	16	460,1	\$ 331.715 ⁴²

⁴⁰ Tienda Melon, desde la URL: <https://tienda.melon.cl>

⁴¹ <http://www.chile.generadordeprecios.info/> Página con múltiples análisis de precios unitarios

⁴² Valores de acuerdo con el generador de precios Chile <http://www.chile.generadordeprecios.info/>

⁴³ Valores de acuerdo con el boletín N° 173 junio 2020 “Precios forestales” – INFOR.

Herraje envigado	0,00013	1,03	272	1410,6	\$ 1.017.041 ⁴²
Total			350	8566,7	\$ 6.176.567

Finalmente, la Tabla 5-6, los valores entre paréntesis corresponden a la cantidad de aletas o vigas que se le unen al herraje. Se utiliza un valor unitario de 721 [\$/kg] obtenido desde el generador de precios Chile (<http://www.chile.generadordeprecios.info/>). Por lo tanto, en la comparación de precios se obtiene la siguiente tabla:

Tabla 5-7, Comparación de costos en materiales de obra gruesa para el mismo edificio de viviendas sociales

Costo materiales obra gruesa para edificios de	
Hormigón	MLE
\$ 97.291.263	\$ 83.688.321

6 Análisis de resultados

En este apartado se analizan los resultados obtenidos en los capítulos 4 y 5 en cuanto a la construcción del edificio de viviendas sociales. Este análisis se realiza en aspectos como estructuración, dimensiones de elementos, conexiones, soluciones constructivas y comparación de costos.

Tal como se especifica en el capítulo 4, la estructuración del edificio en cuestión es una modificación del condominio Pacífico Rivas III y IV de la comuna de San Joaquín. Sin embargo, con el objetivo de disminuir la cantidad de ejes en el diseño y evitar singularidades que provoquen torsiones innecesarias, se decide modificar la ubicación de determinados muros, alineándolos en una misma dirección (ilustración 15). De esta manera, se puede esperar un buen comportamiento sísmico de la estructura de madera, pues los muros de corte (tabiques) trabajan en conjunto en todos los niveles (tal como muestra las ilustraciones 16 y 17).

Luego, el caso de estudio es un edificio en base a un sistema poste-viga por lo que, al materializarse en madera, los desplazamientos horizontales tienden a ser mucho mayores que en uno de acero u hormigón, esto debido al bajo módulo de elasticidad de la madera. Por este motivo, y siguiendo la experiencia extranjera, se genera un núcleo rígido de acero. Para este caso es simple localizarlo, puesto que es una estructura simétrica con respecto a la caja escalera, por lo que el núcleo rígido debe ser éste. Así, arriostrando adecuadamente esta subestructura metálica, el edificio se puede adosar a ella (ilustraciones 30, 31 y 32) y aminorar significativamente los movimientos horizontales.

También, para disminuir los momentos en las columnas y los esfuerzos axiales en vigas, se estructuran diagonales de MLE en ambos sentidos (ilustraciones 24 y 26), mitigando las torsiones en el edificio por cambios de elasticidad en sus materiales. Cabe mencionar que todas las

diagonales inician y terminan en una columna, con tal de poder distribuir las cargas axiales que enfrentan.

Por otro lado, como no necesariamente el revestimiento es de madera, se dejan dos elementos de este material a la vista: la columna de balcón y las riostras del eje 1 que unen ambos edificios. Estos elementos deben tener una protección especial contra la inserción de agua, como cubrir con hojalata sus cabezales (extremos) y aplicar químicos que bloqueen los iones hidroxilos, además de considerarlos con una humedad igual a la de equilibrio higroscópico en el cálculo de sus dimensiones.

Si bien no fue parte del modelo estructural, el diafragma vertical tendrá un importante aporte a la rigidez de la estructura. Por ejemplo, en Canadá, de acuerdo al capítulo 2, existen edificios de hasta 6 pisos en el sistema wood-frame, idéntico al diafragma vertical de tabiquería y pies derecho especificado en el capítulo 5.

Luego de estructurar el edificio, es decir, localizar en dónde irán las piezas estructurales, es necesario comenzar a iterar el modelo computacional con diferentes dimensiones de los elementos de madera hasta encontrar escuadrías óptimas que consideren el factor de utilización (Solicitud/tensión de diseño), deformaciones y factibilidad de construcción. Por lo tanto, los elementos cumplen:

- Tensión de diseño > Solicitaciones: esto es primordial ya que sólo de esta forma la estructura es estable.
- Deformaciones menores a las permitidas: para que la estructura tenga una buena serviciabilidad.
- Factibilidad de construcción: aquí se analiza que, por ejemplo, las vigas y diagonales deben tener anchos (b) menores que el de las columnas a las que se conectan. Además, las dimensiones deben calzar dentro del espacio que se le da a la tabiquería y deben permitir el paso de los conectores, respetando los espaciamientos entre ellos y separaciones a los bordes cargados y descargados. Y, finalmente, deben existir las escuadrías en el mercado, con tal de evitar hacer pedidos especiales.

De lo anterior, se tiene que todas las piezas poseen dimensiones mayores a las necesarias para resistir los esfuerzos máximos según las combinaciones de carga (tablas 4-10, 4-11, 4-13 y 4-14). Además, estas escuadrías permiten tener bajas deformaciones verticales, incluso por debajo de las deformaciones de fluencia lenta (creep), calculado según la NCh 1198 (Tabla 4-15).

En cuanto a las conexiones, el estudio se limita a determinar que las dimensiones de los maderos son suficientes para respetar la separación al borde y entre conectores necesarios para resistir las cargas impuestas (de acuerdo con lo especificado en la sección 4.3.7 y en las tablas 4-21, 4-23, 4-25 y 4-27). Además, se diseñan las formas de los herrajes en acero galvanizado, sin entrar en el detalle de la calidad del acero a utilizar, sólo se requiere que sus deformaciones sean elásticas hasta las cargas máximas, explicitadas en la tabla 4-17.

Notar que para el diseño de las conexiones se contemplan las cargas máximas, las cuales no ocurren en simultaneo y en todas las piezas, por lo que muchos herrajes están sobredimensionados. Para

obtener un diseño completo y optimizado de las conexiones, se debe analizar las solicitudes pieza por pieza o, por lo menos, conjuntos de ellas con requerimientos similares.

Pese a los intentos de optimizar los materiales, en muchos casos las piezas quedarán sobredimensionadas, pues no pueden ser de escuadrías menores, considerando que se debe priorizar el uso de medidas estándar con las que trabajan las empresas de Madera Laminada Encolada en Chile, como HILAM de ARAUCO.

De esta manera, se tiene que los desplazamientos de entre pisos son moderados, puesto que las piezas de acero del modelo tienen gran inercia y la subestructura del núcleo está completamente arriostrada (ilustraciones 30, 31 y 32). Es más, los *drifts* son tan pequeños que ninguna de las normas estudiadas – chilena, estadounidense y canadiense – es superada (tablas 4-16 y 4-17). Sin embargo, en la norma chilena es donde queda más cercana al límite establecido por la NCh1198 y especificado en la tabla 2-2.

Luego, además de estar arriostrado a la caja escala, el edificio también cuenta con diagonales de MLE, las cuales también ayudan en la estabilidad sísmica de la estructura. Desafortunadamente, introducir más elementos de este tipo complica el diseño, ya que afecta demasiado la arquitectura, sobre todo en cuanto a vanos de ventana y puertas, puesto que tendrían que pasar por su ubicación. Por lo tanto, las diagonales existentes reciben grandes cargas y, si bien resisten los esfuerzos generados, las uniones quedan altamente solicitadas.

La ejecución del diafragma horizontal de piso debe realizarse minuciosamente, con tal de lograr obtener un diafragma semi-rígido como el modelado en el software pues, de esta manera, las cargas sísmicas se localizarán a la altura de cada piso y se evitarán torsiones globales en la estructura. De todas formas, en el modelo solo se consideran las piezas del envigado de piso, por lo que las cadenas y riostras ayudarán aún más a concebir tal premisa del diafragma.

Por su parte, el diafragma vertical tampoco se consideró en el modelo estructural, por lo que si se realiza tal cual las recomendaciones del capítulo 5 le entregará una rigidez aún mayor a la estructura y, sumado al comportamiento del diafragma horizontal, los desplazamientos de entre pisos pueden llegar a ser menores que los presentados en las tablas 4-16 y 4-17.

Por otro lado, los contenidos de humedad en los pedidos de madera deben ser respetados y controlados, puesto que, de ingresar más agua de la esperada, los elementos y la estructura se pueden ver ampliamente debilitados. Por lo tanto, la aplicación de sellos contra la humedad en la fabricación de la MLE es imprescindible para cumplir con los supuestos de utilizar madera seca en los cálculos de las tensiones de diseño, con humedades del 12% para elementos internos, 14% para elementos perimetrales y 19% (HEH) para los elementos expuestos a la intemperie. De esta manera, no se producen deformaciones diferenciales como las explicadas en el subcapítulo 5.2 y la tabla 5-2, evitando esfuerzos extras en los orificios de las conexiones por aplastamiento al variar las dimensiones del madero.

En cuanto al montaje de la superestructura, se debe tener especial cuidado de no golpear los elementos durante el izaje y que éstos queden sin tensiones iniciales producto de diferencias en el dimensionamiento o en su posición. Se recomienda seguir las instrucciones de montaje

especificadas en el capítulo 5, ya que se basan en la experiencia extranjera. Además, puesto que la estructuración poste-viga arriostrada con diagonales de MLE y un núcleo de acero es capaz de resistir todas las sollicitaciones gravitacionales y dinámicas impuestas, es de suma importancia realizar una conexión prolija de los herrajes y piezas, esto es: cuidar de no golpear y deteriorar las uniones, aplicar todo el torque requerido por los pernos, medir minuciosamente las separaciones entre ellos y la ubicación de las placas de acero.

Finalmente, al analizar el costo de la estructura estudiada en MLE y su contraparte en hormigón, resulta que, en cuanto a materiales de obra gruesa, el edificio materializado en madera es más barato. De todas maneras, para poder tener un presupuesto exacto, se deben agregar los costos en mano de obra y maquinaria, en conjunto con sus rendimientos. Sin embargo, si se considera que la estructura de madera no está optimizada en sus dimensiones y conexiones y que, al hacerse un montaje modular, los costos en materiales y tiempos en faenas se pueden suponer menores que en un edificio de iguales características, pero en hormigón armado. Por lo tanto, aun contabilizando la mano de obra y maquinaria, el edificio en madera seguiría siendo más económico.

7 Comentarios y conclusiones

En Chile, país que avanza lentamente en innovaciones para la construcción de obras civiles, los materiales de construcción – hormigón y acero – se han mantenido invariantes por varias décadas, sin embargo, muchas de sus materias primas son costosas o ya comienzan a escasear en algunas zonas, por lo que renovar los paradigmas de la construcción en madera en cuanto a sus elevados costos, baja resistencia y comportamiento ante el fuego, hongos y termitas, son aspectos relevantes a la hora de iniciar nuevos proyectos y enfrentar un futuro sostenible y amigable con el medio ambiente.

Por otro lado, la madera laminada encolada es un material con gran resistencia mecánica, capaz de soportar elevadas cargas cuando es bien clasificada y producida (acorde con la normativa chilena), como también, gracias al sistema finger-joint, explicado en el capítulo 2, es posible concebir grandes luces y, al contrario de la creencia popular, entre sus propiedades destaca el retardar la propagación del fuego en un incendio, manteniendo sus resistencias mecánicas.

Además, se está en presencia de un material renovable, que consume CO₂ en lugar de emitirlo durante su crecimiento, con una baja huella de carbono (en comparación con el acero y hormigón) en su producción, de bajo costo en Chile por ser un proveedor de esta materia prima y sustentable desde el punto de vista de ahorro energético en el hogar, pues es un buen aislante térmico y acústico.

No obstante, es un material biodegradable que, si bien es una ventaja sustentable, representa una desventaja funcional y mecánica, debiendo aplicar protectores para aumentar su vida útil. Es éste el punto débil de la madera, ya que al ser un material orgánico es susceptible a múltiples cambios durante su ciclo de vida, tales como variación de dimensiones en sus caras, aumento de peso por inserción de agua, disminución de propiedades mecánicas por aumento de la humedad relativa del aire, pudrición y ataque de organismos, entre otros.

Debido a lo anterior es que se considera un material meticuloso que, dependiendo del emplazamiento de la estructura, se tendrán que tomar las medidas mitigantes (nombradas en el subcapítulo 5.2) ante las posibles patologías.

