

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES

PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE UNA CASA DE MADERA TIPO

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS, EN CIENCIAS FORESTALES



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

PRESENTA

OSCAR ABAD FILIO REYNOSO



Chapingo, Texcoco, Estado de México. Mayo de 2016.

PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE UNA CASA DE MADERA TIPO

Tesis realizada por **Oscar Abad Filio Reynoso** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS, EN CIENCIAS FORESTALES

DIRECTORA:



DRA. MA. AMPARO BORJA DE LA ROSA

CO-DIRECTOR:



M.C. MARIO FUENTES SALINAS

ASESOR:



M.C. ALEJANDRO CORONA AMBRÍZ

PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE UNA CASA DE MADERA TIPO

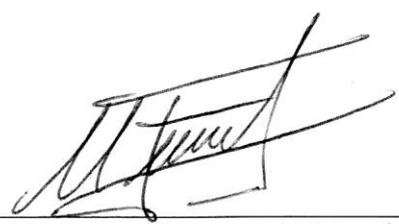
El jurado que revisó y aprobó el examen de grado de **Oscar Abad Filio Reynoso** autor de la presente tesis de Maestría en Ciencias, en Ciencias Forestales estuvo constituido por:

PRESIDENTE:



DRA. MA. AMPARO BORJA DE LA ROSA

ASESOR:



M.C. MARIO FUENTES SALINAS

ASESOR:



M.C. ALEJANDRO CORONA AMBRÍZ

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo, por los mejores años de mi vida.

Al M.C. Mario Fuentes Salinas, por tener siempre el tiempo suficiente para asesorarme, por darme la oportunidad de conocerlo más, y enseñarme que los detalles son la diferencia para hacer bien las cosas.

A la Dra. Ma. Amparo Borja de la Rosa, por sus comentarios siempre positivos, su enorme paciencia y por el apoyo brindado en una etapa difícil en mi vida.

Al M.C. Alejandro Corona Ambríz, por aceptar formar parte de mi comité y por las facilidades otorgadas para finalizar este trabajo.

A CONACyT, por el financiamiento para realizar este trabajo.

PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE UNA CASA DE MADERA TIPO

WOOD HOUSE CONSTRUCTION PROJECT

RESUMEN

La construcción de casas de madera con el sistema constructivo pies derechos, se considera una excelente alternativa ante la creciente demanda de vivienda en México. El objetivo fue realizar el proyecto constructivo de una casa de madera de pino, basado en el sistema estructural pies derechos, para mostrar la forma de proceder al considerar construir un modelo de vivienda en particular. La metodología está fundamentada en el RCDF-2004, NTCDF-2004, normas mexicanas del ONNCCE S.C. y manuales de construcción. Los planos, área y volumen se realizaron con el programa AutoCAD 2010. Se contempló madera de pino a un $CH \leq 18\%$, preservada con sales CCA, clasificada con la regla industrial "Clase A". Se colocaron pies derechos a cada 24" y tableros contrachapados como arriostramiento. Como resultado, se diseñó una vivienda de un piso, con techo a dos aguas y un espacio habitable de 74 m^2 ; se realizó la secuencia constructiva iniciando desde la cimentación (losa, cadena y zapatas de concreto), hasta la aplicación de acabados y recubrimientos (mortero y teja asfáltica). Se concluye que es posible diseñar correctamente una vivienda de madera siguiendo las recomendaciones y especificaciones técnicas de reglamentos, normas y manuales, para considerarla como una alternativa en la construcción de viviendas.

Palabras clave: Pie derecho, vivienda de madera, construcción con madera.

ABSTRACT

Building wood houses with the stud construction system is viewed as an excellent alternative to meet the growing demand for housing in Mexico. The aim was to build a pinewood house, based on the stud structural system, to show how to proceed when building a particular housing model. The methodology is based on the RCDF-2004, NTCDF-2004, ONNCCE S.C. Mexican standards and construction manuals. The blueprints, area and volume were derived using the AutoCAD 2010 program. Pinewood at $MC \leq 18\%$, preserved with CCA salts and rated with the "Class A" industry rule was considered. Studs were placed every 24" and plywood boards were used as bracing. As a result, a one-story dwelling with a gabled roof and 74 m^2 of living space was designed; the construction sequence, starting from the foundation (slab, chain and concrete footings) to the application of finishes and coatings (mortar and asphalt tile), was performed. It is concluded that it is possible to properly design a wooden house by following the recommendations and technical specifications in regulations, standards and manuals, thereby making it a practical alternative in housing construction.

Keywords: stud, wood housing, wood construction.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
AGRADECIMIENTOS	3
RESUMEN	4
TABLA DE CONTENIDO	5
LISTA DE CUADROS	7
LISTA DE FIGURAS	11
LISTA DE ANEXOS	18
1. INTRODUCCIÓN	19
2. ESTADO DEL ARTE	22
3. OBJETIVOS	30
3.1. General.....	30
3.2. Particulares.....	30
4. METODOLOGÍA.....	31
4.1. Aspectos Importantes de la Madera de Pino	37
4.1.1. Propiedades y características de la madera de pino	37
4.1.2. Dimensión nominal y real del pie derecho 2" x 4"	44
4.2. Selección y Reconocimiento del Sitio	66
4.3. Diseño de la Cimentación	70
4.3.1. Consideraciones previas a la cimentación.....	74
4.3.2. Consideraciones durante la cimentación	78
4.4. Diseño de Muros (sistema constructivo pies derechos).....	85
4.4.1. Consideraciones para la construcción de paneles.....	86
4.4.2. Postes de esquina, uniones en "ELE" y "T".	95
4.4.3. Frontón triangular o tímpano.....	106
4.4.4. Colocación de tableros en los muros.....	109
4.5. Diseño del Techo.....	114
4.5.1. Longitud del alero para el diseño de la armadura Fink	115
4.5.2. Cálculo de cargas	120
4.5.3. Diseño de la armadura Fink.....	132
4.5.4. Aleros frontales, traseros y armadura Fink	144
4.5.5. Diseño y colocación de la fascia.....	145
4.5.6. Colocación de tableros en el techo	146
4.5.7. Puertas y ventanas	148
4.5.8. Dimensiones de los clavos	151
4.6. Materiales Diversos	155
4.6.1. Características de los tableros contrachapados	156
4.6.2. Tableros opcionales.....	162
4.6.3. Impermeabilización	166
4.6.4. Filtro asfáltico.....	167
4.6.5. Teja asfáltica.....	167
4.6.6. Mortero	169
4.6.7. Materiales aislantes	170

4.7.	Preservación de la Madera y Acabados Superficiales.....	177
4.7.1.	Preservación de la madera.....	178
4.7.2.	Acabados superficiales de protección	195
5.	RESULTADOS	204
5.1.	Características de los pies derechos.....	206
5.2.	Selección, Preparación, Limpieza y Trazado.....	210
5.3.	Cimentación.....	215
5.4.	Paneles.....	229
5.4.1.	Vanos para puertas y ventanas	230
5.4.2.	Armado de paneles.....	232
5.4.3.	Anclaje de la solera de desplante	237
5.4.4.	Postes de esquina, uniones en “ELE” y “T”.	241
5.4.5.	Solera de cerramiento o de amarre	245
5.4.6.	Construcción del frontón triangular o tímpano	248
5.4.7.	Colocación de tableros en los muros.....	250
5.5.	Techo.....	255
5.5.1.	Construcción de los aleros	255
5.5.2.	Construcción de las armaduras	259
5.5.3.	Colocación de la fascia	263
5.5.4.	Colocación de tableros en el techo.....	266
5.5.5.	Dimensiones de puertas y ventanas.....	268
5.6.	Materiales y Acabados Superficiales (techos y muros)	275
5.6.1.	Impermeabilización	275
5.6.2.	Fieltro asfáltico.....	276
5.6.3.	Teja asfáltica.....	277
5.6.4.	Mortero	279
5.6.5.	Acabados superficiales de protección	282
5.7.	Materiales Aislantes.....	283
6.	CONCLUSIONES.....	284
7.	RECOMENDACIONES	296
8.	LITERATURA CITADA.....	299
9.	ANEXOS	307

LISTA DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Dimensiones y tolerancias que debe cumplir la madera destinada a la construcción (en condición seca, $CH \leq 18\%$). Fuente: NMX-C-224-ONNCCE (2001:3-4).	46
2	Dimensiones nominales y reales bajo la Norma PS20-99. Fuente: American Softwoods (s/f a: 43).	50
3	Dimensiones finales en pies derechos (38 mm x 89 mm) de acuerdo al incremento o descenso del CH.	55
4	Tamaño máximo permisible de nudos para clasificar estructuralmente madera de coníferas según la NMX-C-239-ONNCCE (1985:11). Fuente: COFAN (1999:48).	63
5	Consideraciones generales para la clasificación visual de madera de pino para uso estructural. Fuente: NMX-C-239-ONNCCE (1985:11); COFAN (1999:49).	64
6	Requisitos mínimos para la investigación del subsuelo. Fuente: NTC-DCC (2004:14).	68
7	Elementos de sistemas de cimentación para estructuras de madera. Fuente: COFAN (1999:156).	71
8	Características y colocación de los pernos de acuerdo a diferentes autores.	84
9	Requerimientos para la construcción de muros de entramado ligero. Fuente: Parker y Ambrose (2012:138).	92
10	Espaciamientos y tamaño de clavos en tableros de madera contrachapada. Fuente: COFAN (1999:220).	94
11	Área ocupada por vanos vidriados menores al 20.0%, según la NMX-C-460-ONNCCE (2009:10).	102
12	Porcentaje por vanos vidriados menores al 20.0%, según la NMX-C-460-ONNCCE (2009:10).	103
13	Relación peralte a claro y pendientes de techos. Fuente: Parker y Ambrose (2012:185).	107
14	Determinación de la pendiente con la relación peralte mitad del claro. Fuente: Parker y Ambrose (2012:185).	108

15	Recomendación para tamaño de clavos en tableros de madera contrachapada. Fuente: COFAN (1999:220).	113
16	Longitud mínima de muros de cortante para viviendas ubicadas en zonas costeras con velocidad de viento de 150 km/h, o en zonas sísmicas. Fuente: American Softwoods (s/f a: 8).	113
17	Cálculo del ángulo vertical de la lluvia conducida por viento. Fuente: Elizondo (2009).	117
18	Densidad de 7 especies de coníferas (kg/m ³) (Sotomayor, 2008). Fuente: CONAFOR (s/f a).	122
19	Carga muerta de los materiales considerados en el techo de la vivienda.	126
20	Valores de carga distribuida para diseño por resistencia (kg/m ²). Fuente: COFAN (1999:386).	127
21	Claros máximos de armaduras a dos aguas (L). Cubiertas ligeras. Carga viva: $W_v = 40 \text{ kg/m}^2$; Carga muerta: $W_p = 60 \text{ kg/m}^2$, espaciamiento $S = 61 \text{ cm}$. Fuente: COFAN (1999:412).	129
22	Cargas resistentes por metro lineal de muro a base de bastidores (kg/m.l.). Fuente: COFAN (1999:415).	131
23	Esfuerzos de tensión y compresión para la Armadura Fink.	143
24	Espaciamientos admisibles para grosores comunes de madera contrachapada. Fuente: COFAN (1999:245).	147
25	Separación máxima entre viguetas para la colocación de tableros contrachapados (triplay). Fuente: American Softwoods (s/f b: 7).	147
26	Tipos y espesores para uso en cubiertas y recomendaciones para su clavado. Fuente: American Softwoods (s/f b: 7).	148
27	Recomendaciones de clavado del Código Uniforme de Construcción (ICBO, 1991). Fuente: COFAN (1999:262).	153
28	Combinaciones de chapas para tableros interiores. Fuente: NMX-C-438-ONNCCE (2014).	161
29	Combinaciones de chapas para tableros exteriores. Fuente: NMX-C-438-ONNCCE (2014).	161
30	Dimensiones nominales y sus tolerancias. Fuente: NMX-C-438-ONNCCE (2014).	162

31	Tipos de contrachapados estadounidenses más comunes en la construcción. Fuente: COFAN (1999:59).	164
32	Características de la teja asfáltica. Fuente: Owens Corning (2009).	168
33	Proporcionamiento de mezcla de mortero. Fuente: CEMEX (s/f: 21).	169
34	Clasificación de los componentes y elementos de construcción por resistencia al fuego. Fuente: NMX-C-307/1-ONNCCE (2009:7).	171
35	Resistencia al fuego de componentes y materiales utilizados en la construcción de la vivienda. Fuente: COFAN (1999:97).	172
36	Resistencia mínima al fuego (en minutos). Fuente: NMX-C-307/1-ONNCCE (2009:8).	173
37	Clasificación de durabilidad natural de las maderas en contacto con el suelo (Chudnoff, 1984). Fuente: COFAN (1999:70).	182
38	Índices de resistencia natural, durabilidad y permeabilidad de madera de pino. Fuente: COFAN (1999:70).	182
39	Efectividad del preservador contra el agente que deteriora la madera. Fuente: COFAN (1999:82).	188
40	Clasificación de las maderas según su uso y riesgo esperado en servicio. Fuente: NMX-C-410-ONNCCE (1999:5).	189
41	Clasificación de las maderas según su uso y niveles de riesgo esperado en servicio. Fuente: NMX-C-322-ONNCCE (2014:3).	190
42	Retenciones mínimas recomendadas del preservador o del ingrediente activo, de acuerdo al nivel de riesgo en servicio de la madera: kg/m ³ (lb/pie ³). Fuente: NMX-C-322-ONNCCE (2014:4).	192
43	Retenciones mínimas recomendadas de preservador de acuerdo al grado de riesgo en servicio. Fuente: NMX-C-410-ONNCCE (1999:4-5).	193
44	Retención mínima de los compuestos individuales de preservadores hidrosolubles, expresados como óxidos. Fuente: NMX-C-410-ONNCCE (1999:4-5).	193
45	Composición del Arsenato de cobre cromado (CCA). Fuente: NMX-C-178-ONNCCE (2014:4).	194
46	Características de la madera preservada dependiendo de la ubicación e importancia de uso en la vivienda.	209

47	Especificaciones de la malla electrosoldada (losa) con base en la NMX-B-290-CANACERO. Fuente: Viga Trefilados (s/f).	220
48	Resistencia del concreto de acuerdo a su uso. Fuente: Cementos Cruz Azul (s/f).	228
49	Especificaciones de la malla electrosoldada (muros) con base en la NMX-B-290-CANACERO. Fuente: Vigas Trefilados (s/f).	280
50	Materiales en la cimentación.	338
51	Anclas y pernos.	338
52	Malla electrosoldada.	339
53	Características de mortero y loseta.	339
54	Varillas y anillos metálicos.	340
55	Teja asfáltica.	340
56	Fieltro asfáltico.	341
57	Tableros de yeso.	341
58	Tableros contrachapados 12 mm (UF y FF).	342
59	Puertas y ventanas.	342
60	Paneles externos.	343
61	Paneles internos.	345
62	Total del material en la obra.	347

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Distribución de los espacios habitables para cuatro personas.	35
2	Vivienda rural con techo a dos aguas. a) Frontal; b) Izquierda; c) Trasera; d) Derecha.	36
3	Elementos celulares que conforman la madera de pino en su sección transversal, tangencial y radial. Fuente: A Fahn (1978), (izquierda); García <i>et al.</i> (2003), (derecha).	39
4	Dirección radial y tangencial de la madera con relación a los anillos de crecimiento.	40
5	Gráfico carga-deformación de una pieza de madera de pino.	43
6	Probeta sometida a carga de compresión paralela a la fibra (izquierda); momento de falla de la probeta (derecha).	43
7	Contenidos de humedad en la madera.	48
8	Curva de sorción del CHE de la madera en función con la HR. Fuente: Espinosa <i>et al.</i> (2010).	51
9	a) Diagrama de corte de una troza de madera y cambios dimensionales de acuerdo a la dirección de corte. Fuente: JUNAC (1988:11-11); b) Pie derecho de cara tangencial y espesor radial; c) Pie derecho de cara radial y espesor tangencial.	52
10	Diagrama de la contracción e hinchamiento de madera de pino en función del CH de la madera (%).	53
11	Cambios dimensionales en dos pies derechos (2" x 4"), de acuerdo a la dirección de corte y a la variación del CH, HR y Temperatura.	55
12	Límites de humedad entre los cuales es posible el desarrollo de hongos en madera de pino. Fuente: Espinosa <i>et al.</i> (2010).	60
13	Gráfico de la resistencia mecánica en función del CH de la madera desde el PSF (CH±30%) hasta el estado anhidro (0% CH) y viceversa. Fuente: Espinosa <i>et al.</i> (2010).	60
14	Efecto perjudicial en la cimentación durante el asentamiento debido a la mala elección del sitio: a) Falla por descenso; b) Falla por rotación o volcamiento; c) Falla por traslado.	67

15	Regionalización sísmica de la República Mexicana. Fuente: COFAN (1999:115).	82
16	Elementos que conforman el bastidor (panel, entramado ligero, placa, tabique o montante).	89
17	Vista superior de la ubicación y dimensiones del poste de esquina: a) Uniones en "ELE"; b) Uniones en "T". Acomodo de tableros contrachapados en uniones en "ELE" y "T" (inferior izquierda y derecha).	97
18	Diseño del alero del techo tomando en cuenta la incidencia de la lluvia conducida por viento.	119
19	Diseño de la armadura Fink.	132
20	Forma de calcular los esfuerzos en una armadura: método geométrico (izquierda); método analítico (derecha).	133
21	Diagrama de cargas de la armadura Fink.	135
22	Gráfico del análisis del método geométrico.	137
23	Diagramas para la determinación de la fuerza en cada miembro de la armadura Fink.	138
24	Orientación de las chapas "non" en la dirección de la fibra paralela a la dimensión larga del tablero.	158
25	Proporción de albura y duramen en tres trozas de diferente especie y tasa de crecimiento: a) 95% de duramen; b) 50% de duramen; c) 15% de duramen (madera de pino). Fuente: Espinosa <i>et al.</i> , (2010).	180
26	a) Zonas de riesgo por ataque de termitas de madera seca en México; b) Zonas de riesgo por ataque de termitas subterráneas en México (Pérez y Echenique, 1982). Fuente: COFAN (1994:76-77).	184
27	Zonas de riesgo por pudrición en México (Pérez <i>et al.</i> , 1977). Fuente: COFAN (1994:74).	184
28	Esquema de la reflexión de la radiación de la luz para una cobertura: a) Pigmentada; b) Semi-transparente y c) Transparente. Fuente: JUNAC (1988).	197
29	Ejemplo de la penetración con sales CCA: a) Penetración total en un pie derecho con dimensiones de 2" x 4"; b) Penetración parcial en una viga de 4" x 8".	208

30	Ejemplo de la separación mayor a 1.8 m entre viviendas de madera en un conjunto habitacional.	213
31	Inicio del trazo del terreno para la cimentación de la vivienda.	214
32	Nivelación con ayuda de nivel montado topográficamente, y área excavada para los materiales base de la losa de cimentación y bases de las zapatas.	215
33	Colocación de las zapatas sobre las bases de concreto previo a la colocación de los materiales para la losa de cimentación.	217
34	Vista del Anexo 4, para la ubicación de la instalación sanitaria.	218
35	Capa de materiales base para la losa de cimentación y colocación de la instalación hidráulica y sanitaria.	218
36	Colocación del fieltro asfáltico.	219
37	a) Ancla para fijar la losa de concreto con la cadena de sobrecimiento; b) Perno integrado a la cadena de cemento para fijar la solera de desplante.	221
38	Colocación de la malla electrosoldada y anclas galvanizadas.	221
39	Colado de la losa de cimentación.	222
40	Perfil de los materiales que forman la cimentación.	223
41	Características de las armaduras, horizontal y vertical (diámetros, N° de varillas y estribos): a) Cadena de cimentación (horizontal); b) Zapatas aisladas (vertical).	224
42	Reforzamiento de las aristas en la cadena de cimentación.	224
43	Altura y profundidad de los pernos de anclaje durante la cimentación.	226
44	Distribución de los pernos de anclaje a una distancia máxima en los extremos de 30 cm, de acuerdo a las dimensiones de los paneles.	226
45	Cadena de sobrecimiento y ubicación de los pernos.	227
46	a) Zapatas, cadena y losa de cimentación; b) Ubicación las zapatas y los pernos de anclaje incrustados en la cadena de cimentación; c) Vista frontal de la cimentación con los pernos de anclaje.	228
47	Longitud de los pies derechos para armar el muro de acuerdo a la altura de los tableros contrachapados (2.44 m).	229

48	Separación de pies derechos a cada 61 cm (24") entre centros para la colocación de tableros contrachapados (1.22 m x 2.44 m).	230
49	Reforzamiento de los vanos con puntales, dinteles y jambas.	231
50	Dimensiones del dintel para puertas y ventanas, 2" x 4" (38 mm x 89 mm).	231
51	Altura de 1 m desde el alfeizar hasta la base de la losa de la cimentación, para utilizar la ventana como medio de escape.	232
52	Armado de los paneles: a) Colocación de la solera de desplante, solera superior, postes de esquina y pies derechos para formar el marco; b) Clavado del marco y colocación de los pies derechos; c) Armado del panel con dinteles, jambas, alfeizar y puntales.	234
53	a) Colocación de las piezas para formar el marco; b) Recortes para la colocación de la riostra; c) Armado de las piezas del panel con sus riostras y la placa perforada.	236
54	Arriostramiento de los paneles con piezas de 1" x 4".	237
55	Levantado del panel: a) Colocación de la barrera impermeable en la cadena de sobrecimiento; b) y c) Colocación de guías sujetadoras del panel.	239
56	a) Colocación del panel sobre la cadena de sobrecimiento; b) Colocación de tuercas y rondanas en los pernos galvanizados.	240
57	Panel colocado en su sitio de acuerdo a la ubicación del Anexo 1, 8 y 10.	241
58	Vista superior del tipo de unión. Unión en "ELE" (izquierda); Unión en "T" (derecha).	242
59	Tipo de unión entre paneles con postes de esquina: a) Encuentro en "ELE"; b) Encuentro en "T".	242
60	Encuentro de paneles en esquina "ELE".	243
61	Encuentro de paneles en "T".	243
62	Colocación de los paneles encima de la cadena de cimentación: a) Colocación de paneles externos, uniones en "ELE" y en ejes continuos; b) Colocación de paneles internos, uniones en "T".	244
63	Solera de cerramiento.	245
64	Desfase de la solera superior y de cerramiento en eje continuo.	246

65	Colocación de la solera de cerramiento en encuentro en esquina “ELE” y desfase entre la solera superior y la solera de cerramiento por lo menos un pie derecho.	247
66	Colocación de la solera de cerramiento en encuentro en “T” y desfase entre la solera superior y la solera de cerramiento por lo menos un pie derecho.	247
67	Vista frontal de la vivienda con el tímpano o frontón triangular en la parte superior del panel.	248
68	Dimensiones del frontón triangular o tímpano.	248
69	Estructura del frontón o tímpano: a) Dimensión y colocación de las piezas que forman el tímpano; b) Tímpano descansando en el panel frontal y adecuada separación de los pies derechos del tímpano.	249
70	Ubicación de los tímpanos en la estructura de la vivienda de madera preservada con sales CCA.	250
71	Bastidor con madera de 2” x 4” preservada, formando un panel y arriostrado con tableros contrachapados.	252
72	Fijación de tablero contrachapado de 12 mm, para exteriores (FF) con clavos de 2 ¹ / ₂ ” a cada 15 cm en el perímetro y a cada 30 cm en los bordes internos.	252
73	Colocación de tableros contrachapados para exteriores (FF) de 12 mm. Fijados con clavos de 2 ¹ / ₂ ” a cada 15 cm en los bordes y en la parte central a cada 30 cm.	253
74	Colocación de tableros contrachapados de 12 mm para exteriores (FF) en los muros perimetrales.	253
75	Colocación de tableros contrachapados de 12 mm (FF) en los frontones triangulares (tímpanos frontal y trasero).	254
76	Vista frontal de las dimensiones del alero.	256
77	Dimensiones de los aleros: a) Vista superior; b) y c) Vista en isométrico.	257
78	a) Colocación del alero frontal y trasero; b) Frente de la vivienda con la colocación del alero sobre el tímpano y panel; c) Muesca cilíndrica para insertar el clavo; d) Anclaje del clavo.	258
79	Dimensiones de la Armadura Fink.	259

80	Dimensiones de las cartelas de tablero contrachapado de 12 mm (UF).	259
81	Vista en isométrico de las armaduras en el techo.	260
82	Colocación de las riostras durante el armado de las armaduras: a) Vista en isométrico; b) Vista superior; d) Vista lateral.	261
83	Ubicación de las riostras (diagonales y longitudinales) y dimensiones de las estructuras que componen el techo.	262
84	a) Dimensiones de las fascias internas y externas; b) Ubicación de las fascias para desmontarlas y colocar rejillas metálicas en tiempos de calor, frío o lluvia.	264
85	a) Estructura del techo previo a la colocación de las fascias; b) Colocación de las fascias; c) Dimensiones internas de las fascias.	265
86	a) Colocación de tableros contrachapados en sentido perpendicular a los apoyos y cuatrapeados; b) Vista de la vivienda con la colocación de tableros exteriores (12 mm, FF) en las fachadas y en el techo.	267
87	Dimensiones y ubicación de las partes que conformarán el marco y las puertas internas.	268
88	Dimensiones de la puerta principal.	269
89	Dimensiones de la puerta trasera tipo “dos hojas”.	269
90	Vista frontal de la puerta principal (izquierda) y trasera tipo “dos hojas” (derecha).	270
91	Dimensiones de las ventanas corredizas.	271
92	Vistas frontal y girada de las ventanas (cerrada y entreabierta).	272
93	a) Dimensiones de las ventanas de “resbalón”; b) Vista lateral derecha; c) Ventanas cerradas; d) Ventanas abiertas.	273
94	Capa impermeabilizante en toda la superficie de la vivienda.	275
95	Colocación del fieltro asfáltico en el techo de la vivienda, iniciando desde la parte inferior, hasta llegar a la parte superior con traslapes mínimos de 10 cm.	277
96	Colocación de la teja asfáltica en traslapes, iniciando desde la parte inferior hasta la parte superior del techo.	278
97	Dimensiones de la teja asfáltica; longitud de exposición; tamaño y número de clavos por teja.	278

98	Colocación de la teja asfáltica en el techo.	278
99	Aplicación de acabados en la superficie de la vivienda.	281
100	Vivienda terminada.	283
101	Apoyo incorrecto de la viga y poste no preservado, riesgo a deflexión y pudrición.	348
102	Apoyo incorrecto entre vigas; riesgo de cortante.	348
103	Incorrecto apoyo de la unión entre frisos y vigas; clavado excesivo; probable deflexión, cortante y rajado.	348
104	Diseño deficiente en la armadura, mala ubicación del pie derecho causante de la deflexión, mal arriostramiento.	349
105	Arriostramiento deficiente y presencia de deflexión.	349
106	Unión incorrecta entre la solera superior; deflexión y riesgo de separación de la pieza debido a la carga de compresión.	349
107	Mínima área de soporte de la viga en la rajadura del poste, posible cortante y falla en la esquina.	350
108	Unión incorrecta entre el pie derecho y el cortafuego con clavo lancero.	350
109	Incorrecta unión y clavado de las viguetas sin soporte en ambos lados; riesgo al colapso de la estructura.	350
110	Clavado incorrecto, posible levantamiento del tablero.	351
111	Clavado incorrecto, posible levantamiento ante la presencia de humedad o tránsito de personas.	351
112	Pie derecho mal clasificado, e incorrecta decisión para colocar clavo lancero; posible debilitamiento y falla por compresión.	351
113	Deficiente excavación para la ubicación de los postes; variación en la ortogonalidad y paralelismo de la cimentación.	352
114	Madera no preservada en contacto con el suelo; alto riesgo al ataque de termitas y posible colapso de la estructura.	352
115	Deficiente nivelación del sitio de terreno y carencia de drenes perimetrales; riesgo de proliferación de hongos en madera no preservada.	352

LISTA DE ANEXOS

Anexo		Página
1	Cimentación (losa, cadena y zapatas de concreto).	308
2	Distancia para la colocación de pernos.	309
3	Distribución de espacios.	310
4	Instalación sanitaria.	311
5	Instalación hidráulica.	312
6	Instalación eléctrica (contactos).	313
7	Instalación eléctrica (focos y apagadores).	314
8	Ubicación de los paneles perimetrales e internos.	315
9	Áreas de los espacios habitables de la vivienda.	316
10	Dimensiones de los paneles	317
11	Dimensiones del frontón superior o tímpano y alero.	329
12	Armadura Fink.	330
13	Vista superior del techo y distribución de espacios.	331
14	Altura total de la vivienda.	332
15	Secuencia constructiva	333
16	Vivienda terminada indicando el NTN.	335
17	Total de materiales para construir la vivienda.	338
18	Errores frecuentes en la construcción con madera.	348

1. INTRODUCCIÓN

Debido a la creciente demanda de vivienda que se ha dado en años recientes, el sistema constructivo de entramado ligero con pies derechos, se considera una excelente alternativa para construir viviendas con madera en México.