En cuanto al caso de estudio de este trabajo de título, la ubicación del edificio se consideró en una zona sumamente desfavorable, pues la probabilidad de encontrar más de una patología es alta. Para paliarlas se toman medidas como:

- Evitar dejar madera a la vista: tanto en el exterior como en el interior, pues así se protege contra los cambios de humedad e inserción de agua en ambas caras del cerramiento. Permitiendo diseñar con una humedad de 14% para elementos perimetrales y de 12% (madera seca) en el interior. Para lograr estos valores se deben tomar todas las precauciones de transporte, almacenamiento y montaje (sección 5.1.2).
- Barreras de humedad: se aplican en las caras en contacto con los tableros de OSB o yeso – cartón, de esta manera se evita la condensación indeseada en el interior de los tabiques, impidiendo que llegue agua a los maderos y afecte su calidad estructural.
- Placas de yeso – cartón cubriendo los interiores de los tabiques y cielo: esta es una medida contra la propagación del fuego, puesto que esta placa retarda la incineración de la madera estructural y, al ser de bajo costo, la reposición es económicamente factible.
- Aplicación de sellos a los iones hidroxilos: para evitar cambios de humedad y contracciones en la madera. Se debe realizar preferentemente previo al transporte de los materiales.

Ahora, como el caso de estudio se localizó en una zona desfavorable y teóricamente dio buenos resultados, el diseño es replicable en cualquier zona térmica (de acuerdo con la OGUC) que tenga mejores condiciones meteorológicas y de suelo que Concepción, por lo que se podría emplazar en casi toda ciudad al norte del Bio – Bio y en varias hacia el sur. Por su parte, también es importante tener las materias primas y fábricas de MLE cercanas a la obra y, por lo visto en el capítulo 2, las regiones madereras se encuentran entre el Maule y la Araucanía. Esto mismo indica que si las condiciones nombradas son mejores, las escuadrías y conexiones pueden ser menores cuando se realice en ciudades como, por ejemplo, en Talca, localidad cercana a forestales, con un clima menos húmedo y buen suelo de fundación.

En cuanto a la industria chilena de la madera, tanto aserrada como laminada encolada, un amplio porcentaje de éstas funcionan de forma precaria y con un bajo rendimiento, sobre todo en el caso de los aserraderos y pequeñas empresas. Por lo mismo, gran parte de la producción se la llevan los grandes aserraderos y fábricas, con una baja competencia y desincentivando la innovación. Muy por el contrario, los países madereros como Canadá y Australia cuentan con una industria de alto rendimiento, clasificando las piezas mecánicamente y no visualmente (como en Chile) lo cual le entrega mayor precisión y confianza a la calidad de la madera.

En este mismo ámbito, de acuerdo con el capítulo 3, las construcciones de edificios de madera en los países estudiados son más numerosas y de gran calidad, puesto que existen diversas normas y manuales que ayudan a un correcto funcionamiento de los elementos y sistemas constructivos. A diferencia de Chile, estos países han desarrollado sistemas mixtos que permiten erigir grandes estructuras de madera utilizando ya sea núcleos rígidos, diafragmas horizontales de CLT, MLE

para zonas solicitadas, muros de corte, pernos de anclajes, entre otros sistemas que se mezclan con una simple tabiquería en base a pies derechos y tableros contrachapados (wood-frame).

En este trabajo de título se busca adaptar la experiencia extranjera a la realidad chilena, país en donde existen multiplicidad de climas, grandes solicitaciones horizontales producto de movimientos telúricos de gran envergadura y una industria primaria numerosa, por lo que estudiar una estructura soportante de mediana altura con algún sistema de rigidización es totalmente abordable, más aún si, como en este caso, se intenta aplicar a una vivienda social.

Por lo tanto, siguiendo las buenas prácticas extranjeras, en cuanto al diseño y construcción, se estructura un edificio tipo poste-viga en madera laminada encolada con núcleo rígido de acero y tabiques tipo wood-frame, aplicando todas las precauciones propias de construir en madera existentes tanto en Chile, dadas por CORMA, como en el extranjero, dadas por el CTE (Código Técnico de Edificación de España) y el Canadian Wood frame House Construction, entre otros. Así, de acuerdo con los resultados entregados por el software ETABS 2016, las escuadrías propuestas en las tablas 4-9 y 4-12 son capaces de resistir las cargas estáticas y dinámicas que, gracias al bajo peso específico de la madera, ambas son bajas en comparación con las solicitaciones en estructuras de hormigón y acero.

Por lo que se puede concluir que este trabajo de título aborda la madera como una solución innovadora, en donde, si bien solo se realizó un análisis teórico del comportamiento de un edificio, abre paso a nuevos estudios con respecto a la construcción en altura con MLE, material ya instaurado en el país, pero no utilizado para erigir edificaciones. Además, con esta investigación se tiene que no es estrictamente necesario usar madera contralaminada (CLT) para diseñar proyectos de mediana altura en madera, puesto que las normas existentes en Madera Laminada Encolada y aserrada fueron suficientes para completar una estructuración en estos materiales.

Por su parte, al diseñar una vivienda social se tienen ciertas facilidades estructurales, como las cargas y dimensiones de habitaciones acotadas, como también existen motivaciones por aportar a mejorar la calidad de vida de las familias más vulnerables entregando hogares de alta calidad e innovadores. Si bien el valor monetario total de este proyecto no se calcula en este trabajo, ya se tiene que, según el subcapítulo 5.3, es una opción más económica que el hormigón armado, por lo menos en cuanto a materiales de obra gruesa. Además, existen varias formas de disminuir aún más los costos, como optimizando las dimensiones de maderos y conexiones según las solicitaciones pieza por pieza, como también disminuyendo los tiempos en faena al producir piezas modulares, como tabiques o subestructuras.

Finalmente, con este trabajo de título se pretende incentivar la construcción de viviendas sociales en madera o bien con otras finalidades, no necesariamente como vivienda económica. Sin embargo, para llegar a esto, se dejan propuesto el análisis de los desplazamientos diferenciales entre piezas ante movimientos telúricos, las deformaciones producto de cambios de humedad, la optimización de las piezas, el cálculo de las cimentaciones - las cuales dependen del lugar de emplazamiento - y el costo detallado de la construcción completa.

8 Bibliografía

1. **American Institute of Steel Construction (AISC). 2016.** AISC 360 Specification for Structural Steel Buildings. USA. Pp 17-78.
2. **American Society of Civil Engineers (ASCE). 2010.** Minimum Design loads for Buildings and Other Structures. USA. pp. 97.
3. **American Wood Council (AWC). 2012.** National Design Specification (NDS) for Wood Construction. USA. pp. 25-42.
4. **Anuario Forestal 2018. 2018.** Por Gysling Caselli A. “et al”. Chile. INFOR.
5. **Canadian Mortgage and Housing Corporation (CMHC). 2013.** Chapter 10 – Waal Framing. En: Canadian Wood-Frame House Construction. Canadá. pp. 108-117.
6. **Canadian Mortgage and Housing Corporation (CMHC). 2013.** Chapter 5 – Functions of the Building Envelope: Water, Air, Vapour and Heat Control. En: Canadian Wood-Frame House Construction. Canadá. pp. 33-58.
7. **Canadian Mortgage and Housing Corporation (CMHC). 2013.** Chapter 7 – Footings, Foundations and Slabs. En: Canadian Wood-Frame House Construction. Canadá. pp. 66-88
8. **Canadian Wood Council. 2017.** Mid-rise Best Practice - Proven construction Techniques for five and six storey wood frame Buildings. Canadá.
9. **Canadian Wood Council. S/F.** Wood innovation and Design Centre - a technical case study. Canadá. WoodWorks. pp. 6.
10. **Consejo de Monumentos Nacionales. S/F.** Sewell [en línea] <<https://www.monumentos.gob.cl/patrimonio-mundial/lista-actual/sewell>> [consulta: 28 de diciembre 2019].
11. **Cype Ingenieros, S.A.** Generador de precios de la construcción. Chile. [en línea] <http://www.chile.generadordeprecios.info/>> [consulta:30 de abril 2020].
12. **Dirección General de Vivienda Consejería de Vivienda. 2007.** Ejecución. En: Código técnico de la Edificación. Documento básico SE-M Seguridad estructural: Madera. España. pp. 98-99.
13. **Ferrer Briceño S.** 2018. Déficit habitacional en Chile: ¿La necesidad de construir nuevas viviendas? [en línea] INVITRO hábitat residencial y territorio

- <https://invi.uchilefau.cl/deficit-habitacional-en-chile-la-necesidad-de-construir-nuevas-viviendas/> [consultada: 3 de marzo 2020].
14. **FPInnovations. 2013.** “90% Draft” of “Technical Guide for the Design and Construction of tall Wood Buildings in Canada”. FPInnovations, Canadá. P 110.
 15. **Fritz A. 2004.** La construcción de Viviendas en Madera. Chile. CORMA. pp. 155-291.
 16. **Generadoras de Chile. 2019.** Descarbonización de matriz energética [en línea] <http://generadoras.cl/prensa/descarbonizacion-de-matriz-energetica> [consulta: 30 octubre 2019).
 17. **Gomez L, Leser H y Salomone V. 2013.** El sistema constructivo plataforma (plataforma frame) en Sewell [en línea] Revista de Urbanismo N°8, Especial Sewell https://web.uchile.cl/vignette/revistaurbanismo/CDA/urb_simple/0,1310,SCID%253D4328%2526ISID%253D276%2526IDG%253D3%2526ACT%253D0%2526PRT%253D4323,00.html [consultado:7 de enero 2020].
 18. **Grupo Polpaico. 1999.** Anexo N°5 Parámetros para estimación de volúmenes de obras para anteproyectos. En: Manual del Constructor. Chile. pp 295 – 299.
 19. **Gysling Caselli A. y Soto Aguirre D. 2016.** Industria Forestal Primaria en Chile. Periodo 2006-2015. Chile. INFOR.
 20. **HILAM – ARAUCO. 2019.** Folleto técnico – Terminación y Mantenimiento. Chile.
 21. **Huella Ecológica del Cemento – Cálculo de la huella ecológica de una industria cementera y propuesta de medidas de ingeniería sostenible destinadas a su reducción. 2010.** Por Cagio Villar J. “et al”. España. Laboratorio de ingeniería sostenible. pp. 29.
 22. **Instituto Forestal. 2020.** Boletín de Precios Forestales Junio 2020. Chile. INFOR. pp 10-22.
 23. **Instituto Nacional de Normalización. 1986.** NCh1537. Of1986. Diseño estructural de edificios – Cargas permanentes y de uso. Chile. pp. 3-9.
 24. **Instituto Nacional de Normalización. 1991.** NCh1198. Of1991. Madera – Construcciones en madera – Cálculo. Chile. pp. 4-143.
 25. **Instituto Nacional de Normalización. 1991.** NCh2165. Of1991. Tensiones admisibles para la madera laminada encolada de pino radiata. Chile. pp 3-23.
 26. **Instituto Nacional de Normalización. 2010.** NCh3171. Of2010. Diseño estructural – Disposiciones generales y combinaciones de cargas. Chile. pp. 12-13.
 27. **Instituto Nacional de Normalización. 2012.** NCh433. Of1996 Mod. 2012. Diseño sísmico de Edificios, decreto supremo 61/2011. Chile. pp. 11-35.
 28. **Instituto Nacional de Normalización. 2019.** NCh819. Of2019. Madera preservada – Clasificación según riesgo de deterioro en servicio y muestreo. Chile. pp. 3-4.
 29. **Labernia I Badia C. 2010.** Ejecución, Control y mantenimiento. En: Guía de construir con madera. Construir con Madera (CcM). España. Construir con Madera (CcM). pp. 7-43.
 30. **Madera 21. 2017.** Martín Hurtado: “En sustentabilidad, la madera se promueve sola” [en línea] <https://www.madera21.cl/martin-hurtado-en-sustentabilidad-la-madera-se-promueve-sola/> [consulta: 12 de diciembre 2019].
 31. **Madera 21. 2018.** Barrio Ecosustentable Oasis de Chañaral [en línea] <https://www.madera21.cl/project-view/barrio-ecosustentable-oasis-de-chanaral/> [consultado: 9 de enero 2020].
 32. **Ministerio de Vivienda y Urbanismo. 2018.** De la construcción. En: Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, Título 5, Capítulos 6. Chile.
 33. **Ministerio de Vivienda y Urbanismo. 2018.** Reglamento especial de viviendas económicas. En: Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, Título 6, Capítulos 1-4. Chile.

34. **Rethinking Apartment Building Construction – Consider Timber. 2018.** Por Forsythe P. “et al” 2º ed. Canadá. pp. 7-30.
35. **Swedish Wood. 2017.** Flexible buildings [en línea] <
<https://www.swedishwood.com/publications/wood-magazine/2017-3/flexible-buildings/>>
[consultado: 9 de marzo].
36. **University of British Columbia’s Centre for interactive Research on Sustainability. 2016.** Brock Commons Tallwood House: Construction modelling. Canadá.
37. **University of British Columbia’s Centre for interactive Research on Sustainability. 2016.** Brock Commons Tallwood House: Construction overview. Canadá.
38. **University of British Columbia’s Centre for interactive Research on Sustainability. 2016.** Brock Commons Tallwood House: Design & preconstruction overview. Canadá.
39. **University of British Columbia’s Centre for interactive Research on Sustainability. 2016.** Brock Commons Tallwood House: Design Modelling. Canadá.