Actualmente es el sistema más difundido, ya que es sencillo, permite altos grados de prefabricación y rapidez de montaje. El 70 - 80% de los edificios construidos en Canadá, Estados Unidos, Finlandia, Suecia y Noruega son de entramado de madera. Su reciente introducción a gran escala en países considerados emergentes (Rusia, Chile, Corea del Sur, China, Taiwán) es un hecho (Inat, 2011:14).

Existen esfuerzos de varios sectores, Gobierno Federal, empresas privadas, centros de investigación, entre otros, para promover la utilización de la madera en la construcción a través de estrategias, tales como concursos para diseñar una vivienda de madera, el otorgamiento de créditos para adquirir una casa-habitación de interés social con este material, o simplemente promover la "Vivienda Sustentable" ante el grave problema actual que representa el cambio climático.

Un temor infundado en el uso de la madera en la edificación, al ser un material biológico, es la creencia de que la madera se degradará rápidamente y la edificación durará poco tiempo; por el contrario, realmente

la única desventaja que presenta la madera ante otros materiales, es el desconocimiento de sus propiedades, principalmente las físicas y mecánicas; consecuencias que ha traído consigo graves errores por parte de constructores.

La información obtenida de los estudios de las propiedades y características de la madera por parte de varios institutos y centros de investigación, como la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo, son la base de las especificaciones técnicas que rigen la normatividad de la madera en México; lo que ha permitido plasmar los conocimientos en manuales dando las recomendaciones necesarias para construir con madera.

Las normas mexicanas aplicables a la madera, junto con el RCDF y las NTCDF, se consideran como la base de este estudio y tienen la función de cumplir el requisito estricto bajo el cual se debe construir correctamente una vivienda con madera.

El objetivo de la investigación, fue realizar el proyecto de construcción de una casa de madera con el sistema pies derechos, indicando la secuencia constructiva paso a paso con base en normas mexicanas aplicables a la madera, reglamentos, normas técnicas complementarias y manuales de construcción, cuyo soporte técnico de estos últimos, está cimentado en la experiencia de países como Estados Unidos, Canadá y Chile.

Los resultados de este estudio permitirán dar a conocer, a los interesados en la construcción, cómo se debe construir una vivienda utilizando la madera como material principal basándose en la normatividad vigente, con el fin de evitar errores frecuentes en la edificación con madera.

2. ESTADO DEL ARTE

A pesar de que en México, este sistema es reciente, han existido sistemas constructivos utilizando la madera como material principal en varios estados del país dependiendo del tipo de clima.

Sánchez (2012:194-195), define *“Arquitectura vernácula es aquella construcción que es realizada de manera informal logrando una adaptación a las condiciones climáticas del lugar; además se caracteriza por conservar sistemas constructivos tradicionales originarios de la región donde se realizan estas construcciones”*.

Para dar un ejemplo de lo anterior, Sánchez (2012:196-197,206-207), menciona que en el tipo de clima cálido, en el estado de Tabasco, la *Casa Absidial*, tiene influencia de la cultura maya, utilizando materiales como la hoja de palma y bejuco para la techumbre, plataformas con base de mampostería y pisos elevados de madera. Por otro lado, en clima templado, en el estado de Michoacán, predomina la vivienda denominada *Troje*, ésta se construye con materiales mixtos como el adobe, madera de pino y de encino y los techos cubiertos con teja de barro o tejamanil. Una característica interesante es que este tipo de vivienda es desarmable y montable en dos días.

Una asociación importante en México que tiene como objetivo principal el promover la construcción con madera, es el Consejo Nacional de la Madera

en la Construcción (COMACO A.C.), el cual fue creado en Mayo de 1978, según información de trípticos y del Curso-Taller: “Diseño y construcción con madera”, (CT-DCM), celebrado en 2014.

En un artículo presentado por Elorza (1984:37-41), acerca de las *“Actividades que se realizan para promover el uso de la madera en la construcción”* (a través de COMACO), tienen relevancia cuatro aspectos:

“El problema del uso de la madera en la construcción en aquellos años, se daba principalmente por la carencia de normas, por lo que no se otorgaba el financiamiento para construir viviendas de madera. Al constituirse el Comité Consultivo Nacional de Normalización de la Vivienda de Interés Social con Elementos de Madera, se realizaron varias normas formando parte de las Especificaciones Generales para la Construcción de Viviendas de Interés Social a Base de Componentes de Madera (EGCVISBCM). El soporte técnico de las normas (propiedades y características físico-mecánicas de especies maderables del país) lo llevó a cabo el Instituto de Investigaciones Forestales y el Instituto Nacional de Investigaciones Sobre Recursos Bióticos.”

“Posteriormente al operar dichas normas dentro de la Dirección General de Normas (DGN), se otorgaron créditos siempre y cuando se cumpliera con lo establecido en el EGCVISBCM e instructivo del Fondo de Operación y Financiamiento Bancario a la Vivienda, FOVI-Banco de México. Inicialmente FOVI-Banco de México (como Banca de segundo piso) autorizó en 1979 la

construcción de un conjunto habitacional de 100 viviendas con estructuras de techos a base de madera en Tecate, B.C., posteriormente ya como Banca de primer piso, se construyeron 115 viviendas con el sistema “pies derechos” en la ciudad de Durango, Dgo., y 650 viviendas en Tijuana, B.C.”

“Bajo el financiamiento del Fondo Nacional de Habitaciones Populares (FONHAPO), se construyeron 853 pies de casa en Ciudad Juárez, Chih., y alternativas para construir 2,300 y 8,000 pies de casa en Chiconautla y Chimalhuacán, en el Edo. de México. Trabajando el Fomento Industrial Somex (FISOMEX) como Banca de primer piso, se promovió la construcción de 500 viviendas en el municipio de Ecatepec, Edo. de México; posteriormente, COMACO A.C., ofreció sus servicios a la Sociedad Cooperativa de Vivienda “Tollotzin”, para la construcción de 1,200 viviendas, de igual forma en el Edo. de México”.

“El Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (INFONAVIT), rescindió el contrato a una empresa poco profesional por los errores cometidos en la construcción de 500 viviendas en la Unidad Habitacional “El Renacimiento” en Acapulco, Gro., por lo que se recurrió a la Industria Papanoa (asociada a COMACO), para corregir y terminar la obra. Por otro lado, en la Ciudad de México, en la Unidad “Santa Fe”, se construyeron 1,198 viviendas de las cuales, las recámaras se realizaron con entresijos de vigas de duela de madera con el fin de recibir entresijos de madera en la recámara de crecimiento. En el Conjunto Habitacional “Los Tenorios”, también en la Ciudad de México, INFONAVIT promovió la

autoconstrucción de 640 viviendas de tal forma que se pudiera construir una recámara en la parte superior con elementos de madera”.

En el año de 1985, con el FONHAPO se realizó el primer concurso de vivienda popular con elementos de madera y se construyeron cerca de 2,000 casas de madera en los estados de Durango, Chiapas, Guerrero y Michoacán. También se realizó un concurso de diseño sobre “Techo Inicial” y se hicieron 10 prototipos muestra de vivienda en Coyoacán, D.F.; según información del CT-DCM (2014).

El grupo de Estudios sobre Estructuras Ligeras de Madera de la Comisión Forestal de América del Norte (COFAN), se formó en 1985 como uno de los resultados del 9º Congreso Mundial Forestal, celebrado en la Ciudad de México; debido a que se detectó una falta de promoción y difusión de este tipo de estructuras para uso permanente (COFAN, 1999:3).

Posteriormente, en el año de 1992, con recursos del INFONAVIT se construyeron 114 casas con estructura de madera en Topolobambo, Sinaloa; según información del CT-DCM (2014).

En 1990, se decidió realizar un manual de construcción en México con el apoyo y financiamiento de los Estados Unidos y Canadá; por lo que en 1994 se realizó la primera edición del Manual de Construcción de Estructuras Ligeras de Madera (MCELM). Más tarde en el año de 1999, se realizó la segunda edición a la cual se le hicieron correcciones y modificaciones por

parte de COMACO A.C y la División de Ciencias Forestales (DiCiFo) de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH) (COFAN, 1999:3).

Respecto a los trabajos de investigación, con relación a la construcción de viviendas con madera, se presentan a continuación los proyectos que se consideraron más relevantes:

Barajas (2009), a través de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), de la Facultad de Ingeniería Civil, presenta su tesis con el título *“Proceso Constructivo de una Casa de Madera como Alternativa de Construcción de Casas Habitación en México”*. Su estudio está basado en la construcción de una casa tipo residencial a base de componentes de madera y mixto construida en el fraccionamiento “Bella Flora At Patterson Gardens” ubicada al norte de la ciudad de Patterson, California, Estados Unidos.

Ángeles (2010), presenta su tesis de Maestría en Ciencias en Arquitectura del Instituto Politécnico Nacional (IPN), con el título *“Prototipo de Vivienda Rural Sustentable y Confortable a Base de Materiales Derivados de la Madera y Bagazo de Coco”*. En su estudio presenta un sistema alternativo de construcción con madera de coco y teja a base de fibra del mismo, para ser aplicados en la vivienda rural en el estado de Tabasco.

La Facultad de Ingeniería y Tecnología de la Madera (FITECMA, 2011), a través de la División de Estudios de Posgrado, presenta un artículo con el

título: *“Edificación Básica de Vivienda Rural de Uso Múltiple”*. En su estudio se refiere a un proyecto de propuesta de vivienda rural sustentable, la cual puede adaptarse a la construcción de alberges, consultorios y escuelas. Es un sistema constructivo a base de módulos prefabricados, compuestos con madera de calidad y características comerciales, complementada con materiales estandarizados accesibles en el mercado nacional.

Hasta el año 2014, de acuerdo a la información presentada en el CT- DCM (2014), se han construido viviendas en Llano Grande, Gro.; 120 viviendas rurales en el Barrancón del Tío Blas en el estado de Tamaulipas; 400 viviendas rurales en Oxchuc y estructuras de viviendas en Chenalho, ambas en el estado de Chiapas.

Desde el año 2005 al año 2014, COMACO ha realizado 9 concursos de vivienda con madera bajo las siguientes categorías: 1^{er} concurso: Vivienda Emergente y Vivienda Rural; 2^o concurso: Vivienda Económica para INFONAVIT; 3^{er} concurso: Unidad Básica de Vivienda Urbana y Unidad Básica de Vivienda Rural; 4^o concurso: Vivienda Media Sustentable y Unidad Básica de Vivienda Rural; 5^o concurso: Vivienda Económica Sustentable y Unidad Básica de Vivienda Rural Sustentable; 6^o y 7^o concurso: Vivienda Rural Sustentable; 8^o concurso: Vivienda Sustentable con Madera, y por último, el 9^o concurso: Vivienda Emergente.

Es importante mencionar que varias instituciones han brindado su apoyo para promover el uso de la madera en la construcción; el 9^o Concurso lo

realizó el siguiente comité organizador: COMACO A.C., la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR); la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU); la Comisión Nacional de la Vivienda (CONAVI); el Fondo de la Vivienda del Instituto de Seguridad y Servicios Sociales para los Trabajadores del Estado (FOVISSSTE); el Instituto del Fondo Nacional de Habitaciones Populares (FONHAPO); la Sociedad Hipotecaria Federal (SHF); el Consejo Nacional de Organismos Regionales de Vivienda (CONOREVI); el Colegio de Arquitectos de la Ciudad de México (CAM-SAM).

La tendencia actual de construcción de viviendas de madera son los llamados “Prefabricados”. Sánchez (2012:156-157,168-169), los denomina *“sistemas y elementos fabricados en taller que posteriormente se colocan en obra con medidas estándar”*. Uno de los ejemplos de este sistema es el proyecto “Printable House” realizado por *1:1 Arkitektur*, localizado en Copenhague, Dinamarca. El proyecto es construir una casa de madera con la ayuda de una computadora para el diseño y una cortadora CNC para dimensionar la madera; una característica de este proyecto es que es montable en cuatro días.

Otros ejemplos de este sistema que menciona Sánchez (2012), es un Open City localizado en Anyang, Corea del Sur, realizado por *Raumlabor Berlín*; la característica de ese lugar es que cuenta con pequeñas casas de madera donde se combinan distintos módulos prefabricados que albergan bar, talleres, galerías de arte, cocina-tiendas, ludotecas y demás.

Uno más se encuentra en Madrid, España, a cargo de *Recetas Urbanas* del creador Santiago Cirugeda, solo que éste consiste en el alquiler de azoteas a personas de bajos recursos, o ya sea la ocupación de espacios privados en desuso para construir una casa ligera de madera o estructura de acero y que sea desmontable.

3. OBJETIVOS

3.1. General

Realizar el proyecto constructivo de una casa de madera de pino, basado en el sistema estructural “pies derechos”, para mostrar la forma de proceder al considerar construir un modelo de vivienda en particular.

3.2. Particulares

Presentar el proceso de construcción de una casa de madera con el sistema estructural pies derechos, indicando la secuencia paso a paso de cada etapa constructiva

Dar a conocer cómo se aplican los reglamentos y normas de construcción para viviendas de madera, como son el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (RCDF, 2004), las Normas Técnicas Complementarias del Distrito Federal (NTCDF, 2004), las normas del Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C. (ONNCCE) y diversos manuales de construcción aplicables para madera, en una casa tipo.

4. METODOLOGÍA

La metodología de la secuencia constructiva del proyecto consta básicamente de siete apartados: *aspectos importantes de la madera de pino, selección y reconocimiento del sitio, diseño de la cimentación, diseño de muros, diseño del techo, materiales diversos y, preservación de la madera y acabados superficiales.*

El soporte técnico del MCELM de COFAN (1999), parte medular del proyecto, está basado en el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (RCDF, 1987) y las Normas Técnicas Complementarias del Distrito Federal (NTCDF, 1987); no obstante, se actualizó la información para realizar la metodología con base en las recomendaciones del RCDF (2004), NTCDF (2004), y las NMX vigentes del ONNCCE, aplicables a la madera.

El método de diseño en que se basa el MCELM es el de estados límites. El enfoque de estados límite es un formato en el que se consideran todos los aspectos de diseño en forma ordenada y racional, y el cual permite la fácil incorporación de criterios probabilísticos. Este método es el que establece el RCDF para el diseño de todos los materiales. El diseño de estructuras de madera conforme al criterio del RCDF, se detalla en las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Madera (NTC-DCEM) (COFAN, 1999:376).

La utilización de manuales como los de Parker y Ambrose (2012); CORMA (2004); JUNAC (1980), entre otros, se justifica porque cuentan con la información de las experiencias de países constructores como Estados Unidos, Canadá y Chile.

Debido a que la madera es el material principal en la construcción del proyecto, y considerando que uno de los problemas al construir con madera es el desconocimiento de varios aspectos, de entre ellos sus propiedades físicas y mecánicas, se tomó la decisión de mencionarlas al inicio de la metodología.

Las características de los tableros contrachapados de madera de pino, con base a su adhesivo de fabricación (para exteriores e interiores), se menciona en el apartado de *Materiales Diversos*. El tema de preservación, aspecto muy importante para evitar la pérdida de resistencia por agentes de deterioro, se indica en el apartado de *Preservación de la Madera y Acabados Superficiales*.

Es importante mencionar que no se consideró un lugar en específico para el proyecto de la vivienda (a pesar de haber utilizado la información de la normatividad del D.F.); sin embargo, las NMX proporcionan la información necesaria para construir la vivienda en cualquier parte del país, claro está, tomando en cuenta los reglamentos del estado de la República Mexicana y las características ambientales del lugar donde se construya.

Por dar un ejemplo acerca del lugar donde se construya la vivienda, al diseñar el alero (que brindará protección a los muros) se tomaron en cuenta las condiciones climáticas de la lluvia y del viento en el D.F. En este caso el diseño del alero se realizó con base en la información donde regularmente llueve, por lo que la longitud del alero fue tal, que trató de cubrir lo más posible los muros; sin embargo si se ubicara la vivienda donde la cantidad y presencia de lluvia sea mínima, la información para diseñar el alero será diferente y se tomarán en cuenta otras consideraciones.

Otro ejemplo de la influencia de las características ambientales en el diseño y ubicación de la vivienda, fue la distribución de vanos (puertas, ventanas y otros); la NMX-C-460-ONNCCE (2009), indica un porcentaje que deben cumplir los vanos en las envolventes de las viviendas para evitar o disminuir en lo posible el uso de calefactores (en lugares de clima frío), y aire acondicionado (en lugares de clima caliente) ante el grave problema actual del cambio climático.

La NMX-C-460-ONNCCE (2009), indica que *“la vivienda es un componente cuya estructura permite satisfacer las necesidades vitales del hombre”*; además de brindar seguridad y protección. De acuerdo a lo anterior, los espacios habitables de la vivienda, se diseñaron para cubrir las necesidades de una familia de cuatro personas: dos recamaras (principal y secundaria), sala, comedor, cocina, cuarto de lavado y un sanitario con regadera; es decir una vivienda funcional (Figura 1).

Se revisaron diferentes modelos y estilos de casas de madera en memorias técnicas de proyectos de COMACO A.C., manuales de construcción, de diseño estructural, artículos científicos, tesis de maestría y licenciatura, libros, internet y folletos disponibles, hasta determinar el modelo que más se asemejara a las características de los espacios habitables mencionados anteriormente.

Elegido el tipo de vivienda (vivienda rural con techo a dos aguas de un piso, Figura 2), los espacios habitables se ubicaron con base en las reglas que establece el sistema constructivo pies derechos, es decir, cada panel que forma los muros, se diseñó con las dimensiones de tableros comerciales de 4 pies x 8 pies (1.22 m x 2.44 m) y la separación entre centros, por cada pie derecho, en múltiplos de 24" (61 cm). Los planos de los espacios habitables se realizaron con el programa AutoCAD 2010.

La ubicación de las instalaciones (sanitaria, hidráulica, eléctrica, entre otras) se diseñaron siguiendo la distribución de los espacios de la vivienda en los planos, junto con las recomendaciones indicadas en los manuales de construcción con madera, el RCDF (2004) y las NTCDF (2004). Los planos de las instalaciones se realizaron con el programa AutoCAD 2010.

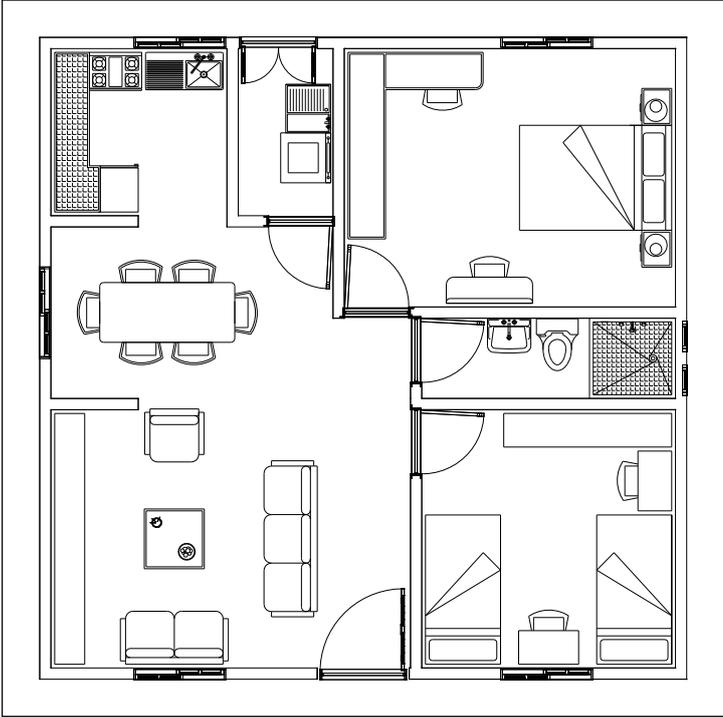


Figura 1. Distribución de los espacios habitables para cuatro personas.

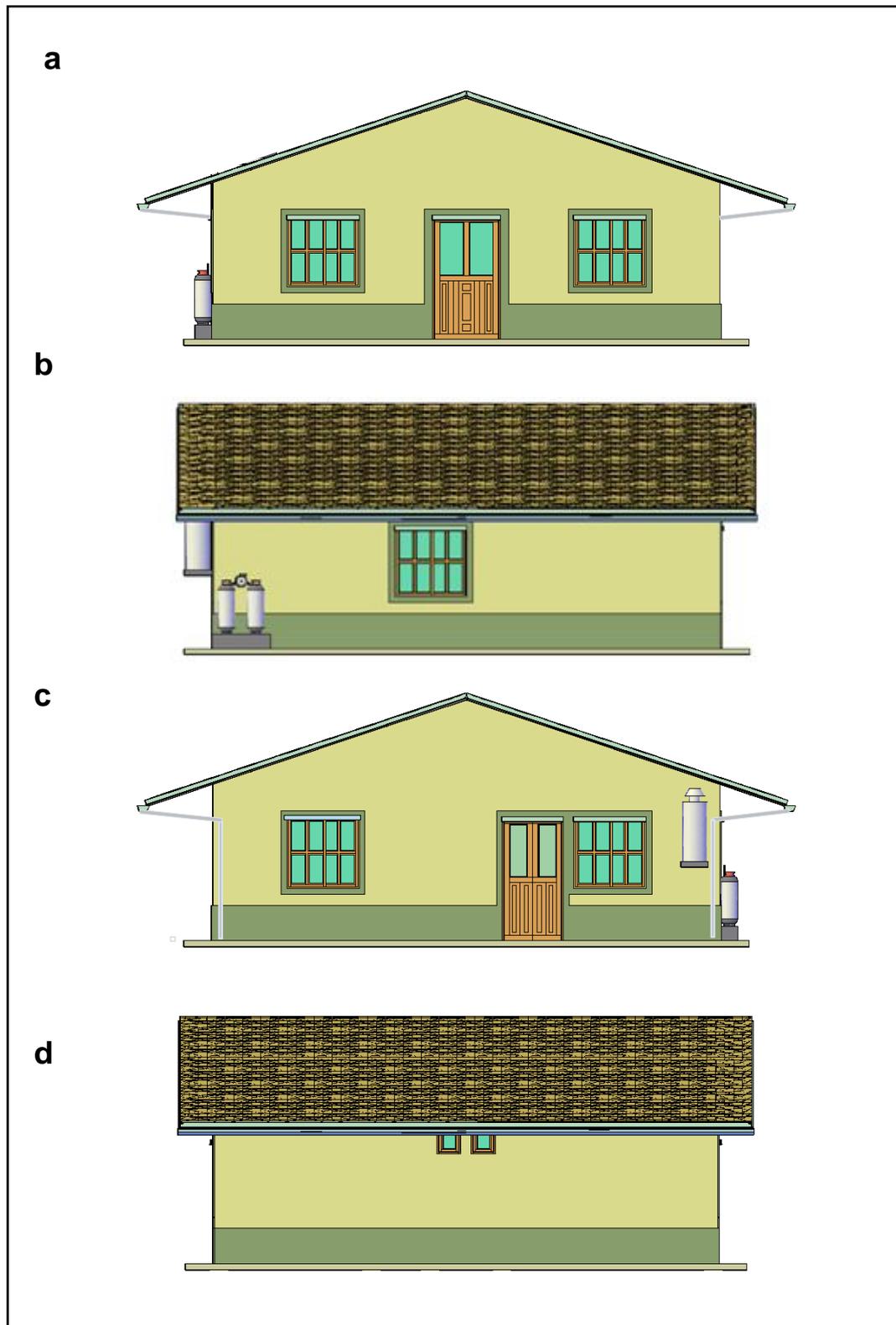


Figura 2. Vivienda rural con techo a dos aguas. a) Frontal; b) Izquierda; c) Trasera; d) Derecha.

4.1. Aspectos Importantes de la Madera de Pino

Tomando en cuenta que uno de los principales problemas de los interesados en construir con madera, es el desconocimiento de sus propiedades físicas y mecánicas; es importante hacer una breve reseña acerca de las características del árbol (genero *Pinus*), su distribución, y su estructura celular con relación a su capacidad de carga.

Posteriormente, se detallan las propiedades que se consideran básicas para entender el comportamiento de la madera en la estructura de la vivienda y se indican los criterios de clasificación para determinar la clase estructural a la que pertenecen los pies derechos; por último, se menciona la influencia de las propiedades físicas en las dimensiones nominales de los pies derechos.

4.1.1. Propiedades y características de la madera de pino

El género *Pinus*, al cual pertenece la madera de pino, se incluye dentro de las coníferas; los árboles de coníferas, en su mayoría dan la impresión de ser siempre verdes. Sus hojas por lo regular tienen una forma ahusada y son delgadas, más largas que anchas (también llamadas acículas). Generalmente tienen un tronco principal recto, con ramas dispuestas de tal forma que dan la apariencia de triángulo o cono (Echenique y Robles, 1993:22).

En cuanto a su distribución, generalmente se encuentran en los bosques de clima templado y frío en las cordilleras; se encuentran por lo regular en las regiones altas de los estados de Chihuahua, Durango, Oaxaca, Michoacán, Guerrero y Chiapas, principalmente en el norte del país (Echenique y Robles, 1993:12-13).

La madera de coníferas está formada por dos tipos de células, las traqueidas (en dirección vertical al eje del tronco) y los radios (rayos) o parénquima radial (en dirección horizontal, perpendicular al eje del tronco). Las traqueidas son células alargadas con extremos puntiagudos cuya función principal es el soporte para cargas axiales y la conducción de líquidos gracias a su orientación. Sus espacios centrales o lúmenes están parcialmente vacíos, de acuerdo a la cantidad de agua que se encuentre en su interior, y se comunican entre sí por medio de orificios llamados punteaduras que permiten la circulación de los líquidos como se indica en la Figura 3 (COFAN, 1999:13).

Con relación a la capacidad de carga, la madera en el árbol en pie, una de sus funciones es la de resistir cargas del árbol mismo como de las acciones exteriores, principalmente viento. Las traqueidas están orientadas de tal manera que proporcionan una mayor capacidad de carga en la dirección paralela al tronco llamada dirección longitudinal o axial. Sin embargo, perpendicularmente al tronco, la capacidad de carga es considerablemente menor que a lo largo del mismo (COFAN, 1999:12).

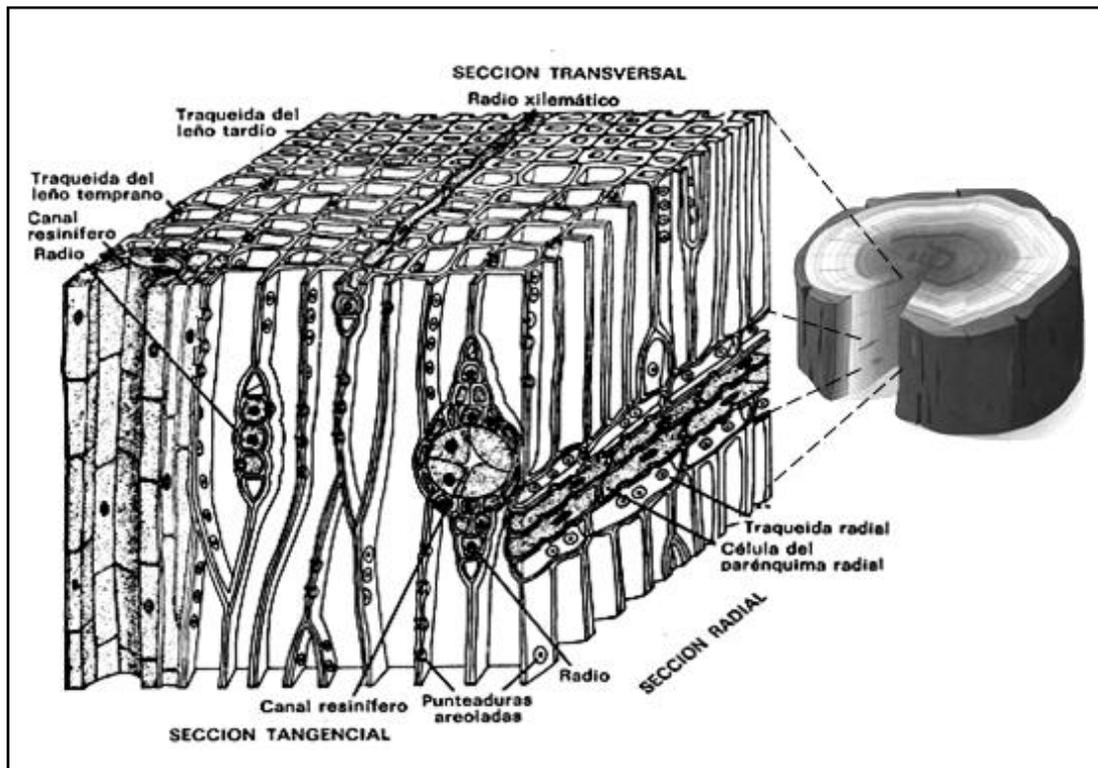


Figura 3. Elementos celulares que conforman la madera de pino en su sección transversal, tangencial y radial. Fuente: A Fahn (1978), (izquierda); García *et al.* (2003), (derecha).

En la madera se presentan dos direcciones, una que es tangencial a los anillos de crecimiento, llamada dirección tangencial y una perpendicular a esta última llamada dirección radial (Figura 4).

Esta diferencia (junto con otras razones como la dirección de las microfibrillas), le confiere a la madera un comportamiento anisotrópico, el cual es un término que se aplica a los materiales en los que sus propiedades tanto físicas como mecánicas, dependen de la dirección en las que son medidas.

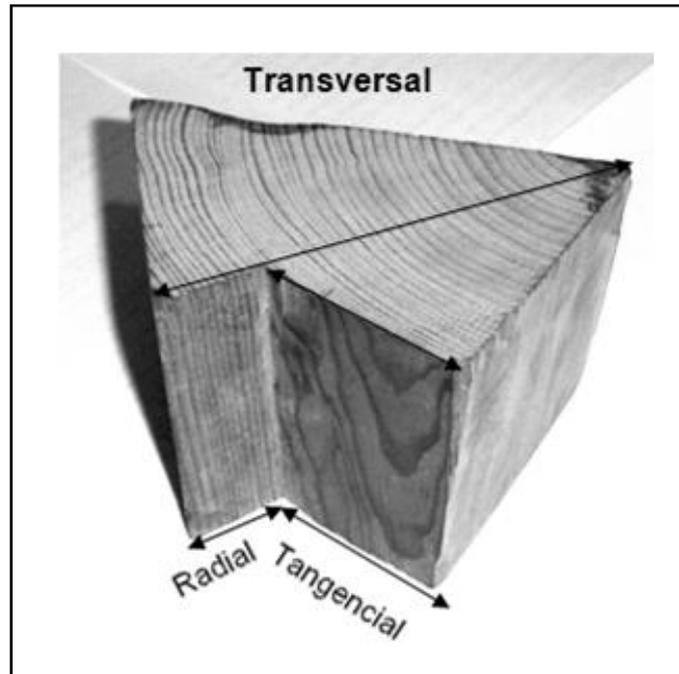


Figura 4. Dirección radial y tangencial de la madera con relación a los anillos de crecimiento.

La madera al ser un material poroso y heterogéneo, en su estructura presenta un comportamiento anisotrópico e higroscópico y por lo tanto sus propiedades físicas varían entre diferentes especies. Su conocimiento permite procesarla adecuadamente para utilizarla como materia prima en diferentes procesos de consumo final (Tamarit y López, 2007:6).

Tal conocimiento se traduce en el mejor entendimiento de sus propiedades físicas y mecánicas. Tamarit y López (2007:6), indican que *“las propiedades físicas son aquellas que determinan su comportamiento ante los factores del ambiente, se determinan mediante el peso, la medición y el secado por lo que no se modifica química y mecánicamente su estructura”*, una característica de estas propiedades es que no requieren de la aplicación de fuerza externa para manifestarse.

Las propiedades físicas más importantes son: la masa, permeabilidad, higroscopicidad y estabilidad dimensional determinada por la contracción e hinchamiento (cambios dimensionales).

Con relación a las propiedades mecánicas, Tamarit y López (2007:11), mencionan que *“debido a la anisotropía de la madera, éstas sí se determinan aplicando una fuerza externa sobre la madera, como lo son en dirección perpendicular y paralela a la fibra. Debido a la ubicación de las fibras en el árbol (paralela al eje del árbol) las resistencias y módulos de elasticidad son mayores en esta última”*.

Las propiedades mecánicas más importantes son: la resistencia, elasticidad, plasticidad, resiliencia, tenacidad y dureza.

Las propiedades mecánicas que se determinan con base en las normas ASTM D143, de acuerdo con ASTM (1997), citado por Tamarit y López (2007:13), son *“el módulo de ruptura a flexión, resistencia a la compresión paralela a las fibras, resistencia a la compresión perpendicular a las fibras, tracción paralela a las fibras, torsión, tenacidad, resistencia al impacto y dureza”*.

Se deben mejorar los métodos de clasificación de la madera en cuanto a sus propiedades mecánicas, cuyo propósito principal es que la dimensión de las piezas de madera puedan elaborarse con mayor eficiencia (Echenique y Robles, 1993:18).

Ante la aplicación de cargas o fuerzas externas (aspectos importantes en la construcción), en la madera se presentan diferentes esfuerzos. Tamarit y López (2007:12), señalan que *“el esfuerzo unitario es la resistencia interna que presenta un cuerpo a la aplicación de una carga por unidad de área; éste se expresa en kg/cm² o lb/pulg²”*.

A continuación se mencionan los tipos de esfuerzos unitarios que se determinan en la madera de acuerdo con Tamarit y López (2007:12):

- a) Módulo de ruptura (MR): es el esfuerzo máximo en una probeta de madera en el momento de su ruptura, corresponde a la carga aplicada en el momento de la falla y el área de aplicación en la pieza de madera.
- b) Carga máxima (CM): corresponde a la máxima carga aplicada que puede soportar la madera antes de que se presente el momento de falla o ruptura (Figura 5).
- c) Esfuerzo al límite de proporcionalidad (ELP): corresponde a la carga máxima que soporta la madera, se deforma proporcionalmente a la magnitud de la carga aplicada. Se presenta en el límite elástico cuando puede recuperar su forma original una vez suspendida dicha carga. Si el ELP se rebasa, la madera entra a la zona plástica (Figura 5), en la que ya no recupera su forma y dimensiones originales; es entonces cuando se presenta el esfuerzo de CM y el MR (Figura 5).

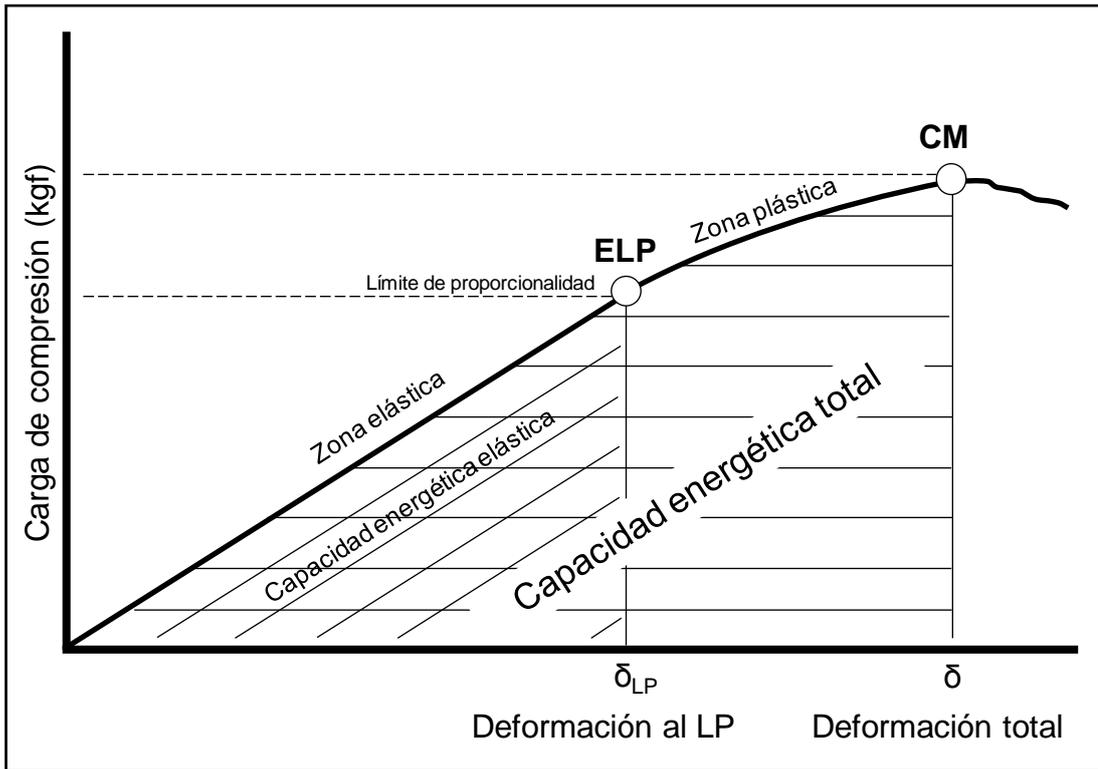


Figura 5. Gráfico carga-deformación de una pieza de madera de pino.

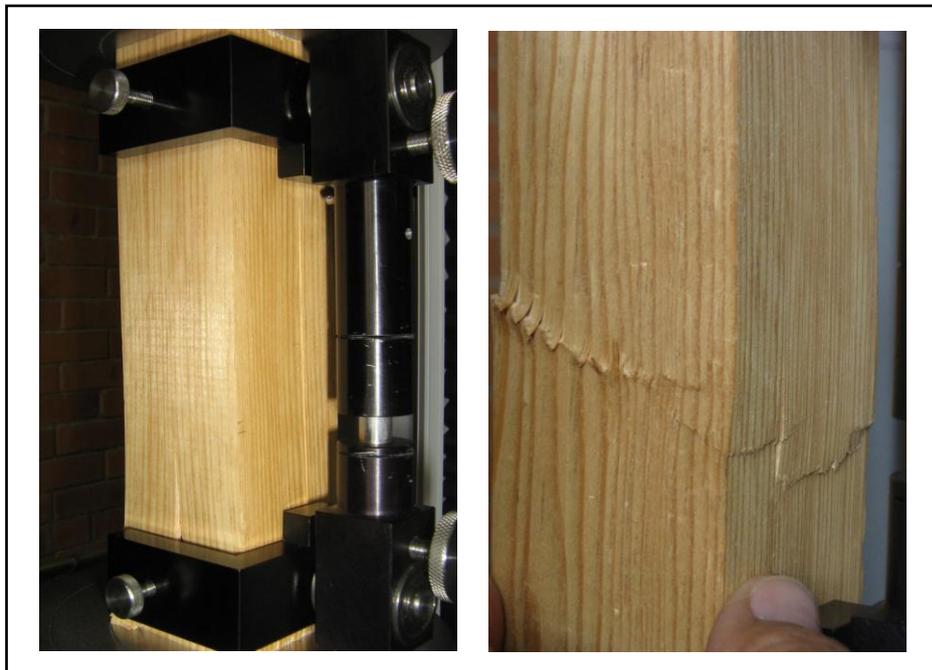


Figura 6. Probeta sometida a carga de compresión paralela a la fibra (izquierda); momento de falla de la probeta (derecha).

El conocimiento de las características de cualquier material es indispensable para su correcta utilización, por lo que es importante comprender que la madera no es un material estándar, fabricado por el hombre, manufacturado bajo especificaciones básicas exactas, en forma relativa, fácilmente reproducibles, sino una sustancia básica que está muy lejos del control humano (Arroyo, 2003:16).

El estudio de las propiedades mecánicas de la madera, ha permitido establecer los criterios de diseño con relación a las cargas que pueden soportar las piezas de madera, principalmente estructurales. Los valores de estos estudios, se incluyen en la mayoría de los manuales de construcción; en este caso en particular, están incluidas en el MCELM de COFAN (1999).

Con base en esta información y con las cargas totales (W) calculadas en el techo de la vivienda, fue posible determinar la capacidad de carga de los pies derechos; estos cálculos se indican posteriormente en el apartado *Diseño del Techo*.

4.1.2. Dimensión nominal y real del pie derecho 2" x 4"

COFAN (1999:36), menciona que tradicionalmente al predominio del equipo extranjero que se utiliza en los aserraderos en México (sierra principal, desorilladora, canteadora, etc.), las dimensiones de la madera (grueso, ancho y largo), se establecen en unidades inglesas (pulgadas y pies) para cuantificarla y comercializarla.

Parker y Ambrose (2012:136), señalan que *“las dimensiones del pie derecho más común es el de 2” x 4” el cual se coloca a intervalos de 12”, 16” ó 24”, acorde a las solicitaciones de carga”*.

A pesar de que las dimensiones de la madera se establecen en dimensiones inglesas, como en este caso las dimensiones de los pies derechos 2” x 4”, se utilizó la NMX-C-224-ONNCCE (2001), *“Dimensiones de la Madera Aserrada para su Uso en la Construcción”*, para establecer los criterios de madera seca y cepillada destinada a la construcción para las dimensiones reales de los pies derechos.

La NMX-C-224-ONNCCE (2001:3-4), define el nombre de las dimensiones de una pieza de madera de la siguiente manera: *“el grosor como la dimensión menor de la escuadría, al ancho o anchura a la dimensión mayor de la escuadría o dimensión de la cara, y la longitud está dada de acuerdo con la distancia entre las cabezas de una pieza”*.

De acuerdo a lo anterior, en el Cuadro 1, se presenta parte del cuadro original indicando sólo las dimensiones y tolerancias que debe cumplir el pie derecho de 2” x 4” destinada a la construcción de la vivienda en condición seca y a un contenido de humedad (CH) menor o igual al 18%, por lo que para mayor información, se recomienda consultar el cuadro original.

Cuadro 1. Dimensiones y tolerancias que debe cumplir la madera destinada a la construcción (en condición seca, CH≤18%). Fuente: NMX-C-224-ONNCCE (2001:3-4).

Grosor (mm)		Anchura (mm)		Longitud (mm)	
D	T	D	T	D	T
38	±1,0	89	±1,5	2 440	±6,0

D = Dimensiones; T = Tolerancias

4.1.2.1. Efecto del CH y habilitado, en la dimensión nominal

El conocimiento del contenido de humedad (CH) en la madera, se considera fundamental para lograr entender su comportamiento ante los cambios dimensionales que puedan afectar las dimensiones de los pies derechos, situación muy importante cuando las tuberías de gas, hidráulicas, entre otras, se encuentran sujetas a la madera.

Contenido de humedad, es la cantidad de agua contenida en una pieza de madera, expresada como un porcentaje referido al peso anhidro de la misma pieza (Espinosa *et al.*, 2010:35).

La NMX-C-224-ONNCCE (2001), indica que la madera destinada a la construcción, se encuentre en condición seca a un CH≤18%, y de acuerdo a la definición anterior, la cantidad de agua de una pieza de madera al 18%, equivaldrá a 0.18 veces el peso de la madera totalmente exenta de agua (estado anhidro).

Para comprender varios de los conceptos que tienen que ver con el CH, se definen los siguientes términos de acuerdo a la NMX-C-443-ONNCCE (2006), “*Contenido de Humedad de la Madera – Métodos de Ensayo*”:

- a) Punto de Saturación de la Fibra (PSF): estado de humedad de la madera en la cual los lúmenes de sus células no contienen agua libre y sus paredes celulares están saturadas de agua higroscópica (Figura 7). En promedio representa el 30% de CH.
- b) Condición verde: CH de la madera cuando está recién cortada y que es superior al PSF.
- c) Estado anhidro: es la condición que presenta la madera cuando se le ha extraído toda el agua. Para ello es necesario secar la madera a temperaturas a $376\text{ K} \pm 2\text{ K}$ ($103\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$) hasta alcanzar un peso constante.

Los conceptos mencionados anteriormente, se pueden observar claramente representados en la Figura 7.

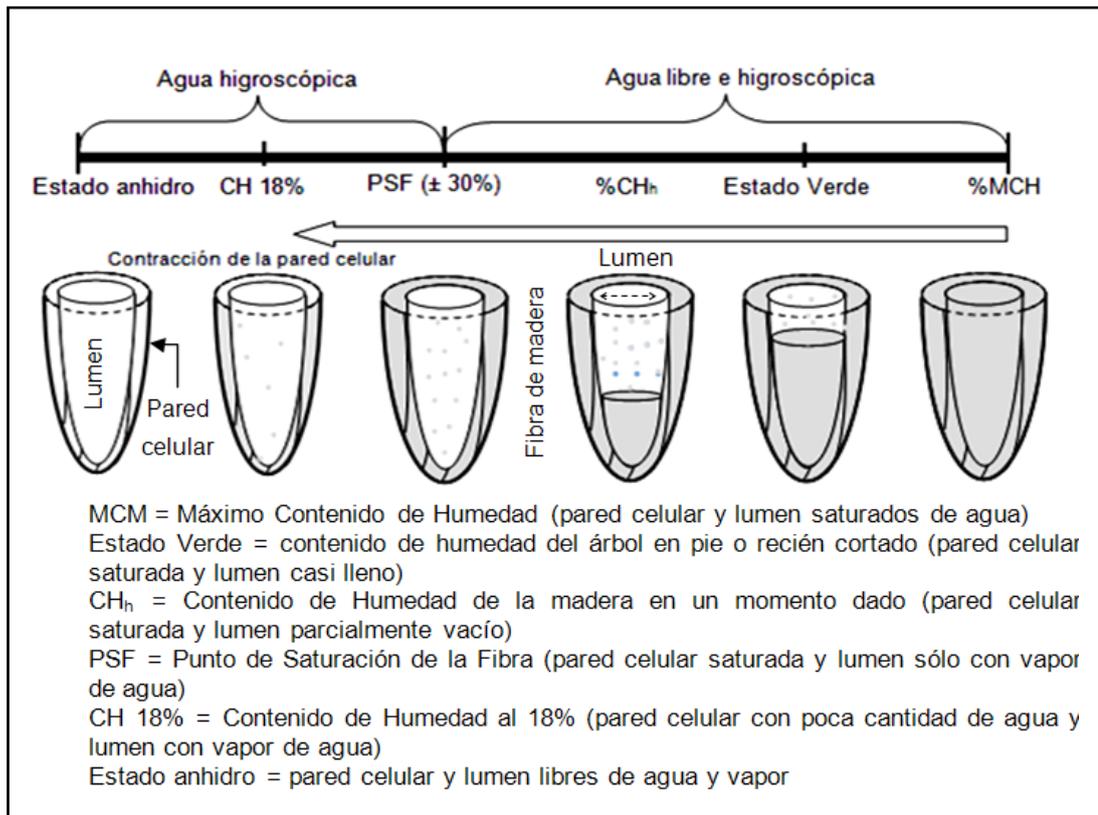


Figura 7. Contenidos de humedad en la madera.

Es importante mencionar que las dimensiones del pie derecho se manejan de 2" x 4" (nominalmente), lo que significaría hipotéticamente que las dimensiones a utilizar serían de 5.08 cm x 10.16 cm aproximadamente. Sin embargo debido a que la madera se asierra en condición verde en dimensiones inglesas de 2" x 4" y se especifica que la madera se seque a un $CH \leq 18\%$, y posteriormente sea habilitada (cepillada y canteada), las dimensiones finales del pie derecho de acuerdo a la NMX-C-224-ONNCCE (2001), serán de 38 mm x 89 mm.

En este caso se está considerando que al momento de secar la madera y comience a evaporarse el agua por debajo del punto de saturación de la fibra (PSF), habrá una contracción de su pared celular disminuyendo sus dimensiones, mayoritariamente en dirección tangencial, en menor proporción en dirección radial y mínimamente en dirección axial. Finalmente seca la madera al 18% de CH, el cepillado y canteado son finalmente las acciones que definen las dimensiones finales de los pies derechos.

American Softwoods (s/f a: 43), relaciona el tamaño de las piezas de madera con su CH conforme a la Norma PS20-99, estableciendo diferentes categorías de tamaños para maderas a un $CH > 19\%$ y $CH < 19\%$, para asegurar que ambos productos tengan básicamente el mismo tamaño al ser utilizados. Los productores de madera del oeste de los Estados Unidos, ofrecen madera a $CH > 19\%$ y $CH < 19\%$, en tamaños de 38 mm (2" nominales), y por lo tanto dos categorías diferentes de tamaño. De acuerdo al sello de entrega S-DRY, KD-19, MC-15, KD-15, indican que la madera fue cepillada en seco, mientras que S-GRN, significa que la madera fue procesada a un $CH > 19\%$ y se espera reduzca sus dimensiones hasta alcanzar el tamaño de la madera seca a $CH < 19\%$, al ir secándose en forma natural de acuerdo a las dimensiones que se proporcionan en el Cuadro 2, para madera de 2" x 4".

Cuadro 2. Dimensiones nominales y reales bajo la Norma PS20-99. Fuente: American Softwoods (s/f a: 43).

Condición	CH<19%: S-DRY, KD-19, MC-15, KD-15		CH>19%: S-GRN	
Tamaño nominal	Tamaño real cepillados		Tamaño real cepillados	
2" x 4"	1 1/2" x 3 1/2"	38 mm x 89 mm	1 9/16" x 3 9/16"	40 mm x 91 mm

Una propiedad física que tiene relación directa con el CH, es la higroscopicidad, Tamarit y López (2007:7), indican que *“la madera al ser porosa, tiene la capacidad de ceder o ganar humedad en intercambio con la humedad existente en el ambiente que la rodea, hasta alcanzar el equilibrio (CHE)”*, como se puede observar en la Figura 8.

El CH de una madera varía en función a las condiciones atmosféricas prevaletientes como la humedad relativa y la temperatura del aire del lugar en que se encuentre (Tamarit y López, 2007:9).

La variación de estos factores provoca que la madera pierda o gane humedad (según sea el caso) ocasionando que su volumen y dimensiones se reduzcan o incrementen, dando como resultado los cambios dimensionales (contracción e hinchamiento).

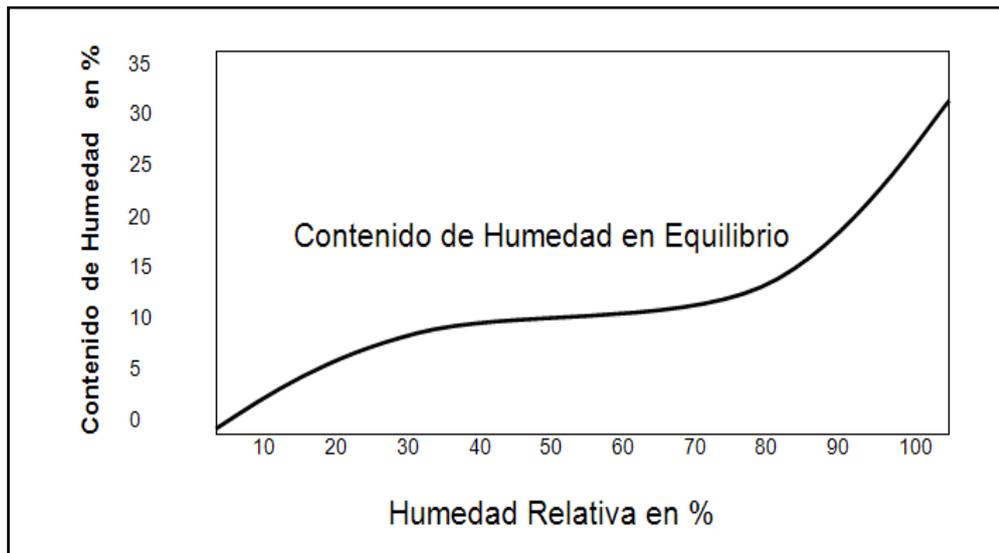


Figura 8. Curva de sorción del CHE de la madera en función con la HR. Fuente: Espinosa *et al.* (2010).