9 ANEXOS

En este capítulo se precisa información complementaria que se utiliza a lo largo de este trabajo de título.

9.1 Humedad

Para encontrar la Humedad de Equilibrio Higroscópico (HEH) se pueden utilizar fórmulas o más sencillamente el ábaco de Kollman presentado en la siguiente figura.

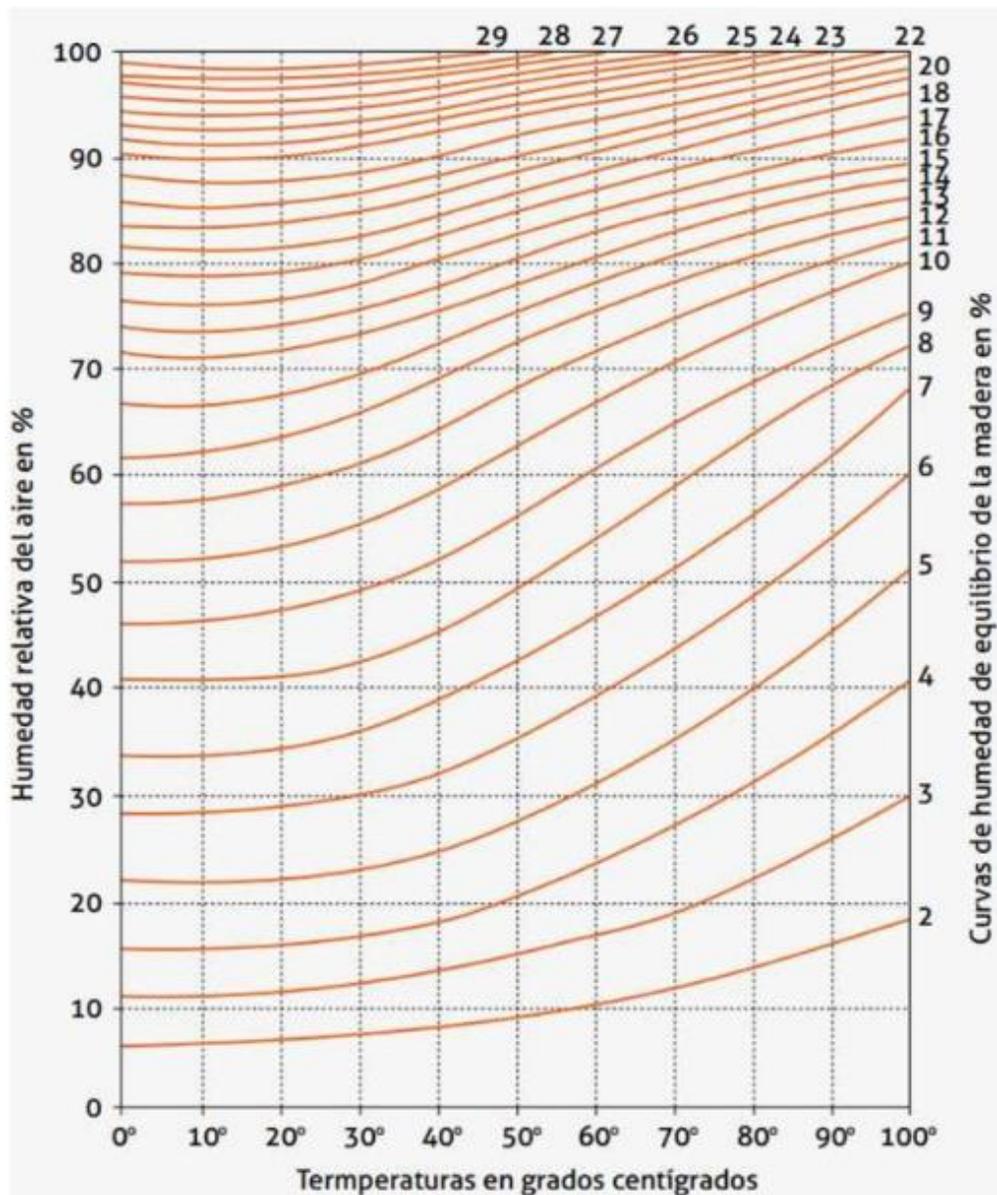


Figura 1, ábaco de Kollman sobre la HEH en la madera. Extraído desde KOLLMAN, F. 1959. "Tecnología de la Madera y sus Aplicaciones, Tomo 1". Ministerio de Agricultura, Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias, IFIE, Madrid

A este ábaco se ingresa con las temperaturas que recibe la madera y a la humedad relativa del aire a la que está expuesta, haciéndolo coincidir con alguna de las curvas en rojo (o interpolando de ser necesario) las cuales representan la HEH a la que llegará el madero.

9.2 Deformaciones

Las deformaciones en la estructura tienen dos naturalezas: las gravitacionales, impuestas por las cargas verticales en la estructura y las dinámicas, existentes durante un sismo o vientos.

En este trabajo de título se analizan ambas, la primera según lo presentado en 9.2.1 y las deformaciones dinámicas según 9.2.2.

9.2.1 Deformaciones gravitacionales

$$\delta_e = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I_x} \quad \text{Ecuación 9.2-1}$$

En donde, δ_e corresponde a la deformación elástica producto de las cargas lineales, q (en [kgf/m]), en un elemento de largo L , con inercia, I_x , entorno al eje X y módulo de elasticidad, E .

En este caso, “ q ” es determinado por el software ETABS.

Por su parte, el concepto de creep o deformación diferidas en el tiempo, es una propiedad característica de la madera, pues frente a cargas permanentes, además de experimentar deformaciones instantáneas al momento de aplicar una fuerza, la pieza sigue deflectándose progresivamente si no se elimina la carga inicial. Para cuantificar este fenómeno existen varias fórmulas, sin embargo, en esta memoria se utiliza la ecuación propuesta en la sección 8.2.4.4 de la NCh1198, la cual se presenta a continuación.

$$\delta_{tot} = \delta_e(1 + \rho) \quad \text{Ecuación 9.2-2}$$

En donde δ_e corresponde a la deformación elástica instantánea debido a la totalidad de las cargas, mientras que ρ es el factor de creep. La fórmula anterior tiene la sutileza de que sólo se utiliza para piezas en flexión cuando las solicitaciones permanentes (g) excedan el 50% de la solicitación total (q). El factor de creep queda definido como sigue:

$$\rho = \frac{1}{k_\delta} - 1 \quad \text{Ecuación 9.2-3}$$

$$k_\delta = \frac{3}{2} - \frac{g}{q} \quad \text{para contenido de humedad } H < 18\%$$

$$k_{\delta} = \frac{5}{3} - \frac{4}{3} \cdot \frac{g}{q} \quad \text{para contenido de humedad } H \geq 18\%$$

Además, en vigas simplemente apoyadas en donde la relación L/h es menor a 20 la NCh 1198 recomienda en su inciso 8.2.4.5 verificar la deformación por corte, δ_Q , según la ecuación 9.2-4:

$$\delta_Q = \frac{1.2M}{G \cdot A} \cdot 10^{-6} \quad \text{Ecuación 9.2-4}$$

En donde M representa el momento flector máximo en [kN m], G representa el módulo de corte en [MPa] y A la sección transversal de la viga en [mm²].

Estas deformaciones quedan limitadas por lo especificado en la tabla 2-2.

Por otro lado, el fenómeno de relajación en la madera se presenta cuando, a deformación constante, la fuerza que debe ser ejercida comienza a disminuir con el tiempo, tal cual muestra la figura 2.

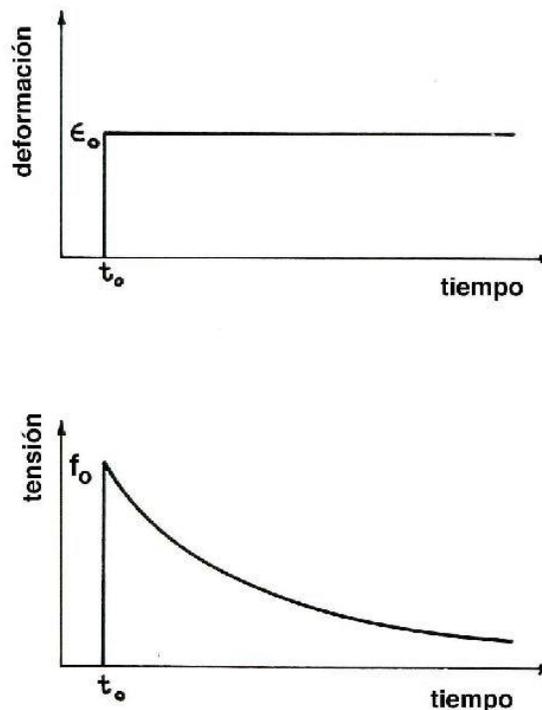


Figura 2, gráficos del fenómeno de relajación. Fuente: Schiewind A. Clarck C. Heritage Memorial series on Wood

9.2.2 Desplazamientos horizontales

Los desplazamientos horizontales son producto de las solicitaciones sísmicas y, debido que la madera es un material con alta elasticidad, se hace relevante controlarlas. Para esto se estudiaron distintas normas – estadounidense, canadiense y chilena – con tal de verificar la permisividad del movimiento del diafragma horizontal en cada piso.

Para Chile, según lo indicado en el capítulo 2, se tiene un desplazamiento de entre pisos (drift) limitado por $0,002 h$, en donde h representa la altura de entre pisos, en este caso 2570 [mm].

Para el caso estadounidense se aplican las fórmulas 2.4-2 y 2.4-3, considerando un $0,015h$ de drift permitido puesto que tiene un factor de riesgo III, según ASCE. Además, los factores que utiliza la fórmula 2.4-2 son los siguientes

Tabla 9-1, factores de ajuste para el cálculo de drifts. Fuente: ASCE.

C_d	4,5
I_e	1,25

Mientras que en la norma canadiense se utiliza la ecuación 2.4-1 y la tabla 9-2 para encontrar el R.

Tabla 9-2, factor R. Fuente: Civil and structural engineering seismic design of buildings and bridges

Structural system	R	Height limit, ft	Ω_o
<u>BEARING WALL SYSTEM</u>			
Wood light-framed walls with shear panels	5.5	65 ¹	2.8
Concrete or masonry shear walls	4.5	160	2.8
Steel braced frames	4.4	160	2.2
Heavy timber braced frames	2.8	65	2.2
<u>BUILDING FRAME SYSTEM</u>			
Steel eccentrically braced frame	7.0	240	2.8
Wood light-framed walls with shear panels	6.5	65 ¹	2.8
Concrete shear walls	5.5	240	2.8
Masonry shear walls	5.5	160	2.8
Steel ordinary braced frames	5.6	160	2.2
Heavy timber braced frames	5.6	65	2.2
Steel special concentrically braced frames	6.4	240	2.2
<u>MOMENT-RESISTING FRAME SYSTEM</u>			
Steel or concrete special moment-resisting frames	8.5	None	2.8
Masonry moment-resisting wall frames	6.5	160	2.8
Steel special truss moment frames	6.5	240	2.8
<u>DUAL SYSTEM</u>			
Concrete shear walls with SMRF ²	8.5	None	2.8
Masonry shear walls with SMRF	5.5	160	2.8
Masonry shear walls with masonry MRWF ³	6.0	160	2.8
Steel eccentrically braced frames with steel SMRF	8.5	None	2.8
Steel ordinary braced frames with steel SMRF	6.5	None	2.8
Steel special concentrically braced frames with steel SMRF	7.5	None	2.8
<u>INVERTED PENDULUM</u>			
Cantilevered column elements	2.2	35 ⁴	2.0

9.3 Fórmula de Meyerhof

Para el cálculo de las dimensiones de la zapata se utiliza la fórmula para cargas verticales e inclinadas de Meyerhof. A continuación, se precisan sus parámetros, variables y ecuaciones en cuestión

$$q_{ult,V} = cN_c s_c d_c + D_f \gamma N_q s_q d_q + 0,5 \gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma \quad \text{Ecuación 9.3-1}$$

$$q_{ult,R} = cN_c d_c i_c + D_f \gamma N_q d_q i_q + 0,5 \gamma B N_\gamma d_\gamma i_\gamma \quad \text{Ecuación 9.3-2}$$

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad \text{Ecuación 9.3-3}$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi \quad \text{Ecuación 9.3-4}$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \tan(1,4 \phi) \quad \text{Ecuación 9.3-5}$$

$$s_c = 1 + 0,2 K_p \frac{B}{L} \quad \text{Ecuación 9.3-6}$$

$$s_q = s_\gamma = 1 + 0,1 K_p \frac{B}{L} \quad \text{Ecuación 9.3-7}$$

$$d_c = 1 + 0,2 \sqrt{K_p} \frac{D_f}{B} \quad \text{Ecuación 9.3-8}$$

$$d_q = d_\gamma = 1 + 0,1 \sqrt{K_p} \frac{D_f}{B} \quad \text{Ecuación 9.3-9}$$

$$i_c = i_q = \left(1 - \frac{\theta^\circ}{90^\circ} \right)^2 \quad \text{Ecuación 9.3-10}$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{\theta^\circ}{\phi^\circ} \right)^2 \quad \text{Ecuación 9.3-11}$$

$$K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad \text{Ecuación 9.3-12}$$

De las ecuaciones anteriores, se tiene que los parámetros “d” son factores de profundidad, mientras que los “s” corresponden factores de forma y los “i” de inclinación. Por su parte, N_q , N_c y N_γ son variables dependientes de ϕ , ángulo de fricción interna (1° parámetro resistente de un suelo).