Se debe especificar que la contracción e hinchamiento, sólo se presentan desde el rango del PSF-estado anhidro y viceversa. Una madera se encuentra en el PSF cuando su pared celular se encuentra completamente saturada de agua higroscópica y en sus lúmenes o espacios vacíos sólo contiene vapor de agua. Este fenómeno se presenta cuando la humedad relativa (HR) se encuentra al 100%, indicado en la Figura 8.

La contracción es la disminución de dimensiones y/o volumen de la madera, expresada en términos de porcentaje correspondiente al estado verde; por otra parte el hinchamiento o expansión, es el aumento de las dimensiones y/o volumen expresado en porcentaje correspondiente a la magnitud presentada en estado anhidro (Tamarit y López, 2007:9).

Cabe indicar que una pieza de madera, en este caso un pie derecho, puede tener una cara tangencial (ancho) y un espesor radial (grosor), o contrariamente una cara radial (ancho) y un espesor tangencial (grosor), de acuerdo como fue obtenida la pieza de madera durante el aserrado. Esto se puede observar en el diagrama de corte de la Figura 9.

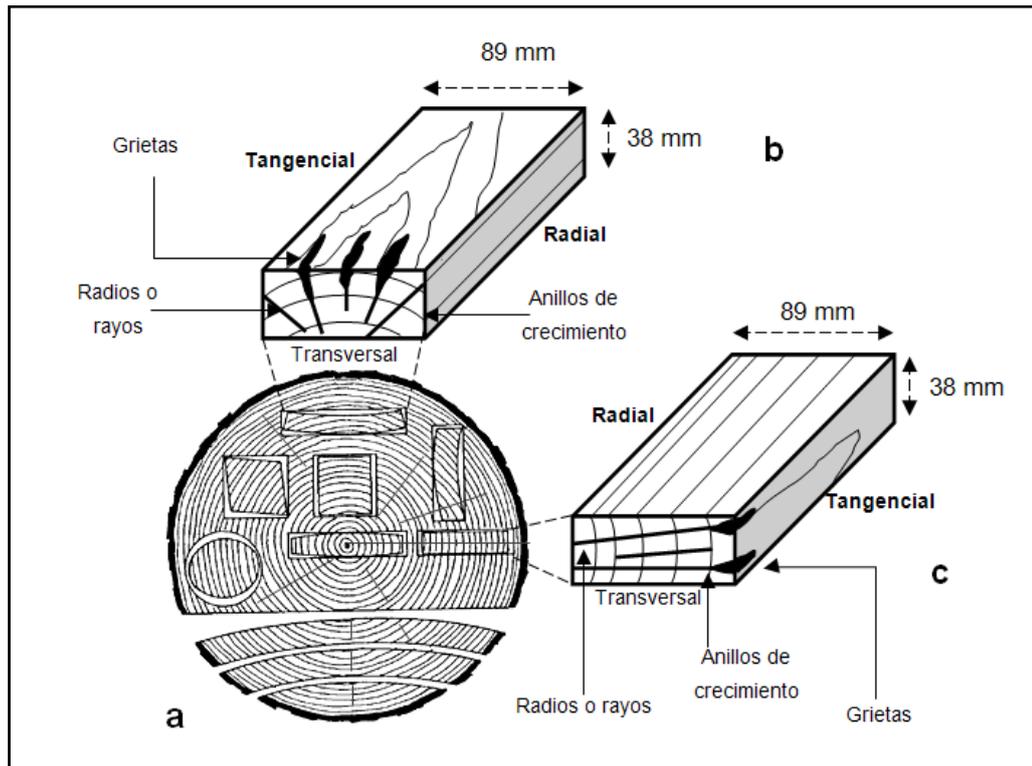


Figura 9. a) Diagrama de corte de una troza de madera y cambios dimensionales de acuerdo a la dirección de corte. Fuente: JUNAC (1988:11-11); b) Pie derecho de cara tangencial y espesor radial; c) Pie derecho de cara radial y espesor tangencial.

Habiendo comprendido que la madera tiene un comportamiento anisotrópico y que la contracción e hinchamiento se manifestarán en diferente dirección e intensidad, en la Figura 10, los cambios dimensionales en dirección tangencial serán aproximadamente el doble que en la dirección radial (100 y 50% respectivamente) mientras que en dirección axial serán casi imperceptibles.

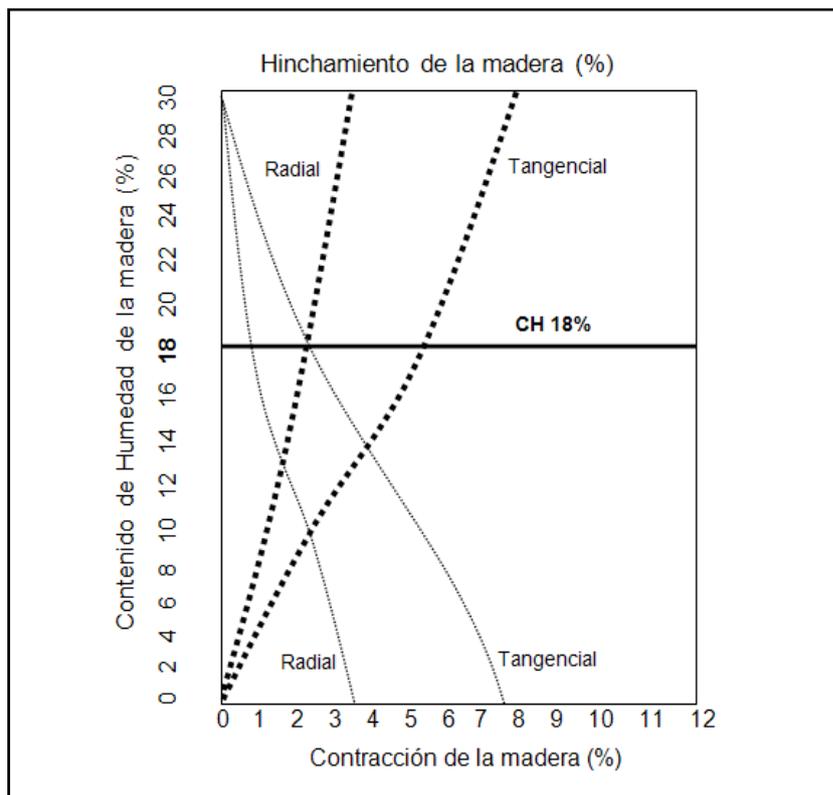


Figura 10. Diagrama de la contracción e hinchamiento de madera de pino, en función del CH de la madera (%).

Suponiendo que un muro interior no arriostrado está formado con pies derechos de 2" x 4" (38 mm x 89 mm) a un CH del 18%, e hipotéticamente comenzara a aumentar la HR en el interior de la vivienda 10%, eso significaría (con la información de la Figura 10) un hinchamiento en la dirección radial de 1%, mientras que en la dirección tangencial sería del 2%.

Continuando con el supuesto anterior, si el pie derecho de acuerdo a la Figura 9b, tuviera la cara (ancho) mayoritariamente en un corte tangencial, al aumentar 10% su CH, el espesor de 38 mm (en dirección radial) aumentaría su dimensión 1% lo que significaría una dimensión de 38.89 mm; en este caso su ancho, que es un corte tangencial, aumentaría su dimensión 2% lo que significaría una dimensión de 90.78 mm.

La dimensión final del pie derecho de cara tangencial (Figura 9b), desde 18 a 28% de CH sería de 38.89 mm x 90.78 mm. En este caso, si el pie derecho de acuerdo a la Figura 9c, tuviera la cara mayoritariamente en un corte radial, y siguiendo la misma metodología anterior, el espesor aumentaría 2% y el ancho 1%, por lo que la dimensión final del pie derecho de cara radial (Figura 9c), desde 18 a 28% de C.H. sería de 38.76 mm x 89.99 mm.

Contrariamente, en el caso hipotético que en el interior de la vivienda, la HR disminuyera, y aumentara la temperatura hasta bajar un 4% de CH en la madera de los pies derechos (18 a 12%), lo anterior indicaría una contracción de 1% en dirección radial, y una contracción de 2% en dirección tangencial. El pie derecho de cara tangencial, debido a la contracción indicada en la Figura 9, tendría una dimensión final de 37.62 mm x 87.22 mm, mientras que el pie derecho de cara radial, tendría una dimensión final de 37.24 mm x 88.11 mm. Lo anterior se resume en el Cuadro 3 y Figura 11.

Cuadro 3. Dimensiones finales en pies derechos (38 mm x 89 mm) de acuerdo al incremento o descenso del CH.

Contenido de humedad (%)	Pie derecho <u>b</u> (cara tangencial)		Pie derecho <u>c</u> (cara radial)	
	Radial	Tangencial	Radial	Tangencial
	Espesor	Ancho	Espesor	Ancho
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
de 18 a 28 (Hinchamiento)	38.89	90.78	38.76	89.89
de 18 a 12 (Contracción)	37.62	87.22	37.24	88.11

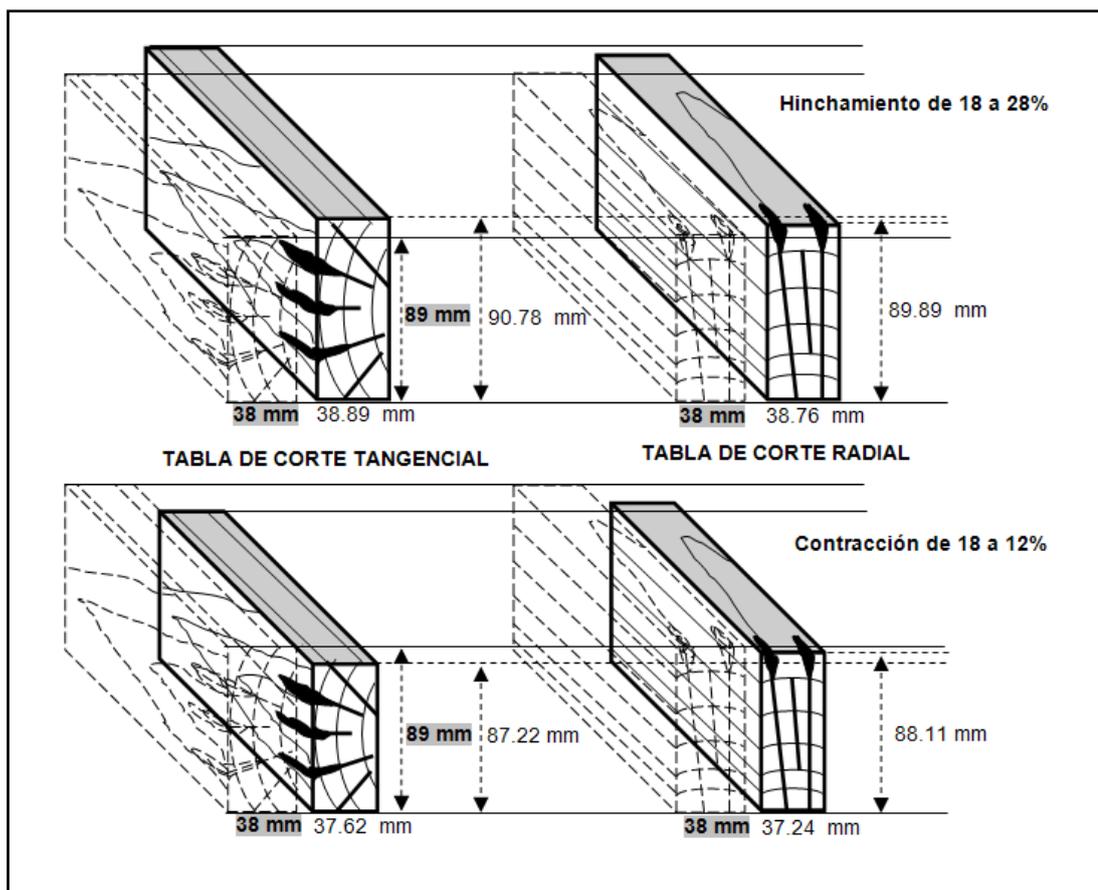


Figura 11. Cambios dimensionales en dos pies derechos (2'' x 4''), de acuerdo a la dirección de corte y a la variación del CH, HR y Temperatura.

El ejemplo anterior se considera “hipotético”. Para fines de cálculo de contracciones e hinchamientos, se deberá considerar lo siguiente: “Dimensión verde” de la madera es cualquier valor \geq PSF, ya que a partir del PSF, se alcanza la máxima dimensión y no habrá variación.

Por consiguiente: $D_{PSF} = D_V = D_{MCH}$

Contracción total PSF \longleftrightarrow 0%

Contracción parcial PSF \longleftrightarrow h% 0%

Contracción volumétrica

$$\text{Contracción volumétrica total (\%)} = \beta = \frac{V_v - V_0}{V_v} * 100$$

$$\text{Contracción volumétrica parcial, al h\%, (\%)} = \beta_h = \frac{V_v - V_h}{V_v} * 100$$

Contracción lineal

$$\text{Contracción tangencial total (\%)} = \beta_T = \frac{T_v - T_0}{T_v} * 100$$

$$\text{Contracción tangencial parcial, al h\%, (\%)} = \beta_{Th} = \frac{T_v - T}{T_v} * 100$$

$$\text{Contracción radial total (\%)} = \beta_R = \frac{R_v - R_0}{R_v} * 100$$

$$\text{Contracción radial parcial, al h\%, (\%)} = \beta_{Rh} = \frac{R_v - R_h}{R_v} * 100$$

Relación de anisotropía $R_A = \frac{\beta_T}{\beta_R}$

Hinchamiento total PSF \longleftrightarrow 0%

Hinchamiento parcial PSF h% \longleftrightarrow 0%

Hinchamiento volumétrico

$$\text{Hinchamiento volumétrica total (\%)} = \alpha = \frac{V_v - V_0}{V_0} * 100$$

$$\text{Hinchamiento volumétrica parcial, al h\%, (\%)} = \alpha_h = \frac{V_h - V_0}{V_0} * 100$$

$$\text{Coeficiente de Hinchamiento volumétrico (\%)} = v = \frac{\alpha_h}{h} * 100$$

Donde "h" es un valor de CH intermedio entre 0 y PSF

$$\text{PSF} = \frac{\alpha}{v}$$

Hinchamiento lineal

$$\text{Hinchamiento tangencial total (\%)} = \alpha_T = \frac{T_v - T_0}{T_0} * 100$$

$$\text{Hinchamiento tangencial parcial, al h\%, (\%)} = \alpha_{Th} = \frac{T_h - T_0}{T_0} * 100$$

$$\text{Hinchamiento radial total (\%)} = \alpha_R = \frac{R_v - R_0}{R_v} * 100$$

$$\text{Hinchamiento radial parcial, al h\%, (\%)} = \alpha_{Rh} = \frac{R_h - R_0}{R_0} * 100$$

Relación de anisotropía

$$R_A = \frac{\alpha_T}{\alpha_R}$$

Donde:

D_{PSF} = Dimensión en el PSF
PSF = Punto de Saturación de la Fibra
 D_V = Dimensión verde
V = Condición de humedad verde
 D_{MCH} = Dimensión en el MCH
MCH = Máximo contenido de humedad
 β = % de contracción total
 V_V = Volumen verde
 V_0 = Volumen anhidro
 β_h = % de Contracción volumétrica al "h" % de CH
h = Contenido de humedad entre 0 y PSF
 V_h = Volumen al "h" de CH
 β_T = % de contracción tangencial total
 T_V = Dimensión tangencial verde
 T_0 = Dimensión tangencial anhidra
 β_{Th} = % de contracción tangencial al "h" % de CH
 T_h = Dimensión tangencial al "h" % de CH
 β_R = % de contracción radial

R_V = Dimensión radial verde
 R_0 = Dimensión radial anhidra
 β_{Rh} = % de contracción radial al "h" % de CH
 R_h = Dimensión radial al "h" % de CH
 R_A = Relación de anisotropía
 α = % de hinchamiento volumétrico total
 V_V = Volumen verde
 V_0 = Volumen anhidro
 α_h = % de hinchamiento volumétrico al "h" % de CH
h = Contenido de humedad entre 0 y PSF
 V_h = Volumen al "h" % de CH
v = Coeficiente de hinchamiento volumétrico
 α_T = % de hinchamiento total
 α_{Th} = % de hinchamiento tangencial total
 α_{Rt} = % de hinchamiento radial total
 R_V = Dimensión radial verde
 R_0 = Dimensión radial anhidra
 α_{Rh} = % de hinchamiento radial al "h" % de CH
 R_h = Dimensión radial al "h" % de CH
 R_A = Relación de anisotropía

Espinosa *et al.* (2010:36-38), menciona tres métodos para evaluar el contenido de humedad: por pesadas, por destilación y con el xilohigrómetro eléctrico. Éste último se realiza con medidores de humedad de conductancia (con agujas) y medidores de humedad dieléctricos (sin agujas), por lo que se recomienda el uso de este último por su facilidad de manejo, ya que no se necesita obtener muestras de madera (pruebas destructivas) como es el caso del método por pesadas y por destilación, además de que no perfora la madera con agujas como es el caso de los medidores de humedad de conductancia.

Sin embargo, si se requiere de una mayor precisión para determinar el CH de las piezas de madera, en este caso para comprobar si es correcto el CH de los pies derechos que se van a utilizar en la construcción, se recomienda utilizar la NMX-C-443-ONNCCE (2006), basado en el método por pesadas, el cual en resumen se necesita determinar el peso anhidro y el peso del agua contenida en una pieza de madera. Se recomienda utilizar las siguientes fórmulas de acuerdo a Espinosa *et al.* (2010:36-38):

$$\text{CH \%} = \frac{P_h - P_o}{P_o} \times 100$$

Donde:

CH = Cantidad de agua presente en la madera expresada como un porcentaje con relación a su peso anhidro

P_h = Peso de la madera en estado húmedo

P_o = Peso de la madera en estado anhidro

O de otra forma:

$$\text{CH \%} = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso seco o anhidro de la madera}} \times 100$$

Espinosa *et al.* (2010:32), indica dos razones del porqué es importante mantener a la madera en el rango del $\text{CH} \leq 18\%$:

“Los agentes bióticos que pueden atacar la madera, necesitan agua para sobrevivir, crecer y desarrollarse, principalmente los hongos y algunas especies de insectos. Los hongos que causan el manchado y la pudrición, requieren que la madera presente un $\text{CH} > 18\%$ para poder desarrollarse en ella (Figura 12), de no ser así, la cantidad de humedad residual no les es suficiente para realizar sus funciones fisiológicas”.

“Cualquier tipo de madera, entre más seca esté, mayor será su resistencia a esfuerzos mecánicos en el rango de humedad entre el 6 y el 30%”. (Figura 13).

La madera en estado verde ($\text{CH} \geq \text{PSF}$), por su alto nivel de humedad, será flexible y manifestará escasa rigidez, por lo que la madera será menos resistente; por otro lado, al disminuir el $\text{CH} < \text{PSF}$, aumentará la resistencia de la madera como se indica en la Figura 13.

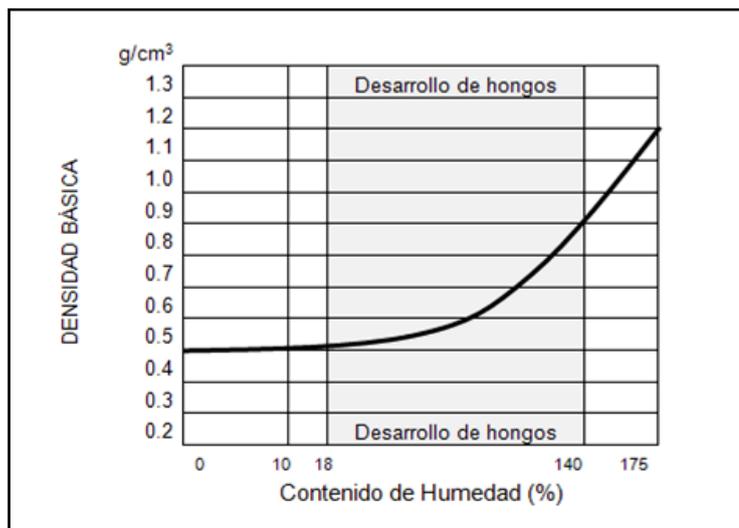


Figura 12. Límites de humedad entre los cuales es posible el desarrollo de hongos en madera de pino. Fuente: Espinosa *et al.* (2010).

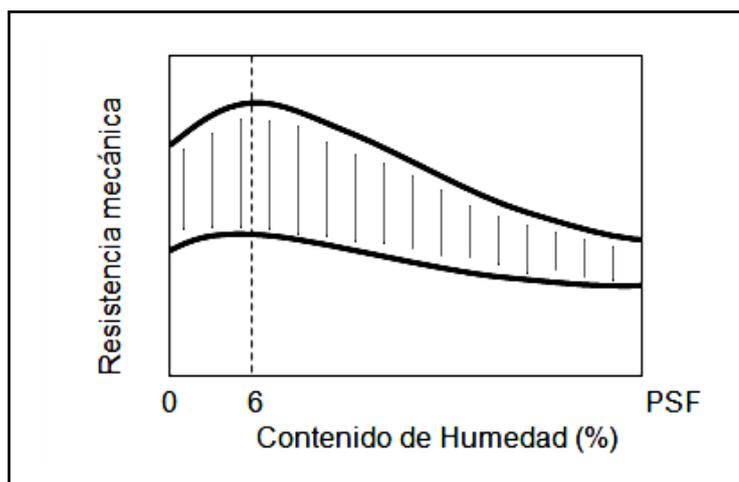


Figura 13. Gráfico de la resistencia mecánica en función del CH de la madera desde el PSF (CH±30%) hasta el estado anhidro (0% CH) y viceversa. Fuente: Espinosa *et al.* (2010).

Para mayor comprensión e información acerca de los términos acerca del Contenido de Humedad, Punto de Saturación de la Fibra, y otros mencionados en este apartado, se recomienda consultar la información de Espinosa *et al.* (2010).

4.1.2.2. Clasificación de la madera de pino 2" x 4"

Cualquier irregularidad en la madera que afecte, en este caso su resistencia o durabilidad, se conoce como defecto. Debido a que la madera proviene de un ser vivo y por consiguiente, a causa de las características naturales del material, varios defectos comunes son inherentes a la madera (Parker y Ambrose, 2012:4).

COFAN (1999:39), clasifica a los defectos en tres grupos, dentro de los cuales, algunos afectan considerablemente la estructura de la madera, en este caso la resistencia de los pies derechos:

- a) Defectos de crecimiento: los nudos (considerados como el defecto de mayor relevancia que afecta las propiedades mecánicas de la madera para la construcción), desviación de la fibra, bolsas de resina, madera de reacción, fallas de compresión, acebolladuras y duramen quebradizo.
- b) Defectos por maquinado: gema o arista faltante, distorsión localizada de la fibra, médula incluida y un tipo de encorvadura durante el desorillado.
- c) Defectos por secado: Deformaciones: arqueadura, encorvadura, acanaladura, torcedura, adiamantado, ovalamiento, endurecimiento superficial y colapso. Separación de fibras: grietas, rajaduras, apanamiento, acebolladuras y desprendimiento de nudos. Manchas: manchas fungosas y manchas químicas (ambas no comprometen la seguridad estructural de la madera).

Varios de estos defectos pueden comprometer seriamente la seguridad estructural de la madera, así como su calidad decrece considerablemente y por consiguiente aumentan los costos al sustituir piezas defectuosas por otras de mejor calidad.

Debido a que los efectos de los defectos naturales sobre la resistencia de la madera dependen del tipo de carga a la cual se sujeta una pieza individual, la madera para construcción se clasifica según sus dimensiones y usos (Parker y Ambrose, 2012:6).

La NMX-C-239-ONNCCE (1985:2), "*Clasificación Visual para Madera de Pino de Uso Estructural*", se aplica a la madera aserrada de todo el país cuya finalidad sea la construcción de estructuras (con excepción de *Pinus ayacahuite*).

La NMX-C-239-ONNCCE (1985:15), establece tres tipos de reglas para clasificar la madera: generales, especiales e industriales; es importante destacar que todas sustentadas en el mismo concepto para clasificar la madera de área proyectada de nudo indicado en el Cuadro 4.

La diferencia entre los tres tipos de reglas son las dimensiones permisibles de los defectos y su ubicación (Cuadro 5). Estas reglas se encuentran agrupadas en tres diferentes calidades estructurales: la Clase "A" con alta resistencia (industrial); la Clase "B" con mediana resistencia (especial), y la

clase “G” de baja resistencia (general), la cual para fines del proyecto ésta última no se considera relevante.

Cuadro 4. Tamaño máximo permisible de nudos para clasificar estructuralmente madera de coníferas según la NMX-C-239-ONNCCE (1985:11). Fuente: COFAN (1999:48).

Tipo de regla	Sección transversal	Clase ^a	Área total del nudo, A_n	Área del nudo en el canto ^b A_{nc}
Regla “especial”	Polines y vigas ^c	PA, VA	$\frac{1}{3}$ de A_t	645 mm^2
		PB, VB	$\frac{1}{3}$ de A_t	$\frac{1}{5}$ de A_t
	Grosos de 3.8 cm	SA	$\frac{1}{2}$ de A_t	0^d
SB		$\frac{1}{2}$ de A_t	$\frac{1}{8}$ de A_t	
Regla “industrial”	Grosos de 3.8 cm	AA	$\frac{1}{4}$ de A_t	0^d
		BB	$\frac{1}{4}$ de A_t	$\frac{1}{8}$ de A_t

Donde: a = se deben marcar las piezas con la letra de esta columna para identificar la regla aplicada.

b = A_t : b x d, área de la sección transversal; A_n : Área total de nudo; A_{nc} : Área de nudo en el canto.

c = secciones de 8.7 cm x 8.7 cm y de 8.7 cm x 19.0 cm, respectivamente.

d = en secciones con anchos mayores que 14 cm se permiten nudos en el canto de hasta 645 mm^2 .

Para fines del proyecto, la madera a utilizar en la construcción de la vivienda, se deberá clasificar preferentemente con la clase de resistencia madera de Clase “A” (alta resistencia), o en su defecto, se podrá clasificar con la clase de resistencia madera de Clase “B” (mediana resistencia).

Para realizar los cálculos de diseño de las cargas totales, claro máximo de la armadura, entre otros, se utilizaron los valores que proporciona COFAN (1999:376-377), de acuerdo al sistema de agrupación para fines estructurales que van desde CE1 hasta CE10.

Las especies de coníferas mexicanas clasificadas con la NMX-C-239-ONNCCE (1985), corresponden a los grupos CE5 (madera de Clase “B”) y

CE7 (madera Clase “A”) de acuerdo a lo indicado en el Cuadro 5. Estas dos clases de resistencia están especificadas en las Normas Técnicas de Construcción con Madera (NTCM).

Cuadro 5. Consideraciones generales para la clasificación visual de madera de pino para uso estructural. Fuente: NMX-C-239-ONNCCE (1985:11); COFAN (1999:49).