Además, B es el ancho de la zapata, L el largo de la zapata, D_f la profundidad del sello de fundación, γ el peso específico del suelo (en [kgf/m³]), “c” la cohesión del suelo (2° parámetro resistente) y finalmente θ corresponde al ángulo de la resultante entre carga vertical y horizontal, tal como muestra la figura 3.

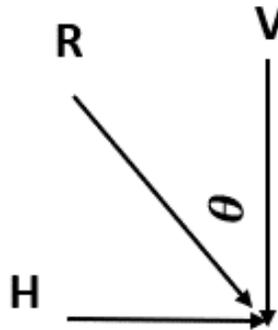


Figura 3, representación del ángulo generado por la solicitación resultante (R) entre carga horizontal (H) y vertical (V).

9.4 OGUC y construcción en madera

En este subcapítulo se detallan las exigencias presentes en la OGUC y que se adoptaron para una primera iteración en el diseño el edificio de estudio, las cuales se complementan con las normas y experiencias extranjeras.

- ❖ De acuerdo con el artículo 5.3.1. de la OGUC las construcciones de madera corresponden a clase E
- ❖ El artículo 5.4.2. presenta las sobrecargas mínimas para el cálculo estructural, estas se resumen en la siguiente tabla

Tabla 9-3, sobrecarga para los elementos constructivos de un edificio. Fuente: OGUC.

Elementos	Sobrecarga [kg/m^2]
Techos de inclinación menor a 1/20 (sin considerar nieve y viento)	100
Techos utilizados como terraza	350
Techos de inclinación mayor a 1/20 (sin considerar nieve y viento)	30
Pisos de entretechos y mansardas de habitación	150
Pisos de departamentos y dormitorios de hoteles	200

Toda costanera se verificará con una carga puntual en el centro del paño de 100 kg.

- ❖ El peso propio del entramado de viguetas, cadenetas, envigado de piso y revestimiento de cielo será inferior a 50 kgf/m² (punto 1 del artículo 5.6.9. OGUC)
- ❖ La máxima distancia permitida entre viguetas es de 0,50 metros, mientras que para cadenetas es de 1,40 metros (punto 2 del artículo 5.6.9. OGUC)
- ❖ Dependiendo de la luz de los maderos horizontales, las escuadrías de la madera aserrada no podrán ser inferiores a las señaladas en la tabla 9-4:

tabla 9-4, resumen de las escuadrías mínimas según la luz del elemento. Fuente: OGUC.

Pino radiata	LUZ MAXIMA [m]			
	1,6	2,4	3,2	3,6
Escuadrías mínimas	45x95	45x120	45x170	45x195

- ❖ Cuando la sobrecarga es superior a 150 kgf/m² se permiten seguir los siguientes procedimientos:
 - Disminuir la distancia de las viguetas a la mitad
 - Duplicar la base de las viguetas
- ❖ Las escuadrías de las vigas principales (vigas maestras) tendrán escuadrías mínimas según lo dispuesto en la siguiente tabla (artículo 5.6.10 OGUC)

tabla 9-5, resumen de escuadrías mínimas para vigas maestras según la luz de las vigas de entramado. Fuente: OGUC.

ESPECIES	LUZ MAXIMA ENTRAMADO [m]	LUZ MAXIMA VIGA PRINCIPAL [m]			
		1,5	2,0	2,5	3,0
Álamo y Pino Radiata	1,6	45x95	45x120	45x170	45x195
	2,4	45x120	45x145	45x195	45x495
	3,2	45x145	45x170	45x220	70x220
	3,6	45x145	45x195	70x195	70x220

- ❖ Cuando las vigas maestras reciben viguetas por ambos lados, estas podrán aumentar sus escuadrías, ya sea duplicando su base o aumentando el 40% de la altura de la viga.
- ❖ Cuando las vigas principales reciben cargas superiores a 150 kgf/m² desde un costado producto de un entramado horizontal, se permite aumentar las escuadrías de la siguiente manera: duplicar la base de la viga o aumentar la altura de la viga en un 40%
- ❖ Cuando las vigas principales reciben cargas superiores a 150 kgf/m² desde ambos costados producto de un entramado horizontal, se permite aumentar las escuadrías de la siguiente manera: duplicar la base de la viga y aumentar la altura de la viga en un 40% o duplicar la altura de la viga o cuadruplicar la base de la viga.
- ❖ “El espaciamiento máximo entre pies derechos será de 0,50 metros entre ejes” (artículo 5.6.11 OGUC)
- ❖ Los diafragmas se dispondrán en forma ortogonal y separados una distancia máxima de 3,6 metros entre ejes.
- ❖ Las escuadrías de los pies derechos se presentan en la siguiente tabla.

tabla 9-6, resumen de escuadrías mínimas para el pino radiata según altura del muro diafragma. Fuente: OGUC

PINO RADIATA	ALTURA DEL DIAFRAGMA [m]		
	2,0	2,5	3,0
Escuadría	45x70	45x95	45x120

- ❖ La resistencia térmica que deben tener los distintos elementos de secundarios (techumbre, muros y pisos) se precisan en la siguiente tabla.

Tabla 9-7, Resistencia Térmica, R100, dependiente de la zona térmica. Fuente: OGUC.

ZONA	TECHUMBRE R100(*)	MUROS R100(*)	PISOS VENTILA- DOS R100(*)
1	94	23	23
2	141	23	98
3	188	40	126
4	235	46	150
5	282	50	183
6	329	78	239
7	376	154	295

Finalmente, cabe destacar que estas exigencias mínimas se cumplen en toda la estructura, es más, los elementos, como es de esperar, tienen dimensiones más rigurosas.

10 Apéndice

10.1 Memoria de Cálculos

A continuación, se presentan las tablas de Microsoft Excel que se utilizaron para diseñar los distintos elementos resistentes de la superestructura del edificio de estudio. Para el diseño de estas piezas se utilizan las ecuaciones presentes en las normas NCh 1198 y NCh2165.

- Vigas principales

Tabla 10-1, Grado de la madera, datos geométricos y necesarios para obtener los factores de modificación. Viga principal

Datos		Cálculos		Resultados	
tiempo [s]	315.360.000	λ_{vo}	18,18	K_D	1,00
humedad [%]	14	λ_v	7,54	KH_f	0,96
L [mm]	3.040	E_f [MPa]	10.450	KH_{cz}	0,97
h [mm]	266	I_x [mm ⁴]	290.158.563	K_v	1,00
b [mm]	185	I_y [mm ⁴]	140.351.021	Kc_f	1,00
Grado	A	área [mm ²]	49.210	Kc_{cz}	1,00
n [-]	7			Kh_f	1,00

Tabla 10-2, Calculo de las Tensiones admisibles a partir de las tensiones básicas y razones de resistencia. Viga principal

Tensión admisible flexión. Eje X (Laminación horizontal)					
Datos		Cálculos		Resultados	
$F_{b,f}$ [MPa]	19	Ri	0,114	F_f [MPa]	14,22
$E_{b,f}$ [Mpa]	11.000	RRf	0,881	E_f [MPa]	10.450
		k	0,85	F_{fdis} [MPa]	13,64
				E_{fdis} [MPa]	10.022
Tensión admisible flexión. Eje Y (Laminación vertical)					
$F_{b,f}$ [MPa]	19	RRf	0,63	F_f [MPa]	11,97
$E_{b,f}$ [Mpa]	10.000			E_f [MPa]	9.500
				F_{fdis} [MPa]	11,47
				E_{fdis} [MPa]	9.111

Tabla 10-3, cálculo para corroborar si existe volcamiento, $\lambda_v > 50$, de acuerdo con la NCh1198. Viga principal

Datos		Cálculos		Resultados	
L_a [mm]	4000	L_v [mm]	7318	λ_v	7,54

Tabla 10-4, Momento máximo y el módulo de sección elástico para obtener es esfuerzo solicitante a flexión. Viga principal.

Solicitación a flexión. Eje X (laminación horizontal)					
Datos		Cálculos		Resultados	
M_{max} [Nm]	14.016,0	Wn [mm ³]	2.181.643	$F_{f\ solic}$ [MPa]	6,42
Solicitación a flexión. Eje Y (laminación vertical)					
M_{max} [Nm]	2.963,5	Wn [mm ³]	1.517.308,3	$F_{f\ solic}$ [MPa]	1,95

Tabla 10-5, cálculo de la tensión admisible de compresión paralela a la fibra, considerando pandeo. Viga principal.

Tensión admisible compresión paralela Eje X (laminación horizontal)					
Datos		Cálculos		Resultados	
$F_{b,cp}$ [MPa]	13	Y1	0,417	F_{cp} [MPa]	9,62
		RRcp	0,740	E_a [MPa]	9500
				$F_{cp\ dis}$ [Mpa]	9,23
				$E_a\ dis$ [Mpa]	9110,5
Tensión admisible compresión paralela Eje Y (laminación vertical)					
$F_{b,cp}$ [MPa]	13	RRf	0,75	F_{cp} [MPa]	9,75
				E_a [MPa]	9.500
				$F_{cp\ dis}$ [Mpa]	9,35
				$E_a\ dis$ [Mpa]	9110,5
Compresión bajo pandeo. Eje X (laminación horizontal)					
Datos		Cálculos		Resultados	
i_x [mm]	76,79	λ	31,67	$F_{c\lambda,dis}$ [MPa]	7,85
L_p [mm]	2.432	E_{dis} [MPa]	9.110,5		
Solicitación [tonf]	14,37	A	3,15		
$F_{c,solicit}$ [Mpa]	2,86	B	4,63		
		K_λ	0,85		
Compresión bajo pandeo. Eje Y (laminación vertical)					
i_x [mm]	53,40	λ	45,54	$F_{c\lambda,dis}$ [MPa]	6,93
L_p [mm]	2.432	E_{dis} [MPa]	9.110,5		
Solicitación [tonf]	14,37	A	1,86		
$F_{c,solicit}$ [Mpa]	2,86	B	2,21		
		K_λ	0,74		

Tabla 10-6, tensión básica, solicitante y tensión de diseño a la tracción paralela. Viga principal

Datos		Cálculos		Resultados	
$F_{b,tp}$ [MPa]	9,3	RRcz	0,65	F_{tp} [MPa]	6,05
$F_{c,solicit}$ [Mpa]	2,86			$F_{tp\ dis}$ [MPa]	5,79

Tabla 10-7, tensión básica, sollicitación y tensión de diseño al cizalle. Viga principal.

Tensión admisible cizalle. Eje X (laminación horizontal)					
Datos		Cálculos		Resultados	
$F_{b,cz}$ [MPa]	1,30	RRcz	1	F_{cz} [MPa]	1,3
Sollicitación [tonf]	2,28			$F_{cz\ dis}$ [MPa]	1,26
				$F_{cz,solicit}$ [MPa]	0,68
Tensión admisible cizalle. Eje Y (laminación vertical)					
$F_{b,cz}$ [MPa]	1,08	RRcz	0,875	F_{cz} [MPa]	0,95
Sollicitación [tonf]	1,00			$F_{cz\ dis}$ [MPa]	0,83
				$F_{cz,solicit}$ [MPa]	0,30

Tabla 10-8, deformaciones verticales, Y, considerando la fluencia en el tiempo, creep. Viga principal

Datos		Cálculos		Resultados	
q [N/mm]	4,35	K_{δ}	0,906	Y [mm]	1,60
L [mm]	3.040	p	0,104	creep [mm]	1,76
E [MPa]	10.450	δ_{limite} [mm]	8,44		
g [N/mm]	2,6				

- Vigas secundarias

Tabla 10-9, Grado de la madera, datos geométricos y necesarios para obtener los factores de modificación. Viga secundaria

Datos		Cálculos		Resultados	
tiempo [s]	315.360.000	λ_{vo}	18,18	K_D	1,00
humedad [%]	14	λ_v	6,36	KH_f	0,96
L [mm]	3.370	E_f [MPa]	10.450	KH_{cz}	0,97
h [mm]	228	I_x [mm ⁴]	182.723.760	K_v	1,00
b [mm]	185	I_y [mm ⁴]	120.300.875	Kc_f	1,00
Grado	A	área [mm ²]	42.180	Kc_{cz}	1,00
n [-]	5			Kh_f	1,00

Tabla 10-10, Momento máximo y el módulo de sección elástico para obtener es esfuerzo solicitante a flexión. Viga secundaria.

Sollicitación a flexión. Eje X (laminación horizontal)					
Datos		Cálculos		Resultados	
M_{max} [Nm]	8.352,5	Wn [mm ³]	1.602.840	$F_f\ solic$ [MPa]	5,21
Sollicitación a flexión. Eje Y (laminación vertical)					
M_{max} [Nm]	2.465,7	Wn [mm ³]	1.300.550	$F_f\ solic$ [MPa]	1,90

Tabla 10-11, Cálculo de las Tensiones admisibles a partir de las tensiones básicas y razones de resistencia. Viga secundaria

Tensión admisible flexión. Eje X (Laminación horizontal)					
Datos		Cálculos		Resultados	
$F_{b,f}$ [MPa]	19	Ri	0,121	F_f [MPa]	14,04
$E_{b,f}$ [Mpa]	11.000	RRf	0,869	E_f [MPa]	10.450
		k	0,85	F_{fdis} [MPa]	13,46
				E_{fdis} [MPa]	10.022
Tensión admisible flexión. Eje Y (Laminación vertical)					
$F_{b,f}$ [MPa]	19	RRf	0,63	F_f [MPa]	11,97
$E_{b,f}$ [Mpa]	10.000			E_f [MPa]	9.500
				F_{fdis} [MPa]	11,47
				E_{fdis} [MPa]	9.111

Tabla 10-12, cálculo de la tensión admisible de compresión paralela a la fibra, considerando pandeo. Viga secundaria

Tensión admisible compresión paralela Eje X (laminación horizontal)					
Datos		Cálculos		Resultados	
$F_{b,cp}$ [MPa]	13	Y1	0,417	F_{cp} [MPa]	9,62
		RRcp	0,740	E_a [MPa]	9500
				$F_{cp dis}$ [Mpa]	9,23
				$E_a dis$ [Mpa]	9110,5
Tensión admisible compresión paralela Eje Y (laminación vertical)					
$F_{b,cp}$ [MPa]	13	RRf	0,733	F_{cp} [MPa]	9,53
				E_a [MPa]	9.500
				$F_{cp dis}$ [Mpa]	9,13
				$E_a dis$ [Mpa]	9110,5
Compresión bajo pandeo. Eje X (laminación horizontal)					
Datos		Cálculos		Resultados	
i_x [mm]	65,82	λ	40,96	$F_{c\lambda,dis}$ [MPa]	7,21
L_p [mm]	2.696	E_{dis} [MPa]	9.110,5		
Solicitud [tonf]	3,34	A	2,16		
$F_{c,solicit}$ [Mpa]	0,78	B	2,77		
		K_λ	0,78		
Compresión bajo pandeo. Eje Y (laminación vertical)					
i_x [mm]	53,40	λ	50,48	$F_{c\lambda,dis}$ [MPa]	6,40
L_p [mm]	2.696	E_{dis} [MPa]	9.110,5		
Solicitud [tonf]	3,34	A	1,66		
$F_{c,solicit}$ [Mpa]	0,78	B	1,84		
		K_λ	0,70		

Tabla 10-13, cálculo para corroborar si existe volcamiento, $\lambda_v > 50$, de acuerdo con la NCh1198. Viga secundaria.

Datos		Cálculos		Resultados	
L_a [mm]	3300	L_v [mm]	6063	λ_v	6,36

Tabla 10-14, tensión básica, solicitación y tensión de diseño al cizalle. Viga secundaria

Tensión admisible cizalle. Eje X (laminación horizontal)					
Datos		Cálculos		Resultados	
$F_{b,cz}$ [MPa]	1,30	RRcz	1	F_{cz} [MPa]	1,3
Solicitación [tonf]	1,18			$F_{cz\ dis}$ [MPa]	1,26
				$F_{cz,solicit}$ [MPa]	0,41
Tensión admisible cizalle. Eje Y (laminación vertical)					
$F_{b,cz}$ [MPa]	1,08	RRcz	0,875	F_{cz} [MPa]	0,95
Solicitación [tonf]	0,62			$F_{cz\ dis}$ [MPa]	0,83
				$F_{cz,solicit}$ [MPa]	0,22

Tabla 10-15, tensión básica, solicitante y tensión de diseño a la tracción paralela. Viga secundaria

Datos		Cálculos		Resultados	
$F_{b,tp}$ [MPa]	9,3	RRcz	0,65	F_{tp} [MPa]	6,05
$F_{c,solicit}$ [Mpa]	0,78			$F_{tp\ dis}$ [MPa]	5,79

Tabla 10-16, deformaciones verticales, Y, considerando la fluencia en el tiempo, creep. Viga secundaria

Datos		Cálculos		Resultados	
q [N/mm]	6,47	K_δ	0,758	Y [mm]	5,69
L [mm]	3.370	p	0,319	creep [mm]	7,50
E [MPa]	10.450	δ_{limite} [mm]	9,36		
g [N/mm]	4,8				

- Diagonales MLE en el eje 1 y en dirección Y.

Tabla 10-17, Grado de la madera, datos geométricos y necesarios para obtener los factores de modificación. Diagonales eje 1 y en dirección Y (MLE.)

Datos		Cálculos		Resultados	
tiempo [s]	315.360.000	λ_{vo}	18,18	K_D	1,00
humedad [%]	19	λ_v	6,18	KH_f	0,86
L [mm]	4.166	E_f [MPa]	10.450	KH_{cz}	0,89
h [mm]	185	I_x [mm ⁴]	97.612.552	K_v	1,00
b [mm]	185	I_y [mm ⁴]	97.612.552	Kc_f	1,00
Grado	A	área [mm ²]	34.225	Kc_{cz}	1,00
n [-]	5			Kh_f	1,00

Tabla 10-18, Cálculo de las Tensiones admisibles a partir de las tensiones básicas y razones de resistencia. Diagonales eje 1 y en dirección Y (MLE)

Tensión admisible flexión. Eje X (Laminación horizontal)					
Datos		Cálculos		Resultados	
$F_{b,f}$ [MPa]	19	Ri	0,134	F_f [MPa]	13,71
$E_{b,f}$ [Mpa]	11.000	RRf	0,849	E_f [MPa]	10.450
		k	0,85	F_{fdis} [MPa]	11,74
				E_{fdis} [MPa]	8.950
Tensión admisible flexión. Eje Y (Laminación vertical)					
$F_{b,f}$ [MPa]	19	RRf	0,581	F_f [MPa]	11,04
$E_{b,f}$ [Mpa]	10.000			E_f [MPa]	9.500
				F_{fdis} [MPa]	9,45
				E_{fdis} [MPa]	8.136,8

Tabla 10-19, cálculo para corroborar si existe volcamiento, $\lambda_v > 50$, de acuerdo con la NCh1198. Diagonales eje 1 y en dirección Y (MLE)

Datos		Cálculos		Resultados	
L_a [mm]	4200	L_v [mm]	7075	λ_v	6,18

Tabla 10-20, Momento máximo y el módulo de sección elástico para obtener es esfuerzo solicitante a flexión. Diagonales eje 1 y en dirección Y (MLE.)

Solicitud a flexión. Eje X (laminación horizontal)					
Datos		Cálculos		Resultados	
M_{max} [Nm]	246,0	W_n [mm ³]	1.055.271	$F_{f solíc}$ [MPa]	0,23
Solicitud a flexión. Eje Y (laminación vertical)					
M_{max} [Nm]	0	W_n [mm ³]	1.055.271	$F_{f solíc}$ [MPa]	0

Tabla 10-21, tensión básica, solicitud y tensión de diseño al cizalle. Diagonales eje 1 y en dirección Y (MLE.)

Tensión admisible cizalle. Eje X (laminación horizontal)					
Datos		Cálculos		Resultados	
$F_{b,cz}$ [MPa]	1,30	RRcz	1	F_{cz} [MPa]	1,3
Solicitud [tonf]	0,02			$F_{cz dis}$ [MPa]	1,26
				$F_{cz,solicit}$ [MPa]	0,01
Tensión admisible cizalle. Eje Y (laminación vertical)					
$F_{b,cz}$ [MPa]	1,08	RRcz	0,875	F_{cz} [MPa]	0,95
Solicitud [tonf]	0			$F_{cz dis}$ [MPa]	0,83
				$F_{cz,solicit}$ [MPa]	0

Tabla 10-22, cálculo de la tensión admisible de compresión paralela a la fibra, considerando pandeo. Diagonales eje 1 y en dirección Y (MLE.)

Tensión admisible compresión paralela Eje X (laminación horizontal)					
Datos		Cálculos		Resultados	
$F_{b,cp}$ [MPa]	13	Y1	0,417	F_{cp} [MPa]	9,62
		RRcp	0,740	E_a [MPa]	9.500
				$F_{cp\ dis}$ [Mpa]	8,24
				$E_{a\ dis}$ [Mpa]	8136,8
Tensión admisible compresión paralela Eje Y (laminación vertical)					
$F_{b,cp}$ [MPa]	13	RRf	0,715	F_{cp} [MPa]	9,30
				E_a [MPa]	9.500
				$F_{cp\ dis}$ [Mpa]	7,96
				$E_{a\ dis}$ [Mpa]	8.137
Compresión bajo pandeo. Eje X (laminación horizontal)					
Datos		Cálculos		Resultados	
i_x [mm]	53,40	λ	74,11	$F_{c\lambda,dis}$ [MPa]	3,99
L_p [mm]	3.958	E_{dis} [MPa]	8.136,8		
Solicitud [tonf]	6,79	A	1,12		
$F_{c,solicit}$ [Mpa]	1,95	B	0,85		
		K_λ	0,48		
Compresión bajo pandeo. Eje Y (laminación vertical)					
i_x [mm]	53,40	λ	74,11	$F_{c\lambda,dis}$ [MPa]	3,93
L_p [mm]	3.958	E_{dis} [MPa]	8.136,8		
Solicitud [tonf]	6,79	A	1,13		
$F_{c,solicit}$ [Mpa]	1,95	B	0,88		
		K_λ	0,49		

Tabla 10-23, tensión básica, solicitante y tensión de diseño a la tracción paralela. Diagonales eje 1 y en dirección Y (MLE.)

Datos		Cálculos		Resultados	
$F_{b,tp}$ [MPa]	9,3	RRcz	0,65	F_{tp} [MPa]	6,05
$F_{c,solicit}$ [Mpa]	1,95			$F_{tp\ dis}$ [MPa]	5,79

- Diagonales de MLE en el eje 4 (dirección X global)

Tabla 10-24, Grado de la madera, datos geométricos y necesarios para obtener los factores de modificación. Diagonal eje 4, dirección X global (MLE)

Datos		Cálculos		Resultados	
tiempo [s]	315.360.000	λ_{vo}	18,18	K_D	1,00
humedad [%]	12	λ_v	6,77	KH_f	1,00
L [mm]	3.226	E_f [MPa]	10.450	KH_{cz}	1,00
h [mm]	228	I_x [mm ⁴]	182.723.760	K_v	1,00
b [mm]	185	I_y [mm ⁴]	120.300.875	Kc_f	1,00
Grado	A	área [mm ²]	42.180	Kc_{cz}	1,00
n [-]	5			Kh_f	1,00

Tabla 10-25, Calculo de las Tensiones admisibles a partir de las tensiones básicas y razones de resistencia. Diagonal eje 4, dirección X global (MLE)

Tensión admisible flexión. Eje X (Laminación horizontal)					
Datos		Cálculos		Resultados	
$F_{b,f}$ [MPa]	19	Ri	0,121	F_f [MPa]	14,04
$E_{b,f}$ [Mpa]	11.000	RRf	0,869	E_f [MPa]	10.450
		k	0,85	F_{fdis} [MPa]	14,03
				E_{fdis} [MPa]	10.450
Tensión admisible flexión. Eje Y (Laminación vertical)					
$F_{b,f}$ [MPa]	19	RRf	0,63	F_f [MPa]	11,97
$E_{b,f}$ [Mpa]	10.000			E_f [MPa]	9.500
				F_{fdis} [MPa]	11,97
				E_{fdis} [MPa]	9.500,0

Tabla 10-26, cálculo para corroborar si existe volcamiento, $\lambda_v > 50$, de acuerdo con la NCh1198 Diagonal eje 4, dirección X global (MLE)

Datos		Cálculos		Resultados	
L_a [mm]	3800	L_v [mm]	6878	λ_v	6,77

Tabla 10-27, Momento máximo y el módulo de sección elástico para obtener es esfuerzo solicitante a flexión. Diagonal eje 4, dirección X global (MLE)