Concepto	Clase “A”	Clase “B”
Pendiente máxima de la fibra	1:10	1:8
Gema máxima permisible	$\frac{1}{4}$ del grueso o del ancho	$\frac{1}{3}$ del grueso o del ancho
Ataque de insectos	10 agujeros en un cuadro de 6.0 cm x 6.0 cm. No debe haber infestación activa.	
Bolsas de resina	Se consideran como nudos. Y cuando ocupa todo el grueso de la pieza se limita como grieta o rajadura.	
Grietas, rajaduras y acebolladuras	Longitud $x \leq d$. con la regla industrial $x \leq \frac{d}{2}$. d = ancho de la pieza	
Distorsión localizada de la fibra	En la zona adyacente al canto $\frac{1}{8}$ del ancho (d) como máximo. En la zona central hasta $\frac{1}{4}$ del ancho (d).	
Pudrición	No se admite en ninguna forma	
Combinación de defectos	Si más de la mitad de la pieza tiene mancha azul, ataque de insectos y es sensiblemente más ligera que la mayoría de las piezas, es clase “G”	
Agujeros de larvas	Se admiten en tamaño máximo de 12 mm y menos de 2 en un cuadro de 6.0 cm x 6.0 cm.	
Defectos por secado		
Acanalamiento (w)	Menos de 0.1 cm por cada 5.0 cm de ancho de la pieza.	
Arqueamiento (x)	Menos de 2.0 cm para piezas de 3.8 cm de espesor y menos de 1 cm para madera de 8.7 cm de espesor; por cada 200 cm de longitud.	
Encorvadura (y)	Menos de 1.0 cm para anchos de 8.7 cm; menos de 0.5 cm para anchos de 29.0 cm. En una longitud de 200 cm.	
Torcedura (z)	Menos de 1.5 cm por cada 12 cm de ancho de la pieza, medida en una longitud de 200 cm.	

La información presentada en este apartado, permitirá comprender a los interesados en la construcción con madera, que no se debe “temer” al usar este material en la edificación; no fallará (estructuralmente) si se toman en

cuenta las recomendaciones necesarias basadas en estudios científicos como lo es su correcta clasificación.

Estos estudios han sido realizados por investigadores durante años en centros de investigación como la UACH, INIFAP, INECOL, entre otros, con el fin de conocer cómo afectan las propiedades físicas y mecánicas en el comportamiento de la madera ante un aspecto tan importante como la seguridad en la vivienda.

4.2. Selección y Reconocimiento del Sitio

El US Department of Agriculture (1976), citado por COFAN (1999:92), recomienda *“al momento de seleccionar el terreno, se deberán tener en cuenta las características del sitio, las cuales se agrupan en dos tipos: Tipo I y Tipo II”*, como se presenta a continuación:

Tipo 1. Son colinas en donde los terrenos tienen poca pendiente. Algunos están sujetos a severos deslizamientos. En todos los taludes, se debe tener el cuidado de evitar que el suelo tenga probables movimientos por gravedad o por erosión del agua. Algunas colinas pueden aprovecharse como terrenos para construcción a través de consideraciones especiales, por ejemplo, utilizando cimentación con postes. El problema debe solucionarse haciendo un estudio de mecánica de suelos.

Tipo 2. Es un terreno que posee buen drenaje y pocos problemas, debido a su escasa inclinación. Se encuentra en las partes altas, alejado de las corrientes de los ríos. Este tipo de terreno es el más recomendable para la construcción.

Como se establece, en la Sección 2. *Investigación del subsuelo*, de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones (NTCDCC, 2004:14), *“se deberán investigar las condiciones de cimentación de las construcciones colindantes (estabilidad, hundimientos, emersiones, agrietamientos del suelo y desplomes); así como la localización y las características de las obras subterráneas cercanas, existentes y*

proyectadas, de diferentes servicios públicos con el fin de evitar dañar las instalaciones”; información necesaria para realizar la construcción de la cimentación del proyecto.

La Corporación Chilena de la Madera, CORMA (2004:158), indica que la falla más común en las cimentaciones es el asentamiento, debido a varias razones como la calidad del suelo, la deficiente compactación del terraplén y vibraciones recepcionadas por el terreno; los cuales causan reubicación de los estratos finos debido al peso de la estructura, como se muestra en la Figura 14.

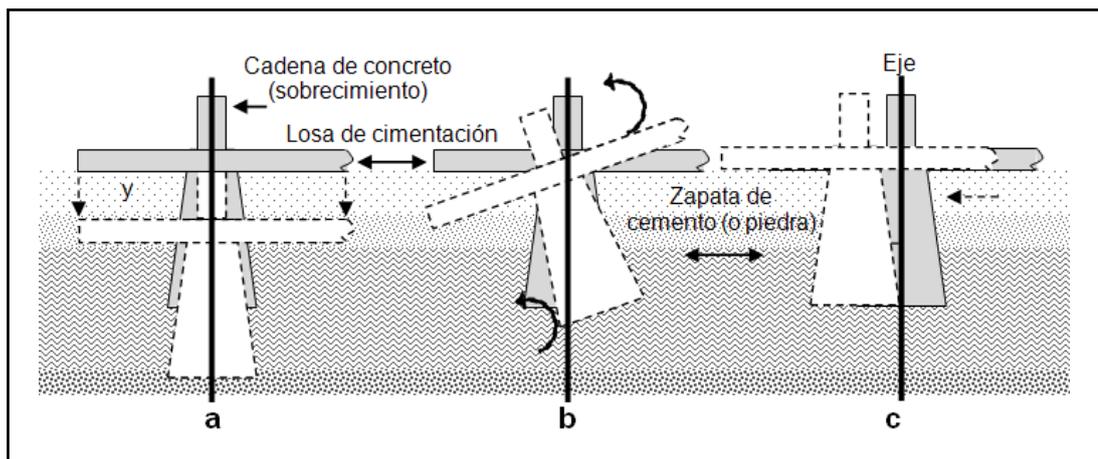


Figura 14. Efecto perjudicial en la cimentación durante el asentamiento debido a la mala elección del sitio: a) Falla por descenso; b) Falla por rotación o volcamiento; c) Falla por traslado.

Para fines de las NTCDCC (2004:14), en la Sección 2, (como lo define el artículo 170, Capítulo VIII, Título Sexto del RCDF, 2004); el Distrito Federal se divide en tres zonas (Zona I, Zona II y Zona III) de las cuales, para indicar la categoría a la que pertenece la vivienda, se calculó el peso unitario medio

de la estructura, el perímetro de la construcción y la profundidad de desplante necesaria para la cimentación, indicado en el Cuadro 6.

Nota: para el reconocimiento del sitio en cualquier zona de la República Mexicana se deberán establecer los criterios de acuerdo a la normatividad del estado donde se realice la construcción de la vivienda.

Cuadro 6. Requisitos mínimos para la investigación del subsuelo. Fuente: NTCDCC (2004:14).

Construcciones ligeras o medianas de poca extensión y con excavaciones someras.

Son de esta categoría las edificaciones que cumplen con los siguientes tres requisitos:

Peso unitario medio de la estructura	$W \leq 40 \text{ kPa (4 t/m}^2\text{)}$
Perímetro de la construcción:	$P \leq 80 \text{ m en las zonas I y II; o}$ $P \leq 120 \text{ m en la zona III}$
Profundidad de desplante:	$D_f \leq 2.5 \text{ m}$

$W = \text{Carga total} = \text{carga muerta} + \text{carga viva}$

El tipo de esfuerzo que se somete al suelo es el de compresión, el cual es el producto del peso propio de la cimentación, muros, entrepisos, techo, más las sobrecargas de uso y cargas accidentales como sismo, viento y en su caso nieve (CORMA, 2004:157).

El tipo de suelo influye en las características de los sismos que se producen en el lugar. Por ejemplo, en terrenos duros o rocas, las ondas sísmicas de alta frecuencia se amplifican, por lo que esto afecta principalmente a las estructuras rígidas; por otro lado en terrenos blandos, se amortiguan las ondas de alta frecuencia y, por lo general, amplifican las ondas de baja frecuencia, en este caso las estructuras flexibles son entonces, las más afectadas (Hanono, 2005:28; JUNAC, 1980:11-3).

De acuerdo a lo anterior, este factor se tomó en cuenta para el diseño y fijación de los muros, cuyos detalles se indican en el apartado *Diseño de la Cimentación*.

4.3. Diseño de la Cimentación

Al considerar la cimentación del proyecto con base en las NTCDCC (2004:14), en la Sección 1. *Consideraciones generales*, se establece que tales normas “no son un manual de diseño; tienen el objetivo de fijar criterios de diseño y construcción para cumplir con los requisitos mínimos definidos en el Capítulo VIII del Título Sexto del RCDF (2004)”; por lo tanto, se utilizaron diversas fuentes con relación a la cimentación para viviendas de madera, con el fin de fijar los criterios y métodos de diseño necesarios para la construcción.

Los cimientos son la base sobre la cual se levantará la edificación y transmitirán las cargas de la misma al terreno. La forma adecuada como se realice la transmisión de las cargas, depende principalmente del tipo de cimentación que se trate (JUNAC, 1982:4-1).

El diseño de la cimentación, se realizó de acuerdo como lo establece COFAN (1999:156), considerando los elementos de sistemas de cimentación para estructuras de madera en el “*Grupo B: Cimentaciones de edificios en los que la planta baja está apoyada sobre el terreno*”.

En el Cuadro 7, se presenta solo la información relevante para el proyecto, por lo que para mayor información se recomienda revisar a detalle el cuadro original del autor.

Cuadro 7. Elementos de sistemas de cimentación para estructuras de madera. Fuente: COFAN (1999:156).

Sistema de cimentación	Zapatas	Soportes	Planta Baja
B1 Cimientos independientes de la losa de concreto	Zapatas corridas perimetrales y dados centrales	Muros perimetrales aislados de carga y dados aislados	Losa de concreto sobre el terreno

Para realizar las medidas preventivas mínimas al ataque de termitas, conviene diseñar los cimientos de forma que sobresalgan como mínimo 150 ó 200 mm, respectivamente, sobre el nivel del terreno del punto más desfavorable (COFAN, 1999:153; CORMA, 2004:67-169).

En el caso de contar con piedras disponibles en el terreno, se recomienda que puede resultar económico utilizar dicho material para la construcción de las zapatas (COFAN, 1999:157-159).

Esta cimentación se justifica para terrenos de poca capacidad de carga, ampliando la base del cimiento para formar una sección piramidal ingresando en su centro armaduras de acero.

Se recomienda una profundidad mínima de la cimentación (dados de hormigón) de 600 mm, los cuales deben penetrar a lo menos 200 mm de las capas no removidas del terreno, siempre que éste sea capaz de soportar las cargas previstas (CORMA, 2004:161-169).

Por otro lado, de acuerdo a las ilustraciones del MCELM de COFAN (1999:160-168), hace la recomendación de que las zapatas deberán tener una altura de 400 mm como mínimo, con una base mayor de 400 mm como mínimo y una base menor de 300 mm como mínimo.

Hanono (2005:48-49) e INFOR (1991:9-41), presentan diferentes ilustraciones de anclajes incrustados en dados de hormigón utilizando placas de metal llamadas pletinas, los cuales sugieren que ambos resisten grandes esfuerzos horizontales, verticales y momentos flectores; situación importante a considerar en este tipo de cimentación. Para este caso, se utilizarán armaduras de acero (varillas y anillos) en lugar de pletinas.

La losa de concreto, o también llamada plataforma de hormigón es una estructura horizontal que está formada por capas de diferentes materiales, apoyada sobre el terreno natural que tiene la capacidad de aislar a la vivienda de la humedad y agentes bióticos, logra la recepción del peso por parte de la cadena de concreto, es útil para el tránsito de usuarios y es la base de los acabados para el piso (CORMA, 2004:171).

El procedimiento de construcción a seguir y los principales requisitos a satisfacer para la losa de concreto, se presentan a continuación:

- a) Se desmontará el terreno hasta llegar a terreno natural no alterado.
- b) Se colocará una capa de relleno compactado de 30 cm que servirá para aumentar la estabilidad del terreno.
- c) Sobre el relleno se tenderá una capa de grava de 15 cm que servirá de drenaje.
- d) Se recomienda colocar una capa de arena de 3 cm de espesor. Su finalidad es evitar la perforación de la barrera de humedad (lámina de polietileno que se indica en el siguiente inciso) por efecto del tránsito de personas y/o carretillas, durante las distintas faenas involucradas durante el hormigonado de la losa.
- e) Para evitar que la humedad penetre en la losa y que durante el colado se filtre lechada, se colocará sobre la arena un retardante de humedad consistente en una membrana de polietileno o una capa de fieltro asfáltico en rollo, se recomienda un espesor de 0.5 mm. El material debe colocarse con traslapes mínimos de 10 cm.
- f) Se construirán los cimientos con sus zapatas después de preparada la base de la losa, pero antes del colado de esta.
- g) Se colará una base de concreto de 10 cm de peralte reforzándola con malla electrosoldada de alambre con un espesor de 4.3 mm, de calibre 6" x 6" ó 10" x 10" (COFAN, 1999:168; CORMA, 2004:172).

La losa, zapatas y cadenas de concreto, deberán contar con la resistencia adecuada de acuerdo con la norma NMX-C-414-ONNCCE (2003), *"Cementos Hidráulicos, Especificaciones y Métodos de Prueba"*, misma que el responsable de obra deberá verificar.

La resistencia a compresión (f'_c), es la medida de la resistencia a carga axial de especímenes de concreto; estimando que un concreto a 7 días tendrá 75% de la resistencia, a 56 y 90 días se incrementará en 10 y 15%, respectivamente (Muñiz, 2006).

En otras palabras, la resistencia del concreto, es el esfuerzo máximo de compresión calculado por unidad de área (kg/cm^2).

CONAFOR (s/f b: 61), recomienda que la losa de concreto con un peralte de 10 cm, deberá tener un $f'c$ de $200 \text{ kg}/\text{cm}^2$.

4.3.1. Consideraciones previas a la cimentación

Se tomaron en cuenta varios aspectos antes de iniciar la cimentación como la orientación de la vivienda con respecto al clima y la radiación solar; la ubicación de la vivienda contra fuego; la preparación y limpieza del terreno; el trazado; la nivelación y por último la excavación; aspectos que se detallan a continuación.

4.3.1.1. Orientación de la vivienda: clima y radiación solar

El clima y sus factores determinan en parte el deterioro de la envolvente del espacio habitable, el viento y la lluvia son algunos de esos factores; el efecto producido por la combinación de la velocidad del viento con la intensidad de lluvia, da lugar al fenómeno conocido como Lluvia conducida por viento (Elizondo, 2009:8).

La lluvia conducida por viento, es la fuente más importante de humedad que afecta el desempeño higrotérmico y durabilidad de las fachadas, lo que afecta directamente a los materiales expuestos, una tercera parte de la

población y las viviendas en México, están expuestas a la lluvia conducida por viento y sus efectos (Elizondo, 2009:8-17).

Las condiciones de la temperatura ambiental para cada clima, dependen de la ubicación geográfica del terreno, CONAFOR (s/f b: 11), proporciona las siguientes recomendaciones para la correcta orientación de la vivienda:

- a) Para climas fríos: se debe evitar la orientación Norte-Sur y orientar la vivienda hacia el Oeste-Este.
- b) Para climas cálidos: evitar la orientación Oeste-Este y orientar la casa hacia el Norte-Sur.

Al momento de orientar la vivienda, se deberá tomar en cuenta la dirección de los vientos dominantes para tratar de minimizar el fenómeno de la lluvia conducida por viento en la fachada de la vivienda y se deberán conocer las condiciones climatológicas para la correcta orientación de la vivienda.

4.3.1.2. Ubicación para vivienda contra fuego

En el caso de que el proyecto de la vivienda se considere dentro de un conjunto habitacional de casas de madera, según la norma NMX-C-145 (1982), *“Agrupamiento y Distancias Mínimas en Relación a la Protección contra el Fuego”*, (DGN, 1982), citada por COFAN (1999:92-93), indica que las especificaciones que debe cumplir la vivienda de madera en cuanto a su agrupamiento y distancias mínimas entre viviendas, para que estén protegidas contra el fuego, se agrupan en los siguientes conceptos:

- a) La separación entre grupos de viviendas
- b) El número máximo de agrupamiento
- c) Las características de los muros cortafuego en la construcción de viviendas de uno o dos niveles

Cuando existan terrenos de uso común para un determinado número de viviendas, la separación entre éstas no debe ser menor de 1.80 m (COFAN, 1999:93).

Se deberá tomar en cuenta la protección por ubicación de acuerdo a la dirección de los vientos dominantes del lugar, esto para darle la orientación adecuada a la vivienda en tal forma que en caso de incendio no se favorezca la propagación de las llamas (COFAN, 1999:98).

4.3.1.3. Preparación y limpieza del terreno

La preparación y la limpieza del terreno, se debe realizar de la siguiente forma:

- a) Quitar y/o proteger árboles que lleguen a estorbar el proyecto de la vivienda, así como extraer las raíces.
- b) Remover rocas si es necesario (recordando que si existe material disponible se utilizarán como zapatas).
- c) Retirar cimentaciones antiguas.
- d) Desmontar los arbustos o maleza que estorbe la construcción de la vivienda (CONAFOR, s/f b: 17-18; COFAN, 1999:151).

4.3.1.4. Trazado

Es importante tomar en cuenta la elaboración de los planos con sus respectivas especificaciones técnicas y memorias de cálculo para los proyectos como: instalaciones sanitarias, de gas, eléctricas; y con ello utilizar la información para realizar los trazos de dichas instalaciones (CORMA, 2004:82).

COFAN (1999:151-152), recomienda el trazo bajo el siguiente procedimiento:

- a) Localizar las esquinas de la casa con base en la norma NMX-C-145 (1982), y los planos de la vivienda.
- b) Se colocarán reventones (hilos) en cada uno de los puentes hechos de madera.
- c) Se trazarán los ángulos rectos en cada esquina por medio del triángulo rectángulo.
- d) Se trazarán los ejes de la construcción con relación a las diferentes instalaciones.

4.3.1.5. Nivelación y excavación

Es importante mencionar que la ejecución de la nivelación, se debe realizar con el mayor paralelismo y ortogonalidad posible con el mínimo de variación para que coincidan todos los elementos involucrados en los planos de la cimentación; en este caso, la profundidad en la excavación debe coincidir con la altura de las zapatas y la altura de la colocación de los materiales base de la losa de cimentación.

4.3.2. Consideraciones durante la cimentación

En este apartado, es importante resaltar diferentes aspectos que tienen que ver con la aplicación y/o colocación de materiales para la aislación de humedad en los cimientos; además de los materiales que se incrustarán en los cimientos como las anclas y pernos, cuya relación con el viento y sismo están basados en criterios de diseño ya establecidos por diferentes autores.

Para proteger la estructura contra la absorción de humedad por capilaridad, COFAN (1999:119), menciona que *“las losas y zapatas deben ser protegidas de la lluvia, mediante drenes perimetrales”*. En ese mismo sentido, se debe tener en cuenta la colocación de materiales aislantes en toda la cimentación (polietileno, fieltro asfáltico, asfalto caliente, impermeabilizantes, entre otros).

4.3.2.1. Especificación de los cimientos por viento

COFAN (1999:104), indica con relación al viento y de acuerdo con la clasificación de las estructuras de madera según su importancia que *“las edificaciones de la República Mexicana se clasifican según las funciones para las que se hayan destinado, obedeciendo a los niveles de importancia o de seguridad”*.

Los miembros de madera apoyados sobre estructuras de concreto o mampostería se deben anclar directamente o a través de algún dispositivo intermedio. La unión más común se realiza con pernos de acero que quedan incrustados en el concreto colado o la mampostería; sin embargo, también

hay una gran diversidad de elementos fundidos, instalados con taladro o remachados a explosión dinámicamente, los cuales se usan en situaciones diferentes. Las principales funciones de estos pernos, es para mantener, con seguridad, el montante en su lugar durante el proceso de construcción y que resista las fuerzas laterales o levantamientos (Parker y Ambrose, 2012:180).

Arauco (s/f: 98), establece que “*los pernos son utilizados en estructuras de madera para distribuir las cargas pesadas y concentradas, por ejemplo, en el caso del anclaje de muros a las cimentaciones, unión de muros por entrepiso y fijación de muros de corte o cortante*”. El autor, sugiere utilizarlos con terminación galvanizada cuando estén expuestos.

De acuerdo al párrafo anterior, American Softwoods (s/f a: 8,16), define a los muros de cortante cuando éstos se diseñan para resistir las cargas horizontales además de las verticales; las recomendaciones acerca de este tipo de muros se detalla en el apartado *Diseño de Muros*.

A continuación se mencionan las recomendaciones de algunos autores con relación a las características que deben cumplir los pernos y anclas, y la separación entre estos al momento de construir los cimientos. Cabe indicar que todos basan sus características de acuerdo a las normas por las que se rigen en su país de origen. En el Cuadro 8, se resumen tales características.

La información que presenta la American Forest & Paper Association, AF&PA (2005:50), a través de Wood Frame Construction Manual (WFCM); establece criterios estructurales acerca del diámetro y separación de pernos en diferentes cimentaciones, basado en las condiciones evaluadas en función de la ubicación geográfica y los requerimientos de los códigos locales de construcción de viento y sismo de los Estados Unidos.

En el MCELM, COFAN (1999:105-173-174), hace dos recomendaciones acerca de las características de los pernos y su separación: la primera de ellas, de acuerdo a la American Plywood Association (APA):

“Se recomienda el uso de anclas o pernos galvanizados con un diámetro mínimo de 12.7 mm ($1/2$ ”), la separación máxima no será mayor de 1.80 m entre pernos y de 1.20 m hacia los extremos; también considera una distancia máxima de 30 cm a la junta más cercana”.

“Al colocar las anclas debe cuidarse que no queden sobre ellos los pies derechos ni soleras de los muros, se recomienda el uso de anclas o pernos galvanizados de 13 mm ($1/2$ ”) y de 25 cm ó 30 cm de largo como mínimo que se dejan ahogados en el muro de la cimentación. Las anclas se pueden colocar con espaciamientos que varían de 80 a 240 cm según la importancia de las fuerzas horizontales y no deben distar de los extremos de la pieza que formen la solera de desplante más de 30 cm”.

CORMA (2004:166-229), hace la siguiente recomendación “*los pernos deben tener un diámetro de 10 a 12 mm ($\frac{3}{8}$ a $\frac{1}{2}$)*”, se deben disponer, a lo largo del cimiento distante 1.20 m como máximo uno de otro y en cada encuentro ortogonal de la fundación; deben quedar incorporados 20 cm o un 75% de su altura como mínimo y un peralte que sobresalga de la solera de desplante mínimo de 6 cm”.

American Softwoods (s/f 1 a: 11-12), indica que “*los pernos tendrán 1.2 cm ($\frac{1}{2}$) de diámetro separados a cada 1.22 m, anclados 15 cm como mínimo en la cadena de cimiento y una distancia en los extremos de 30 cm*”.

CONAFOR (s/f b: 21), recomienda una separación de pernos de 1.20 m con una longitud de 16 cm para cimentación en losa de concreto, peralte de 8 cm por encima del cimiento y una separación entre cada extremo de 32 cm, de acuerdo con las ilustraciones del manual.

4.3.2.2. Especificación de los cimientos por sismo

De acuerdo a COFAN (1999:113-114), en la República Mexicana, existen zonas de alta sismicidad. De este modo, se consultaron las recomendaciones con el fin de contrarrestar los daños físicos en la vivienda por movimientos sísmicos.

Para fines de diseño por sismo, COFAN (1999:114), indica en la Figura 15, que la República Mexicana se considera dividida en cuatro zonas; la zona A es la de menor intensidad sísmica mientras que la de mayor intensidad es la zona D.

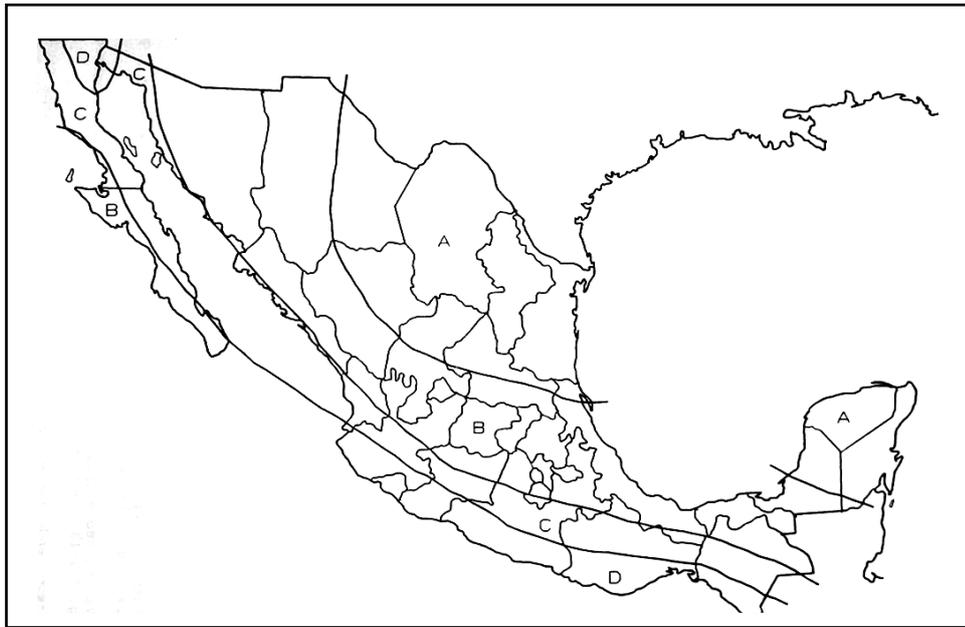


Figura 15. Regionalización sísmica de la República Mexicana. Fuente: COFAN (1999:115).

Gracias a la experiencia de países en zonas de sismo, se han obtenido importantes consideraciones sobre los estudios de fallas con respecto a las uniones; esta experiencia se traduce en las uniones críticas de los elementos. El anclaje de la solera de montaje en la base de la cimentación se debe considerar básica debido a la misión de resistir el esfuerzo de corte producido por la carga sísmica que se concentra en la base de la edificación, por lo que se recomienda el uso de pernos en todos los muros estructurales (Arauco, s/f:102).

El diseño de la unión entre la cimentación y la estructura debe considerar las diferencias de las capacidades de absorción de energía y de las rigideces de los diferentes materiales; por lo tanto, el diseño de los anclajes de la estructura a la cimentación, deberá efectuarse en tal forma que se evite el deslizamiento lateral o vertical de la estructura (COFAN, 1999:114).

JUNAC (1980:11-5), indica que se deben tener en cuenta los posibles daños en las instalaciones sanitarias, eléctricas e hidráulicas que llegan a través de la base del terreno.

Cuadro 8. Características y colocación de los pernos de acuerdo a diferentes autores.