Solicitud a flexión. Eje X (laminación horizontal)					
Datos		Cálculos		Resultados	
M_{max} [Nm]	206,8	W_n [mm ³]	1.602.840	$F_{f solic}$ [MPa]	0,13
Solicitud a flexión. Eje Y (laminación vertical)					
M_{max} [Nm]	0	W_n [mm ³]	1.300.550	$F_{f solic}$ [MPa]	0

Tabla 10-28, cálculo de la tensión admisible de compresión paralela a la fibra, considerando pandeo. Diagonal eje 4, dirección X global (MLE)

Tensión admisible compresión paralela Eje X (laminación horizontal)					
Datos		Cálculos		Resultados	
$F_{b,cp}$ [MPa]	13	Y1	0,417	F_{cp} [MPa]	9,62
		RRcp	0,740	E_a [MPa]	9.500
				$F_{cp\ dis}$ [Mpa]	9,62
				$E_a\ dis$ [Mpa]	9500,0
Tensión admisible compresión paralela Eje Y (laminación vertical)					
$F_{b,cp}$ [MPa]	13	RRf	0,733	F_{cp} [MPa]	9,53
				E_a [MPa]	9.500
				$F_{cp\ dis}$ [Mpa]	9,53
				$E_a\ dis$ [Mpa]	9.500
Compresión bajo pandeo. Eje X (laminación horizontal)					
Datos		Cálculos		Resultados	
i_x [mm]	65,82	λ	46,56	$F_{c\lambda,dis}$ [MPa]	7,07
L_p [mm]	3.065	E_{dis} [MPa]	9.500,0		
Solicitación [tonf]	24,20	A	1,83		
$F_{c,solicit}$ [Mpa]	5,62	B	2,14		
		K_λ	0,73		
Compresión bajo pandeo. Eje Y (laminación vertical)					
i_x [mm]	53,4	λ	57,39	$F_{c\lambda,dis}$ [MPa]	6,07
L_p [mm]	3.064,7	E_{dis} [MPa]	9.500,0		
Solicitación [tonf]	24,20	A	1,44		
$F_{c,solicit}$ [Mpa]	5,62	B	1,43		
		K_λ	0,64		

Tabla 10-29, tensión básica, solicitación y tensión de diseño al cizalle. Diagonal eje 4, dirección X global (MLE)

Tensión admisible cizalle. Eje X (laminación horizontal)					
Datos		Cálculos		Resultados	
$F_{b,cz}$ [MPa]	1,30	RRcz	1	F_{cz} [MPa]	1,3
Solicitación [tonf]	0,03			$F_{cz\ dis}$ [MPa]	1,30
				$F_{cz,solicit}$ [MPa]	0,01
Tensión admisible cizalle. Eje Y (laminación vertical)					
$F_{b,cz}$ [MPa]	1,08	RRcz	0,875	F_{cz} [MPa]	0,95
Solicitación [tonf]	0			$F_{cz\ dis}$ [MPa]	0,83
				$F_{cz,solicit}$ [MPa]	0

- Columnas externas

Tabla 10-30, Grado de la madera, datos geométricos y necesarios para obtener los factores de modificación. Columnas externas.

Datos		Cálculos		Resultados	
tiempo [s]	315.360.000	λ_{vo}	18,18	K_D	1,00
humedad [%]	14	λ_v	5,00	KH_f	0,96
L [mm]	2.570	E_f [MPa]	10.450	KH_{cz}	0,97
h [mm]	185	I_x [mm ⁴]	97.612.552	K_v	1,00
b [mm]	185	I_y [mm ⁴]	97.612.552	Kc_f	1,00
Grado	A	área [mm ²]	34225	Kc_{cz}	1,00
n [-]	5			Kh_f	1,00

Tabla 10-31, Calculo de las Tensiones admisibles a partir de las tensiones básicas y razones de resistencia. Columnas externas.

Tensión admisible flexión. Eje X (Laminación horizontal)					
Datos		Cálculos		Resultados	
$F_{b,f}$ [MPa]	19	Ri	0,121	F_f [MPa]	14,04
$E_{b,f}$ [Mpa]	11.000	RRf	0,869	E_f [MPa]	10.450
		k	0,85	F_{fdis} [MPa]	13,46
				E_{fdis} [MPa]	10.022
Tensión admisible flexión. Eje Y (Laminación vertical)					
$F_{b,f}$ [MPa]	19	RRf	0,63	F_f [MPa]	11,97
$E_{b,f}$ [Mpa]	10.000			E_f [MPa]	9.500
				F_{fdis} [MPa]	11,47
				E_{fdis} [MPa]	9.110,5

Tabla 10-32, cálculo para corroborar si existe volcamiento, $\lambda_v > 50$, de acuerdo con la NCh1198. Columnas externas.

Datos		Cálculos		Resultados	
L_a [mm]	2500	L_v [mm]	4630	λ_v	5,00

Tabla 10-33, Momento máximo y el módulo de sección elástico para obtener es esfuerzo solicitante a flexión. Columnas externas.

Solicitud a flexión. Eje X (laminación horizontal)					
Datos		Cálculos		Resultados	
M_{max} [Nm]	4.009,2	W_n [mm ³]	1.055.271	$F_{f solic}$ [MPa]	3,8
Solicitud a flexión. Eje Y (laminación vertical)					
M_{max} [Nm]	2.263,8	W_n [mm ³]	1.055.271	$F_{f solic}$ [MPa]	2,15

Tabla 10-34, cálculo de la tensión admisible de compresión paralela a la fibra, considerando pandeo. Columnas externas.

Tensión admisible compresión paralela Eje X (laminación horizontal)					
Datos		Cálculos		Resultados	
$F_{b,cp}$ [MPa]	13	Y1	0,417	F_{cp} [MPa]	9,62
		RRcp	0,740	E_a [MPa]	9.500
				$F_{cp\ dis}$ [Mpa]	9,23
				$E_{a\ dis}$ [Mpa]	9.110,5
Tensión admisible compresión paralela Eje Y (laminación vertical)					
$F_{b,cp}$ [MPa]	13	RRf	0,733	F_{cp} [MPa]	9,53
				E_a [MPa]	9.500
				$F_{cp\ dis}$ [Mpa]	9,13
				$E_{a\ dis}$ [Mpa]	9.111
Compresión bajo pandeo. Eje X (laminación horizontal)					
Datos		Cálculos		Resultados	
i_x [mm]	53,40	λ	72,18	$F_{c\lambda,dis}$ [MPa]	4,62
L_p [mm]	3.855	E_{dis} [MPa]	9.110,5		
Solicitud [tonf]	15,63	A	1,14		
$F_{c,solicit}$ [Mpa]	4,48	B	0,89		
		K_λ	0,50		
Compresión bajo pandeo. Eje Y (laminación vertical)					
i_x [mm]	53,40	λ	72,18	$F_{c\lambda,dis}$ [MPa]	4,59
L_p [mm]	3.855	E_{dis} [MPa]	9.110,5		
Solicitud [tonf]	15,63	A	1,15		
$F_{c,solicit}$ [Mpa]	4,48	B	0,90		
		K_λ	0,50		

Tabla 10-35, tensión básica, solicitud y tensión de diseño al cizalle. Columnas externas.

Tensión admisible cizalle. Eje X (laminación horizontal)					
Datos		Cálculos		Resultados	
$F_{b,cz}$ [MPa]	1,30	RRcz	1	F_{cz} [MPa]	1,3
Solicitud [tonf]	0,33			$F_{cz\ dis}$ [MPa]	1,26
				$F_{cz,solicit}$ [MPa]	0,14
Tensión admisible cizalle. Eje Y (laminación vertical)					
$F_{b,cz}$ [MPa]	1,08	RRcz	0,875	F_{cz} [MPa]	0,95
Solicitud [tonf]	0,19			$F_{cz\ dis}$ [MPa]	0,83
				$F_{cz,solicit}$ [MPa]	0,082

Tabla 10-36, tensión básica, solicitante y tensión de diseño a la tracción paralela. Columnas externas.

Datos		Cálculos		Resultados	
$F_{b,tp}$ [MPa]	9,3	RRcz	0,65	F_{tp} [MPa]	6,05
$F_{c,solicit}$ [Mpa]	4,48			$F_{tp\ dis}$ [MPa]	5,79

- Columnas internas

Tabla 10-37, Grado de la madera, datos geométricos y necesarios para obtener los factores de modificación. Columnas internas.

Datos		Cálculos		Resultados	
tiempo [s]	315.360.000	λ_{vo}	18,18	K_D	1,00
humedad [%]	12	λ_v	4,57	KH_f	1,00
L [mm]	2.570	E_f [MPa]	10.450	KH_{cz}	1,00
h [mm]	228	I_x [mm ⁴]	225.194.688	K_v	1,00
b [mm]	228	I_y [mm ⁴]	225.194.688	Kc_f	1,00
Grado	A	área [mm ²]	51984	Kc_{cz}	1,00
n [-]	5			Kh_f	1,00

Tabla 10-38, Calculo de las Tensiones admisibles a partir de las tensiones básicas y razones de resistencia. Columnas internas.

Tensión admisible flexión. Eje X (Laminación horizontal)					
Datos		Cálculos		Resultados	
$F_{b,f}$ [MPa]	19	Ri	0,121	F_f [MPa]	14,04
$E_{b,f}$ [Mpa]	11.000	RRf	0,869	E_f [MPa]	10.450
		k	0,85	$F_{f\ dis}$ [MPa]	14,03
				$E_{f\ dis}$ [MPa]	10.450
Tensión admisible flexión. Eje Y (Laminación vertical)					
$F_{b,f}$ [MPa]	19	RRf	0,63	F_f [MPa]	11,97
$E_{b,f}$ [Mpa]	10.000			E_f [MPa]	9.500
				$F_{f\ dis}$ [MPa]	11,97
				$E_{f\ dis}$ [MPa]	9.500,0

Tabla 10-39, Momento máximo y el módulo de sección elástico para obtener es esfuerzo solicitante a flexión. Columnas internas.

Solicitación a flexión. Eje X (laminación horizontal)					
Datos		Cálculos		Resultados	
M_{max} [Nm]	6.768,9	Wn [mm ³]	1.975.392	$F_{f\ solic}$ [MPa]	3,43
Solicitación a flexión. Eje Y (laminación vertical)					
M_{max} [Nm]	3.761,2	Wn [mm ³]	1.975.392	$F_{f\ solic}$ [MPa]	1,90

Tabla 10-40, cálculo para corroborar si existe volcamiento, $\lambda_y > 50$, de acuerdo con la NCh1198. Columnas internas.

Datos		Cálculos		Resultados	
L_a [mm]	2500	L_v [mm]	4759	λ_v	4,57

Tabla 10-41, cálculo de la tensión admisible de compresión paralela a la fibra, considerando pandeo. Columnas internas.

Tensión admisible compresión paralela Eje X (laminación horizontal)					
Datos		Cálculos		Resultados	
$F_{b,cp}$ [MPa]	13	Y1	0,417	F_{cp} [MPa]	9,62
		RRcp	0,740	E_a [MPa]	9.500
				$F_{cp\ dis}$ [Mpa]	9,62
				$E_a\ dis$ [Mpa]	9.500,0
Tensión admisible compresión paralela Eje Y (laminación vertical)					
$F_{b,cp}$ [MPa]	13	RRf	0,733	F_{cp} [MPa]	9,53
				E_a [MPa]	9.500
				$F_{cp\ dis}$ [Mpa]	9,53
				$E_a\ dis$ [Mpa]	9.500
Compresión bajo pandeo. Eje X (laminación horizontal)					
Datos		Cálculos		Resultados	
i_x [mm]	65,82	λ	58,57	$F_{c\lambda,dis}$ [MPa]	6,00
L_p [mm]	3.855	E_{dis} [MPa]	9.500,0		
Solicitud [tonf]	29,33	A	1,40		
$F_{c,solicit}$ [Mpa]	5,53	B	1,35		
		K_λ	0,62		
Compresión bajo pandeo. Eje Y (laminación vertical)					
i_x [mm]	65,82	λ	58,6	$F_{c\lambda,dis}$ [MPa]	5,96
L_p [mm]	3.855	E_{dis} [MPa]	9.500		
Solicitud [tonf]	29,33	A	1,41		
$F_{c,solicit}$ [Mpa]	5,53	B	1,37		
		K_λ	0,63		

Tabla 10-42, tensión básica, solicitante y tensión de diseño a la tracción paralela. Columnas internas.

Datos		Cálculos		Resultados	
$F_{b,tp}$ [MPa]	9,3	RRcz	0,65	F_{tp} [MPa]	6,05
$F_{c,solicit}$ [Mpa]	5,53			$F_{tp\ dis}$ [MPa]	6,04

Tabla 10-43, tensión básica, solicitación y tensión de diseño al cizalle. Columnas internas.