Autor	APA, citado por COFAN	COFAN	CIMCEU	MAVM, CONAFOR	CORMA
Ø del perno	Mín. 12.5 – 12.7 mm (¹ / ₂ ")	13 mm (¹ / ₂ ")	12 mm (¹ / ₂ ")	ns	10 a 12 mm (³ / ₈ – ¹ / ₂ ")
Separación entre pernos	Máx. < 1.80 m y 1.20 m hacia los extremos	0.8 – 2.4 m	1.22 m	1.2 m	Máx. 1.2 m
Distancia máxima en los extremos	30 cm	30 cm	30 cm	32 cm	ns
Largo del perno	ns	Mín. 25 – 30 cm	ns	16 cm	ns
Longitud incrustada en el cemento	15 – 20 cm	25 cm	Mín. 15 cm	8 cm	Mín. 20 cm
Longitud sobresaliente del cemento	ns	7 cm	ns	8 cm	ns
Longitud sobresaliente de la solera de desplante	ns	nsc	ns	nsc	Mín. 6 cm

ns = no se menciona

nsc =no se menciona, aunque se puede calcular

4.4. Diseño de Muros (sistema constructivo pies derechos)

Los pies derechos son elementos verticales usados para ensamblar muros en las estructuras ligeras de madera. Uno de sus propósitos es suministrar la fijación a los revestimientos de los muros para que funcionen como columnas verticales cuando el muro sirva de apoyo, así como soportar la carga de los sistemas de techo o de piso (Parker y Ambrose, 2012:136).

COFAN (1999:200), detalla que los pies derechos son piezas cuyas principales funciones estructurales son:

- a) Transmitir a la cimentación las cargas gravitacionales procedentes del techo y de los pisos intermedios, así como su propio peso.
- b) Soportar los efectos de empujes y succiones del viento que le son transmitidos por la cubierta estructural de los muros.
- c) Junto con las soleras y otras piezas horizontales, proporcionan un entramado al cual se clavan la cubierta estructural y los recubrimientos exteriores e interiores.

La información acerca del diseño de muros (pies derechos y sus acabados) que presentan varios autores, ofrecen diferentes soluciones y recomendaciones, independientemente del modelo de vivienda a construir.

Se tomaron en cuenta los criterios más importantes para diseñar los muros, de igual manera que en los apartados anteriores, basados en las recomendaciones de las experiencias de manuales con construcción en madera y de las normas mexicanas aplicables a la madera.

4.4.1. Consideraciones para la construcción de paneles

Para diseñar correctamente un panel, es necesario conocer la función de cada una de las partes que lo conforman. Durante su construcción, las dimensiones serán diferentes en cada panel, es decir, generalmente cada uno de ellos tendrá diversos espacios (vanos) que formarán puertas y ventanas, por lo que los entramados no tendrán las mismas dimensiones estandarizadas, aunque si se deben considerar las dimensiones mínimas y máximas permitidas.

Por otro lado, las piezas que conforman los paneles deben colocarse o ubicarse de forma que se justifique su función tanto estructural como de diseño.

Para comprender cuales son las consideraciones y especificaciones de construcción de los paneles o entramados ligeros, es necesario conocer algunos términos, los cuales se describen a continuación.

4.4.1.1. Definición de términos

Cabe indicar que el significado de los términos, depende del país en donde se manejen, no obstante la función de las piezas estructurales es la misma en cualquier región, ciudad o país.

Un entramado es aquella disposición constructiva que está basada en la utilización de piezas estructurales de tipo lineal, es decir, que se combinan

de diversas posiciones para constituir elementos estructurales. El Tabique es un entramado vertical constituido por pies derechos modulados a distancias pequeñas unidos por sus extremos por piezas horizontales o inclinadas. El Panel es un entramado vertical prearmado en taller y montado posteriormente en obra (Hanono, 2005:59).

Los paneles pueden producirse en industrias especializadas o en talleres en los que por un lado, se pueden aprovechar las ventajas de procedimientos mecanizados y automatizados y de un mejor control de calidad de los que son posibles en la obra, y por otro, se pueden fabricar componentes completos que ya incluyen las instalaciones, acabados, entre otros (COFAN, 1999:200; CORMA, 1994:122).

JUNAC (1980:17-10), menciona los siguientes términos acerca de la construcción de paneles:

Entramado portante: el montaje de un tabique portante incluye la instalación de soleras (superficies e inferiores), pies derechos, revestimientos estructurales, riostras y cortafuegos; su montaje se realiza una vez que la estructura y el revestimiento estructural del piso han sido instalados. Es posible erigir los tabiques prearmados total o parcialmente, incluso con el revestimiento estructural instalado.

Entramado no portante: su montaje se realiza después de que la estructura haya sido erigida y simultáneamente con la instalación de los revestimientos anteriores.

El panel es un componente prefabricado de un edificio, su característica es que la menor de sus dimensiones deba ser a lo menos tres veces superior a su espesor, y que sea manejable como una pieza para que se monte con facilidad, generalmente, cuando se coloca vertical, su altura corresponde a la altura del piso a cielo (INFOR, 1991:9-41).

El muro, en la obra, es generalmente levantada a plomo, con el objeto de limitar o dividir un espacio y que puede o no soportar cargas (JUNAC, 1982:15).

COFAN (1999:195) indica que los principales elementos que integran los muros de entramado ligero son los siguientes:

- a) Entramado formado por elementos verticales (pies derechos) y elementos horizontales (soleras y separadores).
- b) Una cubierta estructural o forro, construida a base de tableros de madera contrachapada, tableros de otros materiales o duela, que se apoyan sobre el entramado.
- c) Recubrimientos aplicados a las caras, exterior e interior de los muros.
- d) Materiales para la protección contra la humedad (barrera impermeable) y para proporcionar aislamiento térmico y acústico.
- e) Ductos para instalaciones diversas.

Para mayor claridad, en la Figura 16, se presenta el nombre de las piezas que conforman un panel, las cuales son utilizadas en este proyecto. El nombre de algunos miembros puede variar dependiendo de la literatura consultada, aunque su función estructural es la misma.

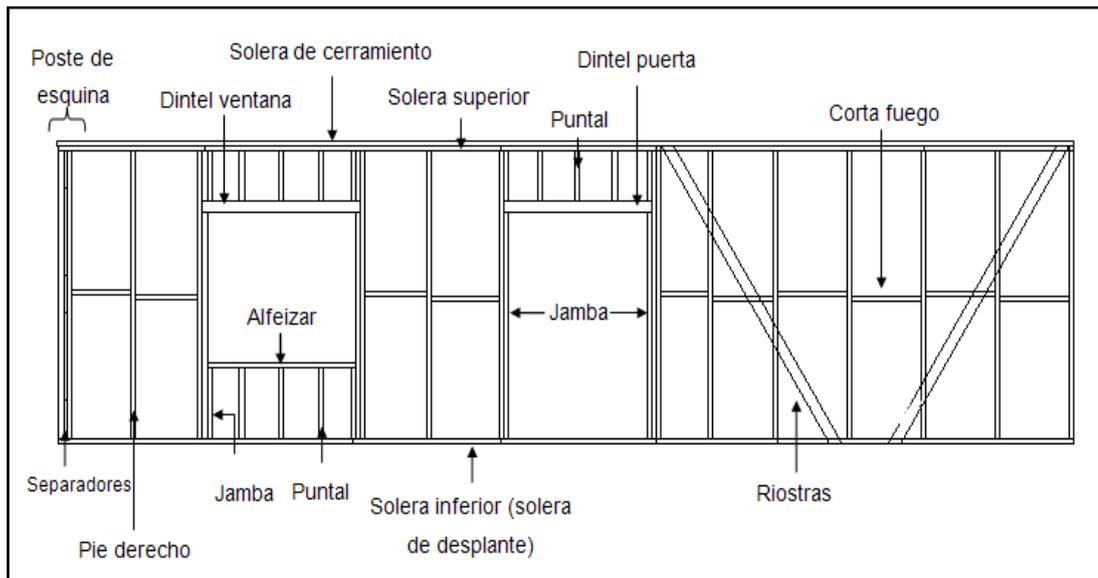


Figura 16. Elementos que conforman el bastidor (panel, entramado ligero, placa, tabique o montante).

Cada elemento que conforma el panel, cumple una función precisa, ya sea como transmisor de cargas y/o soporte de revestimiento interior o exterior (Hanono, 2005:60).

A continuación, se describen las funciones de cada una de las partes que conforman los paneles según lo indica Hanono (2005).

- a) Solera base: pieza horizontal anclada al sobrecimiento o clavada al entramado horizontal. En este segundo caso, generalmente se suprime esta pieza. Debe aislarse del hormigón mediante una membrana impermeable y en caso de ser de madera de pino, se recomienda impregnarla a presión y vacío para protegerla contra la pudrición.
- b) Solera inferior: elemento de unión inferior del conjunto estructural vertical y distribuidor de las cargas concentradas verticales o en ángulo.

- c) Pie derecho: elemento vertical que transmite las cargas provenientes del techo, entrepiso, cielorraso, etc., y sirve a la vez de soporte para los materiales de cerramiento exterior e interior.
- d) Solera superior: elemento de unión superior del conjunto de piezas verticales y distribuidor de las cargas provenientes de techo, entrepiso y cielorraso a los pies derechos.
- e) Sobre solera superior (de cerramiento): elemento de unión superior, de la misma dimensión de la solera superior, que va colocada directamente encima de ella y sirve de elemento atado de todo el sistema de los tabiques y también resuelve la flexión lateral y la excentricidad de las cargas en relación a los pies derechos.
- f) Diagonal o riostra: elemento estructural inclinado que transmite las cargas horizontales en el sentido del plano del tabique, proveniente fundamentalmente del viento y sismo. Es una pieza que une la solera superior con la inferior. Va incrustada en ellas y en cada uno de los pies derechos que cruza.
- g) Travesaño cortafuego: elemento constructivo que evita el pandeo lateral de los pies derechos, retarda la propagación del fuego por el interior del entramado al formar compartimentos cerrados y permite clavar revestimientos verticales.
- h) Dintel: conjunto de uno o varios elementos que permiten salvar la luz correspondiente a un vano (puertas, ventanas, etc.).
- i) Alfeizar: elemento soportante inferior de la ventana y que permite su afianzamiento.
- j) Jamba: pieza soportante vertical que refuerza el vano y apoya el dintel o alfeizar.
- k) Puntal superior: pieza de menor longitud que los pies derechos, colocada entre solera superior y dintel.
- l) Puntal inferior. Pieza colocada entre alfeizar y solera inferior.

Considerando que la construcción del entramado ligero se va a realizar en obra, es decir, en el sitio de la construcción, se utilizará el término panel o paneles, según sea el caso, para referirse a la construcción de la o las

estructuras con pies derechos. En este sentido también cabe hacer la aclaración que se considerará “muro” a la estructura ya colocada en obra y cuya constitución estará conformada con paneles, diafragmas y en su caso, la aplicación del revestimiento.

4.4.1.2. Separación de pies derechos y tipo de arriostamiento

La separación entre pies derechos está gobernada por las solicitaciones de carga, en este sentido Parker y Ambrose (2012:136), indican que *“si las cargas verticales son altas o la flexión lateral es grande, es necesario reforzar un muro entramado”*, el autor recomienda hacerlo de varias formas como se mencionan en seguida:

- a) Disminuir la separación entre pies derechos, de la común 16 a 12”
- b) Aumentar el espesor del pie derecho, de 2 a 3” nominales
- c) Aumentar el ancho del pie derecho (lo que engruesa el muro)
- d) Usar pies derechos dobles o triples (o piezas de madera con reacción mayor) como puntales en sitios de cargas concentradas

En climas fríos, los pies derechos deberán ser de mayor espesor que el nominal de 4” con el objeto de tener un mayor espacio de vacío dentro del muro para instalar el aislamiento. Como resultado de este diseño, los pies derechos son excesivamente fuertes para construcciones de uno a dos pisos. Por lo general, el pie derecho de 2” x 4” se limita, generalmente, a una altura de 14 pies (4 m) (Parker y Ambrose, 2012:136).

Ante la importancia de considerar la correcta separación entre pies derechos, Parker y Ambrose (2012:137), presentan en el Cuadro 9, información acerca de los requerimientos para la construcción de entramado ligero, indican que es parte de la reproducción del Cuadro 25-R-3 del UBC (Uniform Building Code, *Código Uniforme de Construcción*), en el cual se proporcionan datos para la elección de pies derechos, tanto para muros de carga como para muros divisorios. Señalan que el reglamento estipula que se deben usar esos datos a falta de cualquier diseño de ingeniería de pies derechos.

Cuadro 9. Requerimientos para la construcción de muros de entramado ligero. Fuente: Parker y Ambrose (2012:138).

Dimensiones del pie derecho (pulgadas)	Muros de carga		Muros divisorios	
	Altura del pie derecho sin arriostramiento (pies)	Soporta solamente techumbre y cielo raso. Separación (pulgadas)	Altura del pie derecho, sin arriostramiento (pies)	Separación (pulgadas)
2 x 4	10	24	14	24

Se debe garantizar la seguridad y rigidez de los edificios de madera frente a las fuerzas horizontales de viento y sismo, a través del correcto diseño de muros que sean capaces de resistir las fuerzas en su plano; por lo que la madera contrachapada puede contribuir a soportar las cargas verticales, aumentando la rigidez de los pies derechos (COFAN, 1999:204-216).

Los paneles estructurales de madera contrachapada u otros materiales, clavados contra el entramado de los muros formando diafragmas,

actualmente constituye el método de arriostramiento más efectivo desde el punto de vista estructural, ya que los tableros cuentan con resistencia y rigidez suficientes para proporcionar una seguridad adecuada frente a las acciones horizontales generadas por el viento o sismo (COFAN, 1999:206; CORMA, 2004:122).

De acuerdo a la utilización de tableros contrachapados y su función de arriostramiento, Ordoñez (1995:37-50), realizó un estudio sobre el comportamiento estructural de muros bajo cargas laterales, contruidos con pies derechos separados a cada 40.64 cm y seis tipos de forros como arriostramiento: tableros contrachapados de 9 y 12 mm; duela machihembrada en diferentes posiciones a solicitaciones de cargas diferentes; y aplanado de cemento proporción 1:3 con arena y malla metálica como refuerzo. En sus resultados menciona que *“la madera contrachapada se confirma como un material adecuado para construir edificios ya que puede enfrentar con éxito a los sismos o vientos y la energía que puede absorber es mayor que los demás materiales”*.

La NMX-C-411-ONNCCE (1999), *“Especificaciones de Comportamiento para Tableros a Base de Madera de Uso Estructural”* aplica al control de la fabricación y uso de los tableros estructurales de madera para la construcción de viviendas y otras especificaciones. En sus aspectos de resistencia es aplicable también a tableros fabricados con otros materiales. Indicando la importancia acerca del uso de tableros contrachapados para el arriostramiento, se recomienda para uso en exteriores tableros de 12 mm;

para interiores preferentemente de 12 mm o en su defecto de 9 mm, con separaciones entre los pies derechos de 61 cm (24”), de acuerdo a las recomendaciones del Cuadro 9 y 10; las características de los tableros contrachapados se indican en el apartado *Materiales Diversos*.

Cuadro 10. Espaciamientos y tamaño de clavos en tableros de madera contrachapada. Fuente: COFAN (1999:220).

Espaciamiento entre pies derechos (cm)	Grosor del tablero		Tamaño de clavos (pulg)
	mm	pulgadas	
61	9.0	$\frac{3}{8}$	2
61	12.0	$\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$

En el caso de utilizar tiras de madera como arriostramiento o contraventeos, sus dimensiones deben ser de 1” x 4” nominal (19 mm x 89 mm) (CONAFOR, s/f b: 6; COFAN, 1999:206).

La inclinación más efectiva para que una diagonal cumpla su función arriostrante es de 45° con respecto a la solera inferior no siendo recomendable variaciones de $\pm 15^\circ$. Cada diagonal debe tomar más de un pie derecho. Si no es posible darle a la diagonal el ángulo recomendado, por encontrarse un vano muy cercano a la esquina, se debe dividir ésta en dos piezas conformando una “M” (Hanono, 2005:63).

4.4.2. Postes de esquina, uniones en “ELE” y “T”.

Para realizar la unión de los paneles, se establecieron las condiciones de diseño con relación al tipo de arriostramiento (tableros de 12 mm para exteriores e interiores; o se podrán utilizar de 9 mm en interiores) y la separación de los pies derechos (61 cm que es igual a la mitad del ancho del tablero de 1.22 m, o lo que es lo mismo a 24” entre centros por cada pie derecho).

En las intersecciones de muros interiores con muros exteriores, es necesario garantizar que los muros queden bien amarrados y proporcionar elementos para clavar los materiales de las cubiertas estructurales y recubrimientos. Esto se logra con arreglos de piezas de 3.8 cm x 8.9 cm combinados con piezas menores (COFAN, 1999:201).

Hanono (2005:67), indica que el encuentro entre dos o más paneles debe satisfacer las siguientes necesidades y exigencias:

- a) Permitir una adecuada unión clavada entre entramados que se cruzan o encuentran.
- b) Lograr una base óptima para el encuentro de los revestimientos interiores y exteriores y permitir el clavado o pegado de ellos.
- c) Lograr una resistencia adecuada a las solicitaciones a soportar, con un mínimo de madera y en lo posible con piezas de la misma escuadría de los pies derechos.

La situación del encuentro es sumamente importante, debido a que es la zona donde se resuelven los nudos o articulaciones del sistema de entramados verticales. Prever el tipo y dimensiones de los revestimientos interiores y exteriores, es muy importante para tomar decisiones respecto a qué tipo de encuentro realizar en la obra al momento de armar los paneles ya sea “ELE” o “T” (Hanono, 2005:67).

Se determinó el tipo de unión entre los paneles que irán en esquinas, “ELE”, y en las uniones con otros muros en forma perpendicular, más comúnmente llamado en forma de “T” con la ayuda de postes de esquina.

Los postes de esquina contribuyen a la solidez general de los edificios de madera; junto con las soleras superiores dobles, sirven de amarre entre muros laterales y frontales, y proporcionan elementos sobre los que se clavan los materiales de las cubiertas estructurales y los recubrimientos exteriores e interiores (COFAN, 1999:201).

Hanono (2005:67), menciona que *“en los encuentros en “T” es necesario duplicar los pies derechos”*. Durante el diseño, se consideró una separación adecuada entre los miembros para poder darle sustento al revestimiento interior en las articulaciones.

La solución que se adoptó, en las uniones en “ELE” y en “T”, se presenta en la Figura 17, colocando un pie derecho suplementario y tres separadores de 32 mm x 89 mm x 305 mm por cada poste de esquina, para aprovechar la

unión de dos paneles. Varios autores mencionan que es la más recomendable estructuralmente ya que los empujes los reciben ambos elementos verticales.

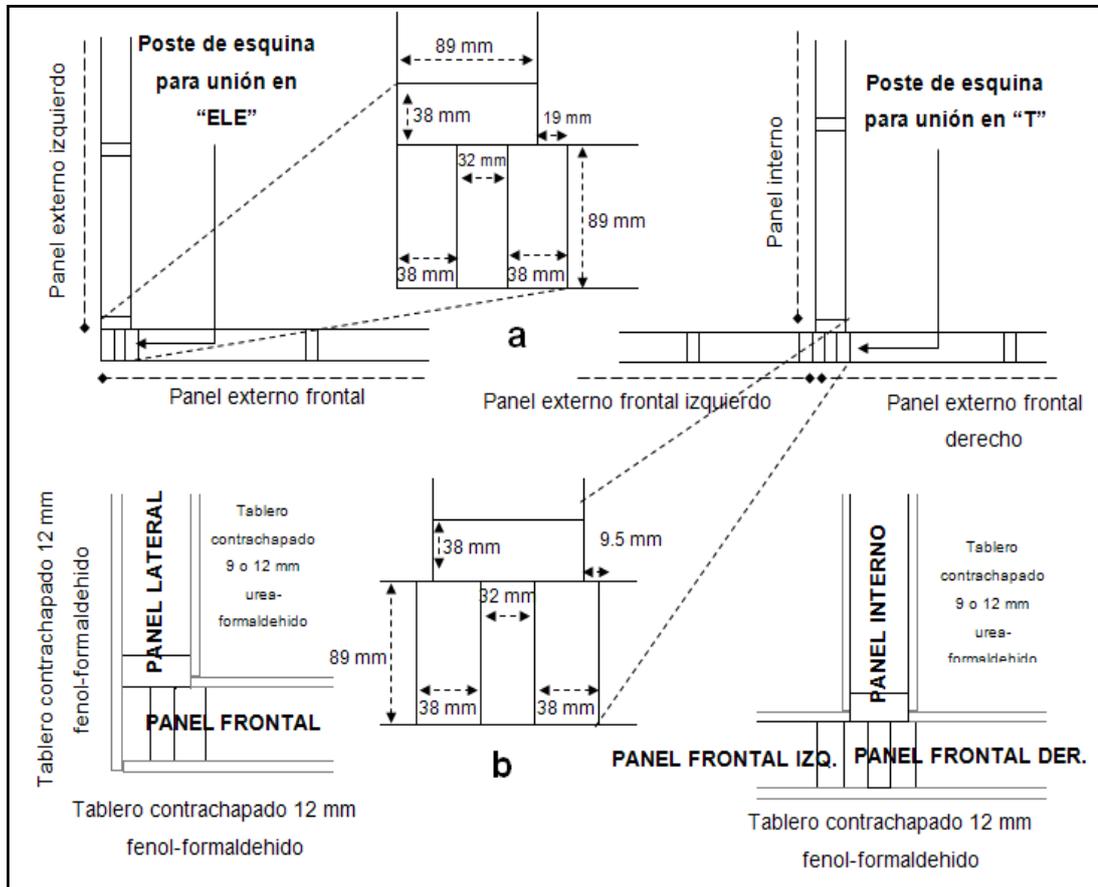


Figura 17. Vista superior de la ubicación y dimensiones del poste de esquina: a) Uniones en “ELE”; b) Uniones en “T”. Acomodo de tableros contrachapados en uniones en “ELE” y “T” (inferior izquierda y derecha).

4.4.2.1. Vanos (huecos o aberturas) para puertas y ventanas

De acuerdo a las características del proyecto de la vivienda, se diseñaron los vanos para las puertas y ventanas considerando dos aspectos: el clima y la correcta distribución de piezas como jambas, dinteles y puntales para el soporte del techo en esas zonas.

La cantidad de vanos considerados para puertas y ventanas en el proyecto de la vivienda, fueron los siguientes:

Una puerta frontal (principal); una puerta trasera (cuarto de lavado); cuatro puertas interiores (recamara principal, recamara secundaria, sanitario, cuarto de lavado); dos ventanas frontales; dos ventanas traseras; dos ventanas laterales izquierdas de “resbalón” (sanitario) y una ventana lateral derecha (comedor).

Diseño desde el punto de vista climático:

Las aberturas en la edificación, controlan el ingreso de la radiación solar y de los vientos a su interior, modificando su temperatura y humedad ambiental internas. La ventilación dentro de las envolventes ofrece la posibilidad de controlar los vientos de acuerdo a requerimientos específicos de temperatura o humedad (JUNAC, 1980:9-13).

La ventilación está relacionada con la ubicación de la vivienda y con las dimensiones de los huecos o aberturas de las puertas y ventanas; por ejemplo, en lugares con mucha HR varios autores recomiendan que la ventilación en la vivienda mantenga una circulación de entrada y salida para evitar un aumento en el CH de la madera, y por consiguiente evitar se presenten los cambios dimensionales de los miembros de la estructura (en este caso hinchamiento).

Por otro lado, en climas fríos, se prefiere el ingreso mínimo del viento para mantener la vivienda confortable. Contrariamente en climas muy cálidos, se prefiere el ingreso de los vientos pero no así de los rayos solares.

Si no se controlan los niveles de humedad interna se está promoviendo la presencia de hongos y mohos, que pueden repercutir también en la salud. Un aspecto tan importante como lo anterior, es la preocupación por preservar la envolvente de la vivienda, ya que la humedad que migra desde el interior hasta el exterior puede condensarse en la superficie interior de la envolvente o en los intersticios de la estructura, pudiendo causar serios daños a la madera (CORMA, 2004:350).

CORMA (2004:350-351), indica que la ubicación de ventanas y aleros determinan en gran medida el comportamiento del flujo de aire en el interior de la vivienda, de acuerdo a la ubicación y tamaño de las ventanas. Las causas más comunes de una ventilación deficiente, son las siguientes

- a) Mal emplazamiento de la vivienda con respecto a los vientos dominantes.
- b) Presencia de una sola abertura, lo cual no permite movimiento de aire en toda la vivienda, sólo en las cercanías de la ventana.
- c) Incorrecta ubicación de ventanas y elementos constructivos de la misma que impiden al aire circular en el interior de la vivienda.

Diseño desde el punto de vista estructural:

COFAN (1999:208), señala que en los muros se deben prever huecos para ventanas y puertas, la localización de los vanos y las intersecciones con muros divisorios debe definirse de manera que durante el diseño, el número de pies derechos adicionales sea mínimo, por lo que los huecos deben realizar dos funciones básicas:

- a) Soportar las cargas procedentes de la porción del muro sobre el hueco
- b) Proporcionar apoyo para los marcos de las ventanas o puertas, y superficiales para el clavado de las cubiertas estructurales y recubrimientos.

En todo vano ancho mayor a 80 cm, ambas soleras superiores (solera superior del muro y solera de amarre o de cerramiento) se deben reforzar para formar un dintel, debido a las cargas adicionales provenientes de cielo-raso, techos y cubierta que están realizando en ese tramo (Hanono, 2005:66).

La importancia de que el vano de una puerta o ventana esté estructurado con dos piezas de igual escuadría, en ambos costados verticales (jamba-pie derecho), radica en la vulnerabilidad que presentan ambos elementos cuando se produce el denominado “flashover”, que es el escape explosivo del fuego a través de puertas y ventanas como reacción ante la falta de oxígeno en el recinto donde se produce el incendio CORMA (2004:382).

La estructuración de puertas es semejante a la utilizada para ventanas, comúnmente la solera inferior se coloca inicialmente sin interrupciones para los huecos de puertas; los tramos correspondientes a las puertas se recortan después de terminado el muro. En muros divisorios que no son de cargas, basta con un solo pie derecho a los lados del hueco para recibir a las puertas (COFAN, 1999:212).

El hueco es el lugar más débil desde el punto de vista térmico del aislamiento térmico, permitiendo grandes fugas de calor en régimen de invierno y un exceso de soporte solar en régimen de verano, lo cual se refleja en una mayor operación de los equipos de climatización. El servicio térmico de los huecos está limitado tanto por los materiales empleados como por el estado de conservación de los mismos (NMX-C-460-ONNCCE, 2009).

El diseño de puertas y ventanas así como su disposición en los muros con relación a la envolvente, se determinó con la NMX-C-460-ONNCCE (2009:10), *“Aislamiento Térmico – Valor “R” para las Envolventes de Vivienda por Zona Térmica para la República Mexicana – Especificaciones y Verificación”*.

El área ocupada por vanos vidriados, tales como: ventanas, puertas (que tengan vidrio en más de la mitad de su superficie) incluyendo los marcos, muros acristalados o cualquier hueco que permita el paso de la luz solar debe ser igual o menor al 20.0% del área total del muro envolvente de cada local habitable o de servicio (NMX-C-460-ONNCCE, 2009:10).

Al diseñar las dimensiones de los vanos de puertas y ventanas, en el Cuadro 11 y 12, se indican las áreas de cada una de las partes que conforman la envolvente de la vivienda; con esa información, se determinó que los huecos (vanos) cumplen lo establecido con la NMX-C-460-ONNCCE (2009:10), al obtener un 14% del total de la envolvente sin considerar los vanos en su superficie y 12% del total de la envolvente considerando la superficie de los vanos.

Cuadro 11. Área ocupada por vanos vidriados menores al 20.0%, según la NMX-C-460-ONNCCE (2009:10).

Ubicación del envolvente de la vivienda	Área (m ²)
Frontal (F)	29.4007
Ventanas (F)	1.4982 (2) = 2.9964
Puerta (F)	2.4380
Trasera (T)	29.4007
Ventanas (T)	1.4982 (2) = 2.9964
Puerta (T)	2.2027
Lateral derecha (D)	23.1555
Ventanas sanitario (D)	0.2373 (2) = 0.4746
Lateral izquierda (I)	23.1555
Ventana izquierda (I)	1.4982
Frontal sin los vanos (F sv)	23.9663
Trasera sin vanos (T sv)	24.2016
Lateral derecha sin vanos (D sv)	22.6809
Lateral izquierda sin vanos (I sv)	21.6573

Cuadro 12. Porcentaje por vanos vidriados menores al 20.0%, según la NMX-C-460-ONNCCE (2009:10).

Totales de la envolvente	Área (m ²)	Porcentaje con relación al total de área de la vivienda (%)
Total de los vanos	12.6063	
Total de la envolvente sin los vanos	92.5061	14
Total de la envolvente con vanos	105.1124	12

Según el Reglamento de Construcciones del Departamento del Distrito Federal (RCDF, 2004), *“es recomendable que las puertas interiores sean de 76 cm de ancho como mínimo y de 210 cm de alto; estas dimensiones permiten el paso fácil de mobiliario”*.

El porcentaje del área total del muro envolvente de cada local habitable o de servicio, se deberá justificar de acuerdo a la zona geográfica donde se construya la vivienda

4.4.2.2. Solera de desplante y solera de cerramiento

Se deberá incorporar una barrera impermeable entre la solera de desplante y el hormigón, para evitar el contacto, aislar y resguardar de la humedad y del ataque de insectos a la vivienda cuyos factores principales son los causantes de la pérdida de resistencia de la estructura de madera. Cuando el lecho superior del muro de cimentación sea muy irregular o esté mal

nivelado, se deberá asentar con una capa de mortero (COFAN, 1999; CORMA, 2004).

La solera de desplante es un elemento esencial en la construcción de edificios de madera, en particular en cimentaciones de losa integral con zapatas. Debido a su colocación horizontal, una de sus funciones consiste en transmitir las cargas verticales y los efectos de las fuerzas horizontales al muro o losa de cimentación, ya que el correcto comportamiento bajo fuerzas horizontales está basado en un anclaje adecuado; la otra función es mantener los bastidores en su posición y proporcionar una base durante el proceso de montaje para que estos queden correctamente nivelados con las esquinas a escuadra y los pies derechos adecuadamente espaciados (COFAN, 1999:171-201).

La madera utilizada para las soleras debe ser tratada a presión y con piezas lo más largas posible para optimizar el trabajo de las anclas. Cuando la longitud requerida de la solera sea demasiado grande para una sola pieza, es posible combinar varias piezas, siempre que tengan una longitud mínima de 2 a 2.4 m y cuando menos 2 anclas por pieza de solera (COFAN, 1999:173).

En el caso que la solera inferior del panel vaya anclada sobre una plataforma de hormigón, dicha pieza debe cumplir dos requisitos básicos para garantizar su resistencia y durabilidad; una de ellas es la aislación de la humedad que proviene del contacto directo con la superficie de hormigón; el

otro requisito es su preservación, impregnándola con sales de CCA por métodos de presión o vacío (CORMA, 2004:216).

“La solera de amarre, es una pieza horizontal de igual escuadría que las principales (también llamada sobresolera), que va clavada sobre la solera superior, se debe colocar siempre, porque garantiza la unión de todo el sistema de entramado y asegura una mayor resistencia a la flexión para recibir la carga de cualquier elemento que se apoye sobre los pies derechos” (COFAN, 1999:202; CORMA, 2004:218; Hanono, 2005:64).

CORMA (2004:232), indica los posibles arreglos que se pueden realizar en la solera de cerramiento o de amarre:

Encuentro de paneles colindantes. Es aquel en que dos paneles soportantes o simplemente divisorios, se unen en uno de sus extremos, conformando entre ellos una continuidad con un eje común. Corresponde a la más simple de las uniones entre elementos verticales. Sin embargo, se debe tener especial atención a la unión de la solera de amarre, para que quede traslapada a lo menos en 60 cm de la solera inferior y superior respectivamente.

Encuentro en esquina. Se define como el encuentro entre dos paneles soportantes y/o divisorios) que conforman un ángulo determinado entre sí, generalmente ortogonal. Al igual que en el caso anterior, deben fijarse

alternadamente con respecto a las soleras inferior y superior de los entramados que se unen.

Encuentros en “T”. Es aquel en que dos o más entramados verticales, sean o no soportantes, se unen ortogonalmente entre sí, la solera de amarre del panel lineal, debe apoyarse para ser unida a la solera superior del panel perpendicular; detalle fundamental para lograr un buen comportamiento estructural del conjunto.

4.4.3. Frontón triangular o tímpano

El entramado del frontón triangular de los muros cabeceros con techos a dos aguas, se suele estructurar por separado, con pies derechos de longitud variable, unidos con clavos lanceros a la solera superior del entramado del muro; sobre el extremo superior de los pies derechos descansan las “soleras” inclinadas que normalmente tienen la misma sección que los largueros que soportan el techo. Los pies derechos se ranuran para acomodar estas soleras o se disponen con el ancho paralelo al muro clavándolas a un costado (COFAN, 1999:197-200).

Para diseñar el tímpano, fue necesario determinar la pendiente del techo, ya que dicha estructura (tímpano), será el asiento donde descansarán los aleros frontales y traseros y transmitirán las cargas verticales provenientes del techo hacia los paneles. La altura del tímpano se tomó como base para el posterior diseño de las armaduras.

La altura o peralte de una armadura dividida entre el claro se llama relación peralte a claro; el peralte dividido entre la mitad del claro es la pendiente. Infortunadamente, estos dos términos se usan con frecuencia en forma intercambiable. Una forma menos ambigua de expresar la pendiente es dar la cantidad de peralte por pie de claro. Un techo que tiene un peralte de 6 pulgadas en una distancia horizontal de 12 pulgadas tiene una pendiente de “6 a 12”. La consulta al Cuadro 13 debe aclarar esta terminología (Parker y Ambrose, 2012:184-185).

Cuadro 13. Relación peralte a claro y pendientes de techos. Fuente: Parker y Ambrose (2012:185).

Relación peralte a claro	1/8	1/6	1/5	1/4	1/3.46	1/3	1/2
	Grados	14°3'	18°26'	21°48'	26°34'	30°0'	33°0'
Pendiente	3 a 12	4 a 12	4.8 a 12	6 a 12	6.92 a 12	8 a 12	12 a 12

Para comprender a detalle el Cuadro 13, Parker y Ambrose (2012), indican que “*el peralte dividido entre la mitad del claro es la pendiente*”; en el Cuadro 14, se determinó de manera clara la forma como se obtiene la pendiente con la información proporcionada anteriormente.

Cuadro 14. Determinación de la pendiente con la relación peralte mitad del claro. Fuente: Parker y Ambrose (2012:185).

Relación peralte a claro	1/8	1/6	1/5	1/4	1/3.46	1/3	1/2
Grados	14°3'	18°26'	21°48'	26°34'	30°0'	33°0'	45°0'
Pendiente	3 a 12	4 a 12	4.8 a 12	6 a 12	6.92 a 12	8 a 12	12 a 12
$m = \frac{\text{peralte}}{\left(\frac{1}{2}\right) \text{claro}}$	1/4	1/3	2/5 ó 1/2.5	1/2	1/1.73	2/3 ó 1/1.5	1/1 ó 1
m (%)	25%	33%	40%	50%	58%	66%	100%

m = pendiente

COFAN (1999:389), presenta información de acuerdo al dimensionamiento de armaduras para techos a dos aguas, en donde los claros se calculan tomando como base un espaciamiento de 61 cm de centro a centro, (que es la separación que se determinó anteriormente), indicando cuatro de las pendientes del techo más comunes en este tipo de construcciones: 1/4.8, 1/4, 1/3, 1/2.4 (20, 25, 33 y 42%).

COFAN (1999:230-231), menciona que *“al igual que los techos a un agua, la pendiente de techos de entramados ligeros a dos aguas suele ser del 25% o mayor”*.

Tomando en cuenta la información acerca de los tipos de armaduras, se eligió la armadura “FINK”, misma que se detalla en apartados más adelante, su característica es que presenta una luz o claro (la mitad del techo) apropiado de 4 a 8 metros y una pendiente de entre $1/4$ a $1/1.5$ (25 a 66%).

CONAFOR (s/f a: 33), utiliza una pendiente del 33% para el techo en el modelo de su proyecto de vivienda, recomienda la estructura con armaduras Fink.

4.4.4. Colocación de tableros en los muros

Se estableció una pendiente del 33% para el diseño y construcción del tímpano (y del techo en general) tomando en cuenta la recomendación de COFAN (1999:236), indicando que *“se debe tomar en cuenta que, cuanto menor sea la pendiente, mayor será la cantidad de material necesario”*.

El método para determinar las dimensiones (largo, claro o luz apropiada, y altura) del tímpano, fue el siguiente:

De acuerdo a los planos, la distancia frontal y trasera de la vivienda tienen un largo de 8.56 m cada una. La forma geométrica del tímpano, que es un triángulo isósceles, se dividió su claro a la mitad conforme la recomendación de Blackburn (1974:54-55), para obtener un triángulo rectángulo y con ello utilizar algunas identidades trigonométricas para obtener el peralte del tímpano como se indica en seguida:

$$8.56 \text{ m} * 2^{-1} = 4.28 \text{ m} = \text{cateto adyacente.}$$

$$\text{Ec.1} \quad \text{sen } \alpha = \frac{\text{cateto opuesto}}{\text{hipotenusa}}$$

$$\text{Ec.2} \quad \text{cos } \alpha = \frac{\text{cateto adyacente}}{\text{hipotenusa}}$$

$$\text{Ec.3} \quad \tan \alpha = \frac{\text{sen } \alpha}{\text{cos } \alpha}$$

$$\mathbf{Ec.3} \quad \tan \alpha = \frac{\frac{\text{cateto opuesto}}{\text{hipotenusa}}}{\frac{\text{cateto adyacente}}{\text{hipotenusa}}}$$

$$\mathbf{Ec.3'} \quad \tan \alpha = \frac{\text{cateto opuesto}}{\text{cateto adyacente}}$$

Se utilizó la fórmula de la pendiente (Ec.4), para relacionarla con la **Ec.3'**.

$$\mathbf{Ec.4} \quad m = \tan \alpha * 100$$

En este caso si $m = 33\% = 100 * 3^{-1}$

Sustituyendo “m” en **Ec.4** para obtener **Ec.5**: **Ec.5** $\tan \alpha = 33.\overline{33}$

y sustituyendo **Ec.3'** en **Ec.5** se obtuvo la altura del tímpano.

$$33.\overline{33} = \frac{\text{cateto opuesto}}{4.28 \text{ m}} * 100; \quad \frac{33.\overline{33}}{100} (4.28 \text{ m}) = \text{cateto opuesto}$$

$$\mathbf{\text{cateto opuesto} = 1.427 \text{ m} = \text{altura del tímpano}}$$

Para comprobar la pendiente se realizó lo siguiente:

$$\mathbf{Ec. 6} \quad m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} * 100; \quad m = \frac{1.427 \text{ m} - 0}{4.28 \text{ m} - 0} * 100; \quad m = 33.\overline{33}$$

Para obtener el largo de la solera inclinada del tímpano, se utilizó el Teorema de Pitágoras como se muestra a continuación:

$$\text{hipotenusa} = \sqrt{1.427^2 + 4.28^2}$$

$$\mathbf{\text{hipotenusa} = 4.51 \text{ m} = \text{distancia de la solera inclinada}}$$

Con las dimensiones del tímpano, se utilizó el programa AutoCAD 2010, para diseñar la correcta separación de los pies derechos del tímpano con los pies derechos del panel a cada 24”.

Se sugiere que al diseñar la vivienda, se considere como patrón de altura el tablero estructural perimetral, ya sea contrachapado fenólico o tablero de OSB, con dimensiones 1,220 mm x 2440 mm (espesor de 9 mm a 12 mm) (CORMA, 2004:244).

En las dimensiones del entramado vertical, se debe considerar un aumento de 3 mm a cada 61 cm (24”) de separación entre los pies derechos, esto debido a tres razones:

- a) De acuerdo a la recomendación que hace COFAN (1999:220), “*se deben dejar espacios de 2 a 3 mm entre los bordes de los tableros para permitir la expansión por cambios de humedad*”.
- b) Al diseñar las separaciones exactamente a cada 61 cm (24”) los tableros a utilizar en la obra, pueden tener un ancho mayor que 1.22 m (1220 mm \pm 1.5 mm, de acuerdo a la NMX-C-438-ONNCCE (2014), cuyas tolerancias expresadas en milímetros pueden afectar la colocación entre los tableros.
- c) Ante los posibles cambios dimensionales de la madera, recordando que se manifiestan con mayor intensidad en la dirección tangencial, menor intensidad en la dirección radial y mínimamente en dirección axial.

Es importante mencionar que se deben colocar los tableros previo a la instalación de las armaduras y los acabados finales del techo, con el fin de que proporcionen rigidez a los paneles y al frontón triangular, y por consiguiente, brinden seguridad a los trabajadores que realicen las maniobras necesarias en la parte superior de la vivienda.

La colocación de tableros contrachapados internos se realizará en el momento posterior a las instalaciones (eléctrica, agua, hidráulica, entre otras), por lo que el responsable de la obra y de acuerdo a la disponibilidad del material, establecerá los tiempos de colocación e instalación.

Los tableros estructurales se pueden aplicar vertical u horizontalmente. Los tableros horizontales presentan mayor resistencia y rigidez frente a cargas normales al plano del muro, como las presiones de viento, mientras que los verticales son más eficaces cuando los muros deben actuar como diafragmas (COFAN, 1999:220).

Cuando no se prevean fuerzas horizontales significativas, los tableros se fijan sobre los miembros del entramado de los muros con clavos espaciados a cada 15 cm a lo largo de los bordes y a 30 cm sobre los largueros intermedios. En el Cuadro 15, se presentan algunas recomendaciones típicas de clavos para los diferentes espesores de tableros de madera contrachapada y separaciones de pies derechos (COFAN, 1999:220).

Cuadro 15. Recomendación para tamaño de clavos en tableros de madera contrachapada. Fuente: COFAN (1999:220).

Espaciamiento entre pies derechos (cm)	Grosor del tablero		Tamaño de clavos (pulg)
	mm	pulgadas	
61	9.0	$\frac{3}{8}$	2
61	12.0	$\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{2}$

De manera similar, American Softwoods (s/f a: 8), recomienda “el uso de clavos de $2\frac{1}{2}$ ” a cada 15 cm en los bordes del tablero”, además indica de acuerdo al Cuadro 16, la información acerca de la longitud mínima de muros de cortante para viviendas ubicadas en zonas costeras con velocidad de viento de 150 km/h, o en zonas sísmicas.

Cuadro 16. Longitud mínima de muros de cortante para viviendas ubicadas en zonas costeras con velocidad de viento de 150 km/h, o en zonas sísmicas. Fuente: American Softwoods (s/f a: 8).

Área de la vivienda	Niveles	Triplay de 9 mm	Triplay de 12 mm
150 m ²	2	5.0 (planta alta) 14.0 (planta baja)	5.0 (planta alta) 14.0 (planta baja)
	1	5.0	5.0
80 m ²	2	3.0 (planta alta) 8.0 (planta baja)	3.0 (planta alta) 7.0 (planta baja)
	1	---	3.0
150 m ²	2	3.5 (planta alta) 9.0 (planta baja)	3.0 (planta alta) 8.0 (planta baja)
	1	3.5	3.5
80 m ²	2	3.0 (planta alta) 6.0 (planta baja)	2.5 (planta alta) 5.0 (planta baja)
	1	3.9	2.5

Estos valores son aplicables a construcciones en zonas sísmicas siempre y cuando las cubiertas no excedan un peso de 170 kg/m² (combinación de cargas muertas + cargas vivas).

COFAN (1999:206-220), hace dos recomendaciones acerca del grosor de tableros contrachapados para cubrir los claros:

- a) *“El grosor mínimo para cubrir el muro será de 9 mm ($\frac{3}{8}$ ”), fijando los miembros del entramado con clavos de 2" con separaciones a cada 15 cm en los bordes y a cada 30 cm en el centro.”*
- b) *“Los tableros de madera contrachapada con acabado aparente en una cara, se pueden utilizar como recubrimiento exterior, éstos deben tener un grosor mínimo de 12 mm ($\frac{1}{2}$ ”), y el adhesivo empleado en su fabricación debe ser de fenol-formaldehído.”*

CONAFOR (s/f a: 26), recomienda en el proyecto de su vivienda, triplay de 9 mm ($\frac{5}{16}$ ”) con tratamientos para exteriores. Los tableros contrachapados los coloca de forma vertical en su sentido longitudinal (2.44 m).

4.5. Diseño del Techo

La elección del tipo de techo es una de las decisiones de mayor importancia en el diseño de un edificio de madera. Influye en ella la forma de la planta del edificio y la distribución de los espacios interiores, los materiales disponibles, las condiciones climatológicas, el efecto visual deseado, y por último las restricciones económicas se deben respetar (COFAN, 1999:226).

Actualmente predomina el uso de armaduras ligeras para construir techos a dos aguas; una ventaja es que se pueden armar en el lugar de la obra por métodos “artesanales” sencillos como la colocación de clavos, tornillos,

pernos, cartelas de tableros contrachapados y placas perforadas. Sin embargo el armado de armaduras con cartelas utilizando adhesivos o las placas dentadas, se necesita de un equipo especializado realizado en taller (COFAN, 1999:236).

Varios autores indican que la armadura Fink, es la más común para claros mayores, además su fabricación permite una distancia menor entre nudos. Anteriormente, se mencionó que tal estructura (armadura Fink), presenta una luz o claro (la mitad del techo) apropiado de 4 a 8 metros y una pendiente de entre $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{1.5}$ (25 a 66%), tomando la decisión, de utilizar una pendiente de 33%.

A continuación se realizó el diseño de los miembros que conforman la estructura del techo. El diseño se realizó con base en las recomendaciones de diferentes autores, además tomando en cuenta las condiciones climáticas.

4.5.1. Longitud del alero para el diseño de la armadura Fink

Un volado adecuado es muy importante para la protección de los cubrimientos de las paredes de una construcción en madera, contra la acción del clima. En este sentido, la lluvia puede humedecer demasiado la envolvente, creando un ambiente propicio para que se desarrollen los hongos; por otro lado la radiación directa de la luz puede originar una total degradación en la superficie de la madera (JUNAC, 1988:11-7).

Una forma de prevenir lo anterior, en las ilustraciones de Hanono (2005:99) y JUNAC (1988:11-7), recomiendan que en el caso de lluvia inclinada, el volado debe proteger a la vivienda una altura adecuada aproximada hasta de 30 cm, desde la base del suelo firme hasta donde se ubique la madera.

Elegido el tipo de armadura (Fink), y conociendo el claro a cubrir (8.56 m), lo siguiente fue utilizar la información presentada en el estudio de Elizondo (2009), para diseñar la longitud del volado del techo (aleros izquierdo y derecho) con relación a las condiciones climatológicas.

Para comprender el efecto que la lluvia y el viento pueden afectar la fachada de la vivienda, van Mook (2002:28-29), citado por Elizondo (2009:40), menciona que *“el tamaño de las gotas de lluvia oscila entre 1 mm y 7 mm, partículas menores se evaporan y las mayores se dividen, la forma de las más pequeñas es casi esférica y conforme aumentan de tamaño se hacen achatadas en la parte inferior, pero todas se consideran esféricas, haciendo una equivalencia de diámetro con respecto a su volumen”*.

En su caso de estudio en la Ciudad de México, acerca de la medición de la lluvia conducida por viento, Elizondo (2009:67-73), requirió información de las precipitaciones pluviales (mm), la velocidad de los vientos dominantes (m/s), la dirección de los vientos dominantes y la frecuencia de la dirección del viento (apariciones), para el D.F. de 1971 a 2004.

Con la información obtenida, Elizondo (2009:122), concluyó que “la dirección predominante fue la norte, para los meses de junio, agosto y septiembre (los meses más lluviosos) y para el mes de julio la dirección prevaleciente fue noroeste”. Posteriormente con datos proporcionados en el Cuadro 17, a partir de sus registros, determinó “una velocidad máxima del viento de 7.6 m/s con dirección proveniente del Oeste suroeste”.

A partir de esos cálculos, Elizondo (2009:122), estableció un rango teórico para el ángulo vertical de incidencia de la lluvia conducida por viento desde los 27.3° hasta los 51.6° (1 mm – 7 mm Ø).

Cuadro 17. Cálculo del ángulo vertical de la lluvia conducida por viento. Fuente: Elizondo (2009).

DIÁMETRO DE LA GOTA (mm)	1	2	3	4	5	6	7
VELOCIDAD LIMITE DE GOTA (m/s)	3.9193	6.558	8.0795	8.8132	9.0885	9.2348	9.5815
VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)	ANGULO (GRADOS °)						
0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0
1	75.7	81.3	82.9	83.5	83.7	83.8	84.0
1.2	73.0	79.6	81.6	82.2	82.5	82.6	82.9
1.4	70.3	77.9	80.2	81.0	81.2	81.4	81.7
1.6	67.8	76.3	78.8	79.7	80.0	80.2	80.5
1.8	65.3	74.7	77.4	78.5	78.8	79.0	79.4
2	63.0	73.0	76.1	77.2	77.6	77.8	78.2
2.2	60.7	71.5	74.8	76.0	76.4	76.6	77.1
2.4	58.5	69.9	73.5	74.8	75.2	75.4	75.9
2.6	56.4	68.4	72.2	73.6	74.0	74.3	74.8
2.8	54.5	66.9	70.9	72.4	72.9	73.1	73.7
3	52.6	65.4	69.6	71.2	71.7	72.0	72.6
3.2	50.8	64.0	68.4	70.0	70.6	70.9	71.5
3.4	49.1	62.6	67.2	68.9	69.5	69.8	70.5
3.6	47.4	61.2	66.0	67.8	68.4	68.7	69.4
3.8	45.9	59.9	64.8	66.7	67.3	67.6	68.4
4	44.4	58.6	63.7	65.6	66.2	66.6	67.3
4.2	43.0	57.4	62.5	64.5	65.2	65.5	66.3
4.4	41.7	56.1	61.4	63.5	64.2	64.5	65.3
4.6	40.4	55.0	60.3	62.4	63.2	63.5	64.4
4.8	39.2	53.8	59.3	61.4	62.2	62.5	63.4
5	38.1	52.7	58.2	60.4	61.2	61.6	62.4
5.2	37.0	51.6	57.2	59.5	60.2	60.6	61.5
5.4	36.0	50.5	56.2	58.5	59.3	59.7	60.6
5.6	35.0	49.5	55.3	57.6	58.4	58.8	59.7
5.8	34.0	48.5	54.3	56.7	57.5	57.9	58.8
6	33.2	47.5	53.4	55.8	56.6	57.0	57.9
7	29.2	43.1	49.1	51.5	52.4	52.8	53.8
7.2	28.6	42.3	48.3	50.8	51.6	52.1	53.1
7.4	27.9	41.5	47.5	50.0	50.8	51.3	52.3
7.6	27.3	40.8	46.8	49.2	50.1	50.5	51.6

Finalmente, se diseñó el alero a un ángulo de incidencia de la lluvia conducida por viento aproximado de 60° , tomando en cuenta desde la parte inferior de la fachada de la vivienda, hasta la canaleta para la recepción de agua de lluvia en el techo, como se indica en la Figura 18.

La razón por la que no se consideraron los 51.6° , fue debido a que se necesitaría de una mayor longitud del alero, lo que no sería factible estructuralmente; por el contrario, al aumentar el ángulo de incidencia de lluvia a 60° , la longitud del alero permitirá colocar un tablero contrachapado de 1.22 m de ancho adecuadamente como se puede observar en la Figura 18, no afectando el peso de las soleras de la armadura ya que se considera una carga uniformemente distribuida.

En el caso de que la incidencia de la lluvia conducida por viento (gotas con diámetro de 7 mm), fuera de 51.6° a una velocidad máxima del viento de 7.6 m/s, la fachada lateral donde se ubica el panel, se mojaría a una altura de 34 cm (iniciando desde la cadena de cimentación, Figura 18). Lo anterior se puede resolver colocando de manera adecuada los materiales de aislamiento en la parte inferior de la vivienda indicado en el apartado de *Materiales Diversos*, o con la colocación de loseta en la fachada de la vivienda.

El Cuadro 17, indica el ángulo vertical de la lluvia conducida por viento partiendo a una velocidad de 0 m/s, y un ángulo de incidencia de 90°, en este caso tomando en cuenta los 60° de incidencia de la lluvia para el diseño del alero, el volado estaría protegiendo adecuadamente la fachada lateral si la velocidad del viento fuera a 5.6 m/s con un diámetro de la gota de 7 mm. Con estas características se estaría cumpliendo reservadamente el requisito indicado por Hanono (2005:99) y JUNAC (1988:11-7).

Para estudios posteriores se recomienda consultar la información de Elizondo (2009), en la cual proporciona información acerca de la cantidad de agua expresada en litros que es capaz de recibir una superficie de una envolvente en un edificio; información relevante para una vivienda construida con madera.