Tensión admisible cizalle. Eje X (laminación horizontal)					
Datos		Cálculos		Resultados	
$F_{b,cz}$ [MPa]	1,30	RRcz	1	F_{cz} [MPa]	1,3
Solicitación [tonf]	0,54			$F_{cz\ dis}$ [MPa]	1,30
				$F_{cz,solicit}$ [MPa]	0,15
Tensión admisible cizalle. Eje Y (laminación vertical)					
$F_{b,cz}$ [MPa]	1,08	RRcz	0,875	F_{cz} [MPa]	0,95
Solicitación [tonf]	0,33			$F_{cz\ dis}$ [MPa]	0,83
				$F_{cz,solicit}$ [MPa]	0,094

- Columna balcón

Tabla 10-44, Grado de la madera, datos geométricos y necesarios para obtener los factores de modificación. Columna balcón.

Datos		Cálculos		Resultados	
tiempo [s]	315.360.000	λ_{vo}	18,18	K_D	1,00
humedad [%]	19	λ_v	5,70	KH_f	0,86
L [mm]	2.570	E_f [MPa]	10.450	KH_{cz}	0,89
h [mm]	138	I_x [mm ⁴]	30.222.828	K_v	1,00
b [mm]	138	I_y [mm ⁴]	30.222.828	Kc_f	1,00
Grado	A	área [mm ²]	19044	Kc_{cz}	1,00
n [-]	4			Kh_f	1,00

Tabla 10-45, Calculo de las Tensiones admisibles a partir de las tensiones básicas y razones de resistencia. Columna balcón.

Tensión admisible flexión. Eje X (Laminación horizontal)					
Datos		Cálculos		Resultados	
$F_{b,f}$ [MPa]	19	Ri	0,134	F_f [MPa]	13,71
$E_{b,f}$ [Mpa]	11.000	RRf	0,849	E_f [MPa]	10.450
		k	0,85	$F_{f\ dis}$ [MPa]	11,74
				$E_{f\ dis}$ [MPa]	8.950
Tensión admisible flexión. Eje Y (Laminación vertical)					
$F_{b,f}$ [MPa]	19	RRf	0,63	F_f [MPa]	11,97
$E_{b,f}$ [Mpa]	10.000			E_f [MPa]	9.500
				$F_{f\ dis}$ [MPa]	10,25
				$E_{f\ dis}$ [MPa]	8.136,8

Tabla 10-46, cálculo para corroborar si existe volcamiento, $\lambda_y > 50$, de acuerdo con la NCh1198. Columna balcón.

Datos		Cálculos		Resultados	
L_a [mm]	2500	L_y [mm]	4489	λ_y	5,70

Tabla 10-47, Momento máximo y el módulo de sección elástico para obtener es esfuerzo solicitante a flexión. Columna balcón.

Solicitud a flexión. Eje X (laminación horizontal)					
Datos		Cálculos		Resultados	
M_{max} [Nm]	1.244,6	W_n [mm ³]	438.012	$F_{f\ solic}$ [MPa]	2,84
Solicitud a flexión. Eje Y (laminación vertical)					
M_{max} [Nm]	396,9	W_n [mm ³]	438.012	$F_{f\ solic}$ [MPa]	0,91

Tabla 10-48, cálculo de la tensión admisible de compresión paralela a la fibra, considerando pandeo. Columna balcón.

Tensión admisible compresión paralela Eje X (laminación horizontal)					
Datos		Cálculos		Resultados	
$F_{b,cp}$ [MPa]	13	Y1	0,417	F_{cp} [MPa]	9,62
		RRcp	0,740	E_a [MPa]	9.500
				$F_{cp\ dis}$ [Mpa]	8,24
				$E_a\ dis$ [Mpa]	8.136,8
Tensión admisible compresión paralela Eje Y (laminación vertical)					
$F_{b,cp}$ [MPa]	13	RRf	0,762	F_{cp} [MPa]	9,91
				E_a [MPa]	9.500
				$F_{cp\ dis}$ [Mpa]	8,48
				$E_a\ dis$ [Mpa]	8.137
Compresión bajo pandeo. Eje X (laminación horizontal)					
Datos		Cálculos		Resultados	
i_x [mm]	39,84	λ	96,77	$F_{c\lambda,dis}$ [MPa]	2,72
L_p [mm]	3.855	E_{dis} [MPa]	8.136,8		
Solicitud [tonf]	4,11	A	0,92		
$F_{c,solicit}$ [Mpa]	2,11	B	0,50		
		K_λ	0,33		
Compresión bajo pandeo. Eje Y (laminación vertical)					
i_x [mm]	39,84	λ	96,8	$F_{c\lambda,dis}$ [MPa]	2,74
L_p [mm]	3.855	E_{dis} [MPa]	8136,75		
Solicitud [tonf]	4,11	A	0,91		
$F_{c,solicit}$ [Mpa]	2,11	B	0,48		
		K_λ	0,32		

Tabla 10-49, tensión básica, sollicitación y tensión de diseño al cizalle. Columna balcón.

Tensión admisible cizalle. Eje X (laminación horizontal)					
Datos		Cálculos		Resultados	
$F_{b,cz}$ [MPa]	1,30	RRcz	1	F_{cz} [MPa]	1,3
Solicitación [tonf]	0,10			$F_{cz\ dis}$ [MPa]	1,15
				$F_{cz,solicit}$ [MPa]	0,08
Tensión admisible cizalle. Eje Y (laminación vertical)					
$F_{b,cz}$ [MPa]	1,08	RRcz	0,875	F_{cz} [MPa]	0,95
Solicitación [tonf]	0,03			$F_{cz\ dis}$ [MPa]	0,83
				$F_{cz,solicit}$ [MPa]	0,024

Tabla 10-50, tensión básica, sollicitante y tensión de diseño a la tracción paralela. Columna balcón.

Datos		Cálculos		Resultados	
$F_{b,tp}$ [MPa]	9,3	RRcz	0,65	F_{tp} [MPa]	6,05
$F_{c,solicit}$ [Mpa]	2,11			$F_{tp\ dis}$ [MPa]	5,18

- Envidado de piso

Tabla 10-51, Grado de la madera, datos geométricos y necesarios para obtener los factores de modificación. Tablas de piso (90x162).

Datos		Cálculos		Resultados	
tiempo [s]	315.360.000	λ_{vo}	25,3	K_D	1,00
humedad [%]	14	λ_v	10,7	KH_f	0,96
L [mm]	3280	E_f [MPa]	11.279	KH_{cz}	0,97
h [mm]	162	I_x [mm ⁴]	31886460	K_v	1,00
b [mm]	90	I_y [mm ⁴]	9.841.500	Kc_f	1,15
S	50	área [mm ²]	14580	Kc_{cz}	1,10
				Kh_f	0,97

Tabla 10-52, Calculo de las Tensiones admisibles a partir de las tensiones básicas y razones de resistencia. Tablas de piso (90x162).

Tensión admisible flexión. Eje X (Laminación horizontal)					
Datos		Cálculos		Resultados	
F_f [MPa]	11	K_{ft}	0,98	F_{fdis} [MPa]	10,78
E_f [Mpa]	10.500	K_{fc}	1,10	E_{fdis} [MPa]	11.279
Tensión admisible flexión. Eje Y (Laminación vertical)					
F_f [MPa]	11	K_{ft}	0,98	F_{fdis} [MPa]	10,83
E_f [Mpa]	10.500	K_{fc}	0,98	E_{fdis} [MPa]	8.697

Tabla 10-53, cálculo para corroborar si existe volcamiento, $\lambda_v > 50$, de acuerdo con la NCh1198. Tablas de piso (90x162).

Datos		Cálculos		Resultados	
L_a [mm]	3200	L_v [mm]	5702	λ_v	10,68

Tabla 10-54, Momento máximo y el módulo de sección elástico para obtener es esfuerzo solicitante a flexión. Tablas de piso (90x162).

Solicitud a flexión. Eje X (laminación horizontal)					
Datos		Cálculos		Resultados	
M_{max} [Nm]	1.490,4	W_n [mm ³]	393.660	$F_{f\ solic}$ [MPa]	3,79
Solicitud a flexión. Eje Y (laminación vertical)					
M_{max} [Nm]	504,7	W_n [mm ³]	218.700	$F_{f\ solic}$ [MPa]	2,31

Tabla 10-55, cálculo de la tensión admisible de compresión paralela a la fibra, considerando pandeo. Tablas de piso (90x162).

Tensión admisible compresión paralela Eje X (laminación horizontal)					
Datos		Cálculos		Resultados	
F_{cp} [MPa]	8,3	K	1,10	$F_{cp\ dis}$ [Mpa]	9,15
Tensión admisible compresión paralela Eje Y (laminación vertical)					
F_{cp} [MPa]	8,3	K	1,10	$F_{cp\ dis}$ [Mpa]	9,15
Compresión bajo pandeo. Eje X (laminación horizontal)					
Datos		Cálculos		Resultados	
i_x [mm]	46,77	λ	70,13	$F_{c\lambda,dis}$ [MPa]	5,05
L_p [mm]	3280	E_{dis} [MPa]	11.279		
Solicitud [tonf]	0,775	A	1,50		
$F_{c,solicit}$ [Mpa]	0,52	B	1,36		
		K_λ	0,55		
Compresión bajo pandeo. Eje Y (laminación vertical)					
i_y [mm]	25,98	λ	123,16	$F_{c\lambda,dis}$ [MPa]	2,07
L_p [mm]	3280	E_{dis} [MPa]	8136,75		
Solicitud [tonf]	0,775	A	0,86		
$F_{c,solicit}$ [Mpa]	0,52	B	0,34		
		K_λ	0,22		

Tabla 10-56, tensión básica, solicitante y tensión de diseño a la tracción paralela. Tablas de piso (90x162).

Datos		Cálculos		Resultados	
F_{tp} [MPa]	6,3	K	0,78	$F_{tp\ dis}$ [MPa]	4,93
Solicitud [tonf]	0,77			$F_{tp,solicit}$ [Mpa]	2,09

Tabla 10-57, tensión básica, solicitación y tensión de diseño al cizalle. Tablas de piso (90x162).

Tensión admisible cizalle. Eje X					
Datos		Cálculos		Resultados	
F_{cz} [MPa]	0,90	K	1,064	$F_{cz\ dis}$ [MPa]	0,958
Solicitación [tonf]	0,19			$F_{cz,solicit}$ [MPa]	0,189
Tensión admisible cizalle. Eje Y					
F_{cz} [MPa]	0,90	K	0,98	$F_{cz\ dis}$ [MPa]	0,88
Solicitación [tonf]	0,11			$F_{cz,solicit}$ [MPa]	0,073

Tabla 10-58, deformaciones verticales, Y, considerando la fluencia en el tiempo, creep. Tablas de piso (90x162).

Datos		Cálculos		Resultados	
q [N/mm]	0,95	K_{δ}	0,65	Y [mm]	4,27
L [mm]	3.280	p	0,54	creep [mm]	6,60
E [MPa]	10.500	δ_{limite} [mm]	9,11		
g [N/mm]	0,81				

- Conexiones en la madera, de acuerdo con la NCh 1198: Nudo de Diagonales en el eje X - Placa en la Diagonal misma solicitante (carga axial)

Tabla 10-59, Cálculo conexión. Placa en la Diagonal del eje X (según cargas máximas)

Datos		Cálculos		Resultados	
tipo de cizalle	doble	K_D	1,33	$P_{ad,simple}$ [N]	5.379
conectores por hilera	5	K_{UH}	1	$P_{ad,doble}$ [N]	10.757
hileras	2	K_u	0,94	$P_{dis,simple}$ [N]	6.724
Solicitación [N]	160.876,8	K_{UT}	1	$P_{dis,doble}$ [N]	13.448
Acero	central	F_{ap} [Mpa]	9,72	P_{dis} [N]	168.106
h [mm]	228	Z [Mpa]	42,55	5 conectores / hilera (2)	
b [mm]	185	D [mm]	15,90		
		θ [°]	0,00		
		λ_u [-]	23,27		
		e [mm]	370,00		
		Fy [Mpa]	310,00		
		ρ [kg/m ³]	391,00		
		η [-]	2,20		

- Conexiones en la madera, de acuerdo con la NCh 1198: Nudo de Diagonales en el eje X – Pletina en la viga primaria solicitada a carga axial

Tabla 10-60, Cálculo conexión. Pletina lateral en la viga primaria solicitada por Diagonal en el eje X

Datos		Cálculos		Resultados	
tipo de cizalle	simple	K_D	1,33	$P_{ad, simple}$ [N]	10.757
conectores por hilera	6	K_{UH}	1	$P_{ad, doble}$ [N]	5.379
hileras	2	K_u	0,92	$P_{dis, simple}$ [N]	6.581
Solicitación [N]	96.922,0	K_{UT}	1	$P_{dis, doble}$ [N]	13.162
Acero	Lateral	F_{ap} [Mpa]	9,72	P_{dis} [N]	98.717
h [mm]	228	Z [Mpa]	42,55	6 conectores / hilera (2)	
b [mm]	185	D [mm]	15,90		
		θ [°]	0,00		
		λ_u [-]	23,27		
		e [mm]	370,00		
		Fy [Mpa]	310,00		
		ρ [kg/m ³]	391,00		
		η [-]	2,20		