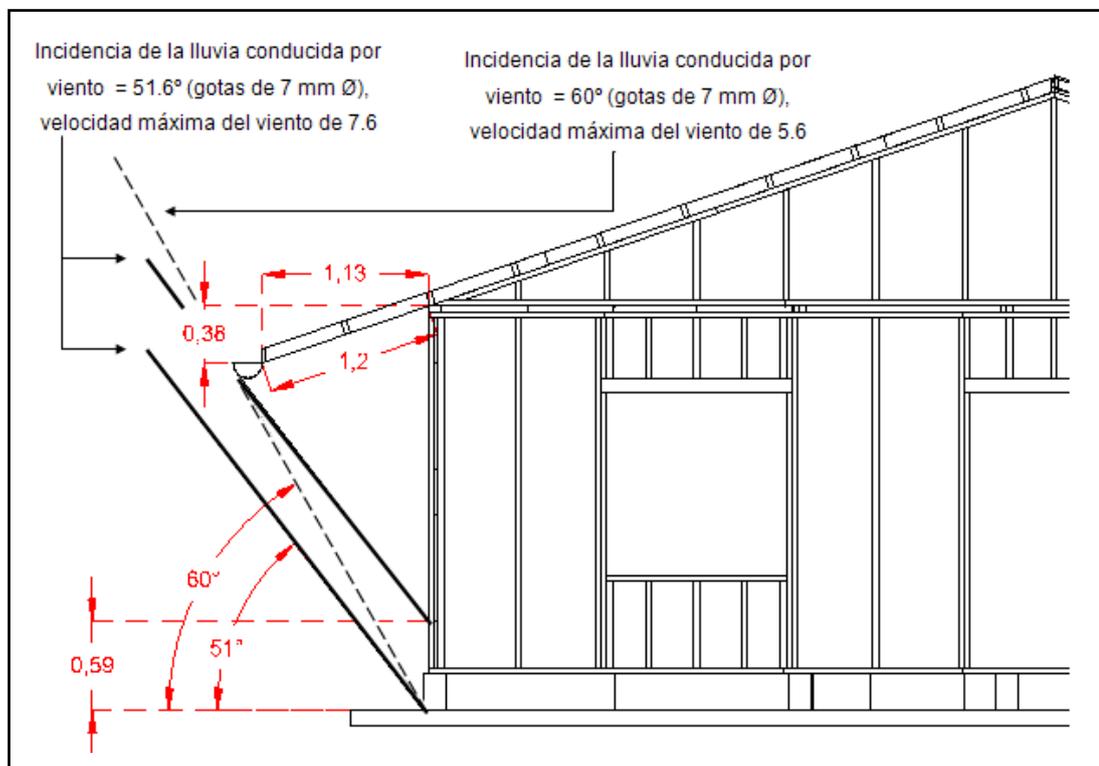


Figura 18. Diseño del alero del techo tomando en cuenta la incidencia de la lluvia conducida por viento.

4.5.2. Cálculo de cargas

La durabilidad y el comportamiento adecuado de un edificio de madera dependen en gran medida de las características del techo. Por otro lado, el techo es la parte del edificio que mayores dificultades presenta en cuanto a su diseño y construcción. Además de soportar su propio peso, el del cielo raso y los materiales de recubrimiento o techado, así como las cargas vivas y accidentales que pudieran presentarse, los techos deben proteger los espacios interiores contra la intemperie, en especial contra la lluvia (COFAN, 1999:226).

Una carga es la magnitud de una presión o tensión debida a la colocación de un cuerpo sobre otro. Los dos tipos más comunes en problemas de ingeniería, son las cargas concentradas y cargas uniformemente distribuidas. Una carga uniformemente distribuida es una carga que tiene una magnitud uniforme por unidad de longitud y que se ejerce sobre una parte de un elemento o sobre su longitud total. Una carga concentrada es aquella que se aplica sobre una parte tan pequeña de la longitud de una viga o trabe, que se supone actúa en un punto (Parker y Ambrose, 2012:20).

Se aplica el término de carga muerta al peso de los materiales de construcción; es decir, al peso de las vigas, trabes, el piso, los muros divisorios, etcétera. La carga viva representa la carga probable debida a la ocupación de un edificio e incluye el peso de las personas, el mobiliario, el equipo, los materiales almacenados y la nieve. La carga total es la suma de todas las cargas muertas y vivas (Parker y Ambrose, 2012:20).

Se realizó un bosquejo general del techo, es decir, se realizó el diseño de todas las piezas que conformaron el techo con el programa AutoCAD 2010, esto con la finalidad de calcular las cargas muertas de la cubierta con relación a los materiales a utilizar. Estas cargas incluyeron el peso de la madera en el techo, el peso del bajo techo (tableros de yeso), el peso de los tableros contrachapados, fieltro asfáltico, teja asfáltica, entre otros.

Además con esta información, se determinó si la clase estructural que se eligió de los pies derechos y su separación (24" o 61 cm) fue adecuada. Esto fue posible ya que COFAN (1999) proporciona la información necesaria incluida en el MCELM para realizar los cálculos.

Todos los cálculos realizados en este apartado se consideraron para las piezas estructurales que recomiendan varios autores con experiencia en la construcción: pies derechos, tableros contrachapados, separación entre los pies derechos, entre otros. Para el cálculo de las áreas y volúmenes se utilizaron los comandos *area* y *massprop* de AutoCAD 2010.

Se calcularon las cargas muertas de la cubierta y se compararon los resultados con los valores de carga distribuida para diseño por resistencia (kg/m^2) (Cuadro 20) y cargas consideradas en el dimensionamiento de las armaduras (kg/m^2) con un claro máximo indicado para armaduras a dos aguas (Cuadro 21). Se diseñó la armadura de acuerdo al cálculo de las cargas muertas en kg/m^2 considerando el área del techo de 106.4377 m^2 (Anexo 13).

Para calcular el peso de la estructura de madera en el techo (armaduras, aleros, tímpanos, fascias, riostras, entre otros), fue necesario establecer la densidad básica (kg/m^3 o g/cm^3) de la madera de pino.

Densidad básica. Término físico que se utiliza para definir la densidad o peso específico en las maderas, para propósitos de comparación. Se refiere a la relación del peso anhidro (P_o , de una madera, por unidad de volumen verde (V_v = contenido de humedad superior al 30%). $Db = P_o/V_v$ (g/cm^3) (NMX-C-419-ONNCCE, 2014).

Se tomó parte de la información de Sotomayor (2008), citado por CONAFOR (s/f b: 21), incluyendo en el Cuadro 18, únicamente la densidad de siete especies de pino con la relación de densidad “peso seco/volumen verde” expresado en kg/m^3 de cinco especies de pino:

Cuadro 18. Densidad de 7 especies de coníferas (kg/m^3) (Sotomayor, 2008). Fuente: CONAFOR (s/f a).

Especie	$Db = \text{kg/m}^3$
<i>Pinus ayacahuite</i>	400
<i>Pinus michoacana</i>	455
<i>Pinus douglasiana</i>	425
<i>Pinus arizonica</i>	430
<i>Pinus leiophylla</i>	435
<i>Pinus chihuahuana</i>	440
<i>Pinus pseudostrobus</i>	550

Con los datos del Cuadro 18, se obtuvo un promedio de la densidad de madera de pino de 450 kg/m^3 (0.45 g/cm^3). Lo anterior significa que 1 m^3 de madera de pino, pesa en promedio 450 kg en estado anhidro, o lo que es lo

mismo, un 1 cm^3 pesa 0.45 gramos (0.45 gramos de madera de pino en estado anhidro por unidad de volumen verde).

El volumen de madera que se consideró para el techo (típanos, armaduras, aleros, fascias, riostras y demás), de acuerdo a sus dimensiones (grosso x ancho x largo) fue de 1.82 m^3 . Para el cálculo de cargas muertas, el volumen de madera de algunas fascias se consideraron como cargas vivas por considerar su función como ventilación, por esta razón, éste valor fue diferente al indicado en el Cuadro 62 (1.87 m^3).

Para obtener el peso total de madera aserrada y cepillada en el techo, se multiplicó $1.82 \text{ m}^3 \times 450 \text{ kg/m}^3$, obteniendo un peso de 820.74 kg; no obstante, si se hubiera considerado el volumen total de las fascias (0.05 m^3), el peso sería de 841.5, es decir una diferencia de $\pm 20 \text{ kg}$, cuyo valor no fue significativo para efectos de los cálculos.

Lo siguiente fue considerar el peso de la madera a un CH al 18%, (de acuerdo a lo indicado en la NMX-C-224-ONNCCE (2001)). Para obtener el peso de la madera al 18% de CH, se realizó de la siguiente manera: $820.74 \text{ kg} (0.18) + 820.74 \text{ kg} = 968.47 \text{ kg}$. Lo anterior indica que la madera, de acuerdo a sus dimensiones reales, no nominales, y a un CH al 18%, tendrá un peso de 968.47 kg. Para determinar el peso de la madera por metro cuadrado (a un CH del 18%) que soportará la superficie del techo (carga muerta), se dividió $968.47 \text{ kg} / 106.4377 \text{ m}^2$, dando como resultado una carga muerta de 9.09 kg/m^2 , este resultado se incluye en el Cuadro 19.

La información acerca del peso de los tableros contrachapados de 12 mm varía dependiendo de la fuente consultada. Debido a lo anterior, se determinó un peso máximo promedio de 22 kg por pieza (1.22 m x 2.44 m, 4 pies x 8 pies); por otro lado, los tableros OSB de 12 mm pesan en promedio entre 20 y 22 kg, por lo cual se podrá elegir entre tableros contrachapados u OSB a pesar de no estar considerados estos últimos en las norma mexicanas, pero justificado de acuerdo a varios autores con experiencia en la construcción.

Se calculó el total de tableros contrachapados para cubrir una superficie en el techo (inclinado a dos aguas) de 112.01m², y una superficie de los tímpanos de 12.22 m², obteniendo un resultado total de aproximadamente 41 tableros contrachapados con resinas FF con dimensiones de 1.22 m x 2.44 m, de acuerdo a la NMX-C-438-ONNCCE (2014); NMX-C-439-ONNCCE (2006) y NMX-C-440-ONNCCE (2006).

El peso total de 41 tableros contrachapados fue de 904.33 kg para un volumen aproximado de 1.46 m³. Para determinar el peso por metro cuadrado de superficie, se dividió 904.33 kg/106.4377 m², obteniendo una carga muerta de 8.49 kg/m², misma que se incluyó en el Cuadro 19.

Para el cálculo de los tableros de yeso que servirán como bajo techo (resistentes al fuego y algunos a la humedad), se calculó de manera similar al texto anterior, considerando el peso de cada tablero de 20 kg.

La superficie bajo techo a cubrir fue de 69.72 m^2 , por lo que se necesitarán 24 tableros. El peso por metro cuadrado para el área total del techo (106.4377 m^2), fue una carga muerta de 4.5 kg/m^2 , de igual manera incluida en el Cuadro 19.

Se consideró el uso de tejas asfálticas, (sus características de detallan en el apartado *Materiales Diversos*). Cabe señalar que el peso de las tejas se pudo determinar por el número de tejas que incluye un paquete, el cual se calculó con base en la información de Owens Corning (2009). 21 tejas en un paquete pesa 31 kg, las dimensiones de las tejas se manejan de 305 mm x 914 mm (30.5 cm x 91.4 cm). De acuerdo al diseño del techo y su colocación, se calculó que se necesitarán 814 tejas de acuerdo al acomodo al intercalarlas, por lo que su peso calculado fue de 970.53 kg. De acuerdo a los cálculos, la teja asfáltica presenta una carga muerta de 9.1182 kg/m^2 mostrada en el Cuadro 19.

En caso similar, el peso de fieltro asfáltico se maneja por la cantidad de metros cuadrados que se encuentran enrollados por bobina. El peso depende del proveedor, del espesor, de la altura de la bobina y de la superficie del fieltro; en este caso, se consideró una bobina de 40 m^2 de fieltro y un peso de 28 kg. Se necesitarán $5.7 \approx 6$ bobinas para cubrir el techo, cuyo peso aproximado fue de 74.50 kg; su carga muerta fue de 0.7 kg/m^2 . Es importante mencionar que el fieltro presentará traslapes aproximadamente de 10 a 15 cm.

A continuación, en el Cuadro 19, se presentan las cargas muertas (kg/m^2) de los materiales a utilizar en el techo de la vivienda. Cabe señalar que se obtuvo un total de cargas muertas de 32.37 kg/m^2 , lo que indica que se considera como cubierta ligera de acuerdo al Cuadro 20 y 21, presentados por COFAN (1999:386-389-390).

Cuadro 19. Carga muerta de los materiales considerados en el techo de la vivienda.

Madera a un CH del 18% (kg/m^2)	Tableros (contrachapados u OSB) de 12 mm (kg/m^2)	Tableros de yeso (bajo techo) 12 mm (kg/m^2)	Tejas asfálticas (kg/m^2)	Fieltro asfáltico (kg/m^2)	Carga muerta total (kg/m^2)	Otros (kg/m^2)
9.09	8.49	4.5	9.11	0.7	32.37	≤ 7.63

Otros = clavos, tornillos, goteros metálicos, etc.

Para comprobar que los valores de carga muerta del techo de la vivienda cumplieran con los límites indicados por COFAN (1999), se realizó lo siguiente:

$$\text{Carga muerta total de la vivienda} = 32.37 \text{ kg/m}^2$$

Suponiendo una carga viva máxima de 40 kg/m^2 y una carga muerta de 32.37 kg/m^2 , ambos se multiplican por un factor de carga $F_c = 1.4$.

$$\text{Carga total de la vivienda} = 1.4 (40 \text{ kg/m}^2 + 32.37 \text{ kg/m}^2) \approx 100 \text{ kg/m}^2$$

Lo anterior indicó que por cada metro cuadrado del techo, éste podrá soportar 100 kg de carga total (viva y muerta). El resultado obtenido coincide dentro de la carga total considerada para una cubierta ligera inclinada (pendiente > 5%) como lo indica el Cuadro 20.

Cuadro 20. Valores de carga distribuida para diseño por resistencia (kg/m²). Fuente: COFAN (1999:386).

Sistema	Carga viva máxima ⁽¹⁾ W _m	Carga muerta W _p	Carga total 1.4 (W _m + W _p)
Pisos			
Habitación	170	50	308
Oficina	250	60	434
Cubiertas			
Ligeras planas (pendiente < 5%)	100	40	196
Ligeras inclinadas (pendiente > 5%)	40	40	112
Pesadas planas (pendiente < 5%)	100	110	294
Pesadas inclinadas (pendiente > 5%)	40	110	210

(1) Art. 199, RCDF-87

F_c = Factor de carga (1.4)

Las cargas consideradas en el dimensionamiento de las armaduras se detallan a continuación, las que deben ir siempre multiplicadas por el factor de carga 1.4 para diseño por resistencia (COFAN, 1999:390):

a) Armaduras con cubierta ligera:

Carga muerta: $W_p = 60 \text{ kg/m}^2$ (incluye el cielo raso o plafón)

Carga viva: $W = 40 \text{ kg/m}^2$

Carga total: $W_T = 60 + 40 = 100 \text{ kg/m}^2$

b) Armaduras con cubierta pesada:

Carga muerta: $W_p = 110 \text{ kg/m}^2$

Carga viva: $W = 40 \text{ kg/m}^2$

Carga total: $W_T = 110 + 40 = 150 \text{ kg/m}^2$

En el apartado *Aspectos Importantes de la Madera de Pino*, se determinó que las especies de coníferas mexicanas, clasificadas con la NMX-C-239-ONNCCE (1985), corresponden a los grupos CE5 (madera de Clase "B") y CE7 (madera Clase "A"), ésta última considerada preferentemente para el proyecto de vivienda.

De acuerdo a lo anterior, en el Cuadro 21, se muestra parte de la información presentada por COFAN (1999:412), indicando los claros máximos de armaduras a dos aguas considerando el techo como cubierta ligera, suponiendo una carga viva de 40 kg/m^2 y una carga muerta de 60 kg/m^2 con espaciamientos a cada 61 cm cuya pendiente del techo es de $\frac{1}{3}$ (33%).

Cuadro 21. Claros máximos de armaduras a dos aguas (L). Cubiertas ligeras. Carga viva: $W_v = 40 \text{ kg/m}^2$; Carga muerta: $W_P = 60 \text{ kg/m}^2$, espaciamiento $S = 61 \text{ cm}$. Fuente: COFAN (1999:412).

Sección cuerda superior (mm)	Sección cuerda inferior (mm)	Pendiente del techo	Grupo estructural									
			CE1	CE2	CE3	CE4	CE5	CE6	CE7	CE8	CE9	CE10
38 x 89	38 x 89	1/4.8	-	-	5.80	7.24	8.03	8.62	9.20	9.79	10.38	10.96
		1/4	-	4.40	6.67	7.84	8.73	9.12	9.70	10.28	10.87	11.11
		1/3	-	5.88	7.59	8.61	9.41	9.87	10.44	11.11	11.11	11.11
		1/2.4	4.40	6.57	8.12	9.16	9.90	10.34	10.89	11.11	11.11	11.11

La información presentada en el Cuadro 21, se interpreta de la siguiente manera: al diseñar un techo con madera clasificada dentro del grupo CE7 (madera Clase "A"), según indica la NMX-C-239-ONNCCE (1985), con espaciamientos a cada 61 cm, a una pendiente del 33%, con una Carga viva = 40 kg/m^2 y una Carga muerta = 60 kg/m^2 ; el claro máximo de la armadura será de 10.44 m. En este caso el techo de la vivienda del proyecto tiene un claro de la armadura de 8.56 m, considerándose adecuado con relación a la información del Cuadro 21.

Si se llegara a considerar madera clasificada dentro del grupo CE5 (madera Clase "B"), de acuerdo a la NMX-C-239 (1985); también se podría considerar adecuada, ya que cumple con los requisitos para un claro de la armadura de 9.41 m a una pendiente del 33% ($1/3$).

Para determinar si los paneles fueron correctamente diseñados, se realizó lo siguiente de acuerdo a la metodología de American Softwoods (s/f a: 31):

Carga muerta = 40 kg/m²

- a) Total de madera en el techo: 9.09 kg/m²
- b) Tableros contrachapados 12 mm: 8.49 kg/m²
- c) Bajo piso (tableros de yeso): 4.5 kg/m²
- d) Teja asfáltica: 9.11 kg/m²
- e) Fieltro asfáltico: 0.7 kg/m²
- f) Otros: ≤7.63 kg/m²

Carga viva = 40 kg/m²

Carga total = 1.4 (Carga viva + Carga muerta)

Carga total = 1.4 (40 kg/m² + 40 kg/m²) = 112 kg/m²

Se considera un aumento por la carga proyectada a la horizontal (pendiente del 33%) para conocer las cargas sobre los paneles:

Armadura con inclinación del 33%

Carga proyectada a la horizontal = 112 kg/m² (1.05) = 117.6 kg/m²

Ancho tributario para el muro frontal izquierdo, adicionando la distancia del alero:

$$A_T = (1.132 \text{ m} + 4.933 \text{ m}) = 6.065 \text{ m}$$

Carga resistente del bastidor = 117.6 kg/m² x 6.065 m = 713.24 kg/m

Cuadro 22. Cargas resistentes por metro lineal de muro a base de bastidores (kg/m.l.)(1). Fuente: COFAN (1999:415).

Sección (mm)	Espac.	Altura	Grupo estructural						
			CE1	CE2	CE3	CE4	CE5	CE6	CE7
38 x 89	60.96	2.44	412	645	913	1217	1527	1736	2045

(1)Las condiciones de diseño son: condición seca y duración de carga normal.

De acuerdo al Cuadro 22, la carga resistente por metro lineal del muro frontal es más que adecuada de acuerdo a la madera Clase “A” (CE7), se puede utilizar sin ningún problema la madera de Clase “B” (CE5), e inclusive se pudiera utilizar la madera del grupo estructural CE3 y CE4, sin embargo se consideró el grupo estructural preferentemente CE7, y opcional CE5, debido a que las NTCM, especifican únicamente dos clases de resistencia: madera de Clase “A” o de alta resistencia y madera de Clase “B” o de mediana resistencia.

En los siguientes apartados, se determinó el diseño de la armadura Fink y los esfuerzos (tensión y compresión) que tendrán los miembros que conformarán la estructura de la armadura. Para estos esfuerzos, se tomaron en cuenta dos métodos: geométrico (gráfico) y algebraico (analítico).

El método geométrico consiste básicamente en construir un diagrama de esfuerzos trazando polígonos de fuerzas de las fuerzas externas. Es preciso si los diagramas se trazan con cuidado. El otro método consiste en obtener los esfuerzos y cargas de cada nodo y miembro de forma algebraica, es decir, utilizando el método analítico. Este último puede resultar tedioso, sin

embargo presenta la ventaja de considerar una mayor aproximación con relación al diagrama del diseño original.

4.5.3. Diseño de la armadura Fink

Para diseñar la armadura, se utilizó la metodología indicada por CORMA (2004:265); el primer paso fue dividir en tres partes iguales la longitud del tirante (el claro de 8.5640 m). Posteriormente paralelo al tirante, (en la parte superior) se trazó una línea de igual largo y se dividió en cuatro partes iguales, marcando la proyección de esos puntos sobre los pares, como se indica en la Figura 19. Lo siguiente fue unir los segmentos formando una letra “W”; finalmente estas líneas fueron los ejes para la ubicación de las diagonales.

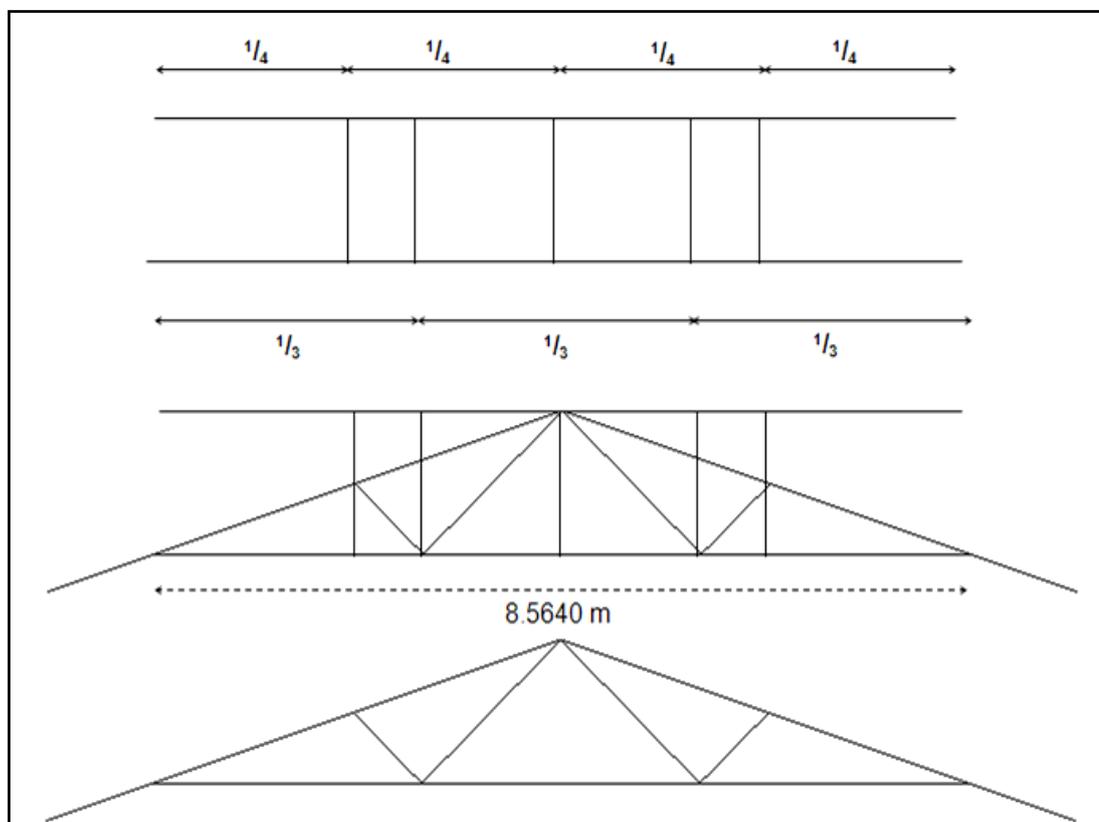


Figura 19. Diseño de la armadura Fink.

Este método es útil para determinar la posición y dimensiones de las piezas que formarán la armadura Fink, sin embargo, al momento de construir la estructura con los pies derechos, la armadura presentará una cierta modificación. Esto es debido a que no se está considerando el grosor del pie derecho 2" x 4" como se indica en la Figura 20.

En este diagrama, se recomienda utilizar el método analítico para obtener los esfuerzos de tensión y compresión, ya que respeta las dimensiones originales de la armadura indicado con el método de CORMA (2004).

Por otro lado, tomando en cuenta la dimensión del grosor del pie derecho (38 mm), es decir, considerando ya el diseño de la armadura con su estructura, el método geométrico para obtener los esfuerzos es el más adecuado. Como resultado de estos detalles, en los esfuerzos de compresión y de tensión entre los dos métodos, se presentó una cierta variación, la cual no se considera significativa.

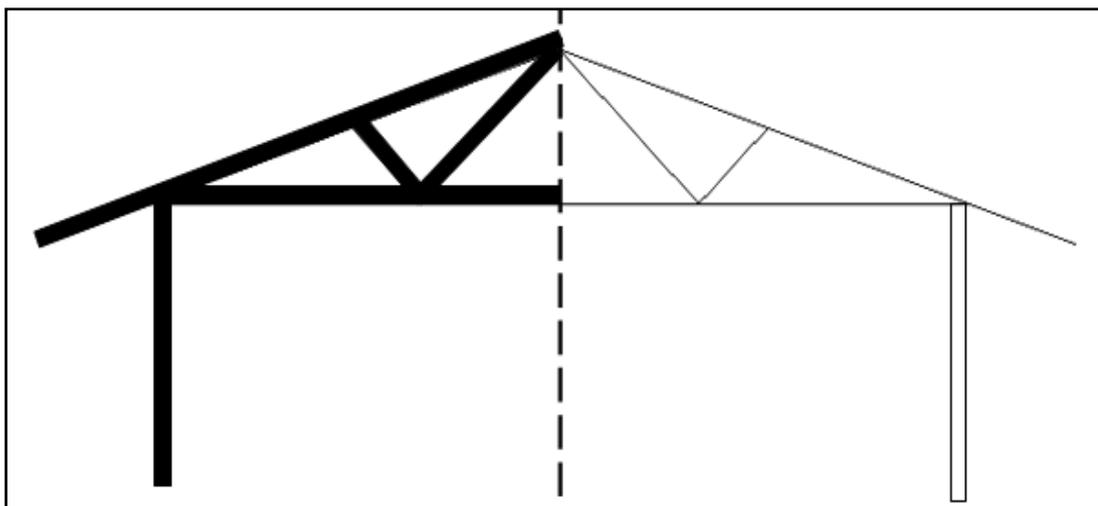


Figura 20. Forma de calcular los esfuerzos en una armadura: método geométrico (izquierda); método analítico (derecha).

4.5.3.1. Método geométrico (diagramas de esfuerzos)

Para resolver el diagrama de esfuerzos, se utilizó la metodología propuesta por Parker y Ambrose (2012:187) utilizando el programa AutoCAD 2010.

La carga muerta total del techo, se calculó de ± 3531.37 kg; para comprobar el resultado se realizó lo siguiente: $32.37 \text{ kg/m}^2 \times 106.4377 \text{ m}^2 = 3445.38$ kg. Posteriormente al considerar