- Conexiones en la madera, de acuerdo con la NCh 1198: Nudo de Diagonales en el eje X – Pletina en la columna solicitada a carga axial

Tabla 10-61, Cálculo conexión. Pletina lateral en la columna solicitada por Diagonal en el eje X

Datos		Cálculos		Resultados	
tipo de cizalle	simple	K_D	1,33	$P_{ad, simple}$ [N]	5.379
conectores por hilera	6	K_{UH}	1	$P_{ad, doble}$ [N]	10.757
hileras	3	K_u	0,92	$P_{dis, simple}$ [N]	6.581
Solicitación [N]	128.389,8	K_{UT}	1	$P_{dis, doble}$ [N]	13.162
Acero	Lateral	F_{ap} [Mpa]	9,72	P_{dis} [N]	148.076
h [mm]	228	Z [Mpa]	42,55	6 conectores / hilera (3)	
b [mm]	185	D [mm]	15,90		
		θ [°]	0,00		
		λ_u [-]	23,27		
		e [mm]	370,00		
		Fy [Mpa]	310,00		
		ρ [kg/m ³]	391,00		
		η [-]	2,20		

- Conexiones en la madera, de acuerdo con la NCh 1198: Nudo de Diagonales en el eje Y – Placa en la diagonal misma (solicitante a carga axial)

Tabla 10-62, Cálculo conexión. Placa en la Diagonal del eje Y (según cargas máximas)

Datos		Cálculos		Resultados	
tipo de cizalle	doble	K_D	1,33	$P_{ad,simple}$ [N]	3.496
conectores por hilera	3	K_{UH}	1	$P_{ad,doble}$ [N]	6.992
hileras	2	K_u	0,98	$P_{dis,simple}$ [N]	4.557
Solicitación [N]	57.281,0	K_{UT}	1	$P_{dis,doble}$ [N]	9.114
Acero	central	F_{ap} [Mpa]	10,09	P_{dis} [N]	68.353
h [mm]	228	Z [Mpa]	43,35	3 conectores / hilera (2)	
b [mm]	185	D [mm]	12,70		
		θ [°]	0,00		
		λ_u [-]	29,13		
		e [mm]	370,00		
		Fy [Mpa]	310,00		
		ρ [kg/m3]	391,00		
		η [-]	2,20		

- Conexiones en la madera, de acuerdo con la NCh 1198: Nudo de Diagonales en el eje Y – Pletina en la viga solicitada a carga axial

Tabla 10-63, Cálculo conexión. Pletina lateral en la viga primaria solicitada por Diagonal en el eje Y

Datos		Cálculos		Resultados	
tipo de cizalle	simple	K_D	1,33	$P_{ad,simple}$ [N]	3.496
conectores por hilera	4	K_{UH}	1	$P_{ad,doble}$ [N]	6.992
hileras	2	K_u	0,96	$P_{dis,simple}$ [N]	4.464
Solicitación [N]	37.926,0	K_{UT}	1	$P_{dis,doble}$ [N]	8.928
Acero	Lateral	F_{ap} [Mpa]	10,09	P_{dis} [N]	44.638
h [mm]	228	Z [Mpa]	43,35	4 conectores / hilera (2)	
b [mm]	185	D [mm]	12,70		
		θ [°]	0,00		
		λ_u [-]	29,13		
		e [mm]	370,00		
		Fy [Mpa]	310,00		
		ρ [kg/m3]	391,00		
		η [-]	2,20		

- Conexiones en la madera, de acuerdo con la NCh 1198: Nudo de Diagonales en el eje Y – Pletina en la columna solicitada a carga axial

Tabla 10-64, Cálculo conexión. Pletina lateral en la columna solicitada por Diagonal en el eje Y

Datos		Cálculos		Resultados	
tipo de cizalle	simple	K_D	1,33	$P_{ad, simple}$ [N]	3.496
conectores por hilera	4	K_{UH}	1	$P_{ad, doble}$ [N]	6.992
hileras	2	K_u	0,96	$P_{dis, simple}$ [N]	4.464
Solicitación [N]	42.904,4	K_{UT}	1	$P_{dis, doble}$ [N]	8.928
Acero	Lateral	F_{ap} [Mpa]	10,09	P_{dis} [N]	44.638
	228		43,35	4 conectores / hilera (2)	
h [mm]		Z [Mpa]			
b [mm]	185	D [mm]	12,70	4 conectores / hilera (2)	
		θ [°]	0,00		
		λ_u [-]	29,13		
		e [mm]	370,00		
		Fy [Mpa]	310,00		
		ρ [kg/m ³]	391,00		
		η [-]	2,20		

- Vigas de acero en el eje X, caja escala
Para el cálculo de las resistencias de los perfiles de acero se utiliza el AISC 360 Specification for structural Steel Buildings.

Tabla 10-65, Datos geométricos del perfil H, ubicado entre eje F y G, siguiendo la dirección X.

Datos geométricos			
A [mm ²]	19.500	t_w [mm]	18
L_C [mm]	2.800	t_f [mm]	25
r_x [mm]	125,6	B [mm]	300
r_y [mm]	76	C_w [-]	2,127E+12
Z_x [mm ³]	2.343.750	G [MPa]	77.000
Z_y [mm ³]	1.145.250	J	3.659.600
S_x [mm ³]	2.052.083	I_x [mm ⁴]	307.812.500
S_y [mm ³]	750.810	I_y [mm ⁴]	112.621.500
H [mm]	300	h_0	275

Tabla 10-66, Datos elásticos del perfil H, dirección X.

Datos elásticos y del acero

E [MPa]	200.000
Fy [MPa]	250

Tabla 10-67, resistencia, P_c , vs sollicitación, P_r , de compresión axial. perfil H, Dirección X.

Cálculo resistencia Compresión axial	
Lc/r	22,3
Fe (3) [Mpa]	3.971,9
Fe (4) [Mpa]	1.943,9
Pn (3)[N]	67.924.611
Pn (4)[N]	4.773.641
Pn [kN]	4.773.641
Pc [kN]	2.858
Pr [kN]	276

Tabla 10-68, resistencia, M_{ci} , vs sollicitación, M_{ri} del perfil H., dirección X.

Cálculo resistencia Flexión	
Mn x1 [Nm]	585.937,5
Mn y1 [Nm]	286.312,5
Lp	3.783
r_{ts}	87
Lr	22.368
Lb	2800
Lb < Lp	
M_{c_x} [Nm]	350.860,8
M_{c_y} [Nm]	71.444,6
M_{r_x} [Nm]	315.528
M_{r_y} [Nm]	28.025

Tabla 10-69, esfuerzos combinados. perfil H, dirección X.

Solicitantes Máximos		P [tonf]	V2 [tonf]	V3 [tonf]	M2 [tonf m]	M3 [tonf m]		
		28,18	36,43	3,12	2,86	32,20		
Esfuerzos combinados		P	V2	V3	M2	M3	Pr/Pc	Valor combinado
P (max)	viga escalera	28,18	11,07	0,27	0,72	13,37	0,10	0,46
V2 (max)		0,37	36,43	0,58	0,54	16,34	0,00	0,49
V3 (max)		4,80	0,77	3,12	2,33	0,28	0,02	0,15
M2 (max)		6,25	0,17	3,09	2,86	0,10	0,02	0,18

M3 (max)		0,36	27,29	0,45	0,76	32,20	0,00	0,94
----------	--	------	-------	------	------	-------	------	------

Tabla 10-70, resistencia, V_{ci} , vs sollicitación V_{ri} al cizalle. perfil H, dirección X

Calculo resistencia al corte	
$\left(\frac{h}{t_w}\right)_{limite}$	63,35
h/t_w	13,89
Cv1	1,00
$V_{n,x}$ [N]	675.000
$V_{c,x}$ [N]	404.191
k_v	1,2
$\frac{b_f}{2 t_f}_{limite}$	34,08
$\frac{b_f}{2 t_f}$	6
Cv2	1
$V_{n,y}$ [N]	1.125.000
$V_{c,y}$ [N]	673.653
$V_{r,x}$ [N]	356.971
$V_{r,y}$ [N]	30.617

- Vigas acero en el eje Y, caja escala

Tabla 10-71, Datos geométricos del perfil H, ubicado entre ejes 3 y 5, siguiendo la dirección Y.

Datos geométricos			
A [mm ²]	14476	t_w [mm]	18
L_c [mm]	2240	t_f [mm]	25
r_x [mm]	102,3	B [mm]	250
r_y [mm]	62,2	C_w [-]	7,155E+11
Z_x [mm ³]	1381535,8	G [MPa]	77000
Z_y [mm ³]	688642	J	2232287,3
S_x [mm ³]	1336103,8	I_x [mm ⁴]	151499181
S_y [mm ³]	448721,5	I_y [mm ⁴]	56090185,3
H [mm]	250	h_0	225

Tabla 10-72, Datos elásticos del perfil H, dirección X.

Datos elásticos y del acero	
E [MPa]	200.000

Fy [MPa]	250
----------	-----

Tabla 10-73, resistencia, P_c , vs solicitación, P_r , de compresión axial. perfil H, Dirección Y.

Cálculo resistencia Compresión axial	
Lc/r	21,9
Fe (3) [Mpa]	4117,0
Fe (4) [Mpa]	2183,943
Pn (3)[N]	52.267.670
Pn (4)[N]	4.290.313
Pn [kN]	4.290.313
Pc [kN]	2.569
Pr [kN]	169

Tabla 10-74, resistencia, M_c , vs solicitación, M_r del perfil H., dirección Y.

Calculo resistencia Flexión	
Mn x1 [Nm]	345.384,0
Mn y1 [Nm]	172.160,5
Lp	3.096
r_{ts}	69
Lr	18.914
Lb	2240
Lb < Lp	
M_{c_x} [Nm]	206.816,7
M_{c_y} [Nm]	103.090,1
M_{r_x} [Nm]	135.076
M_{r_y} [Nm]	6.000

Tabla 10-75, Esfuerzos combinado. perfil H, dirección Y.

Solicitantes Máximos		P [tonf]	V2 [tonf]	V3 [tonf]	M2 [tonf m]	M3 [tonf m]		
		17,20	12,62	0,57	0,61	13,78		
Esfuerzos combinados		P	V2	V3	M2	M3	Pr/Pc	Valor combinado
P (max)	viga escalera	17,20	12,62	0,44	0,16	13,78	0,07	0,70
V2 (max)		17,20	12,62	0,44	0,16	13,78	0,07	0,70
V3 (max)		3,42	5,47	0,57	0,61	5,23	0,01	0,31
M2 (max)		3,42	5,47	0,57	0,61	5,23	0,01	0,31
M3 (max)		17,12	12,62	0,39	0,05	13,78	0,07	0,69

Tabla 10-76, resistencia, V_{ci} , vs sollicitación V_{ri} al cizalle. perfil H, dirección Y

Calculo resistencia al corte	
$\left(\frac{h}{t_w}\right)_{limite}$	63,36
h/t_w	11,11
Cv1	1,00
$V_{n,x}$ [N]	540.000
$V_{c,x}$ [N]	323.353,3
k_v	1,2
$\frac{b_f}{2 t_f}_{limite}$	34,08
$\frac{b_f}{2 t_f}$	5
Cv2	1
$V_{n,y}$ [N]	937.500
$V_{c,y}$ [N]	561.377
V_{rx} [N]	123.701
V_{ry} [N]	5.548

- Columnas de acero, caja escala

Tabla 10-77, resistencias y sollicitaciones de compresión y flexión

Columnas	Piso 1
Lc	3.855
R	75,8
Lc/r	50,9
Fe	242,9
Pn [N]	1.803.822
Pc [kN]	1.080
Pr [kN]	803,9
Mc [Nm]	115.531
Mr_x [Nm]	34.073,6
Mr_y [Nm]	14.987,1

Tabla 10-78, esfuerzos combinados para columnas de acero A36

Solicitantes Máximos		P	V2	V3	M2 [tonf	M3 [tonf		
		[tonf]	[tonf]	[tonf]	m]	m]		
		82,031	2,4296	1,2932	1,5293	3,4769		
Esfuerzos combinados		P	V2	V3	M2	M3	Pr/Pc	Valor combinado
P (max)	viga escalera	82,03	0,01	0,42	0,81	0,05	0,74	0,81
V2 (max)		31,74	2,43	0,03	0,03	2,12	0,29	0,45
V3 (max)		2,63	0,13	1,29	1,45	0,12	0,02	0,15
M2 (max)		2,49	0,13	1,29	1,53	0,17	0,02	0,16
M3 (max)		82,03	0,01	0,42	0,81	0,05	0,74	0,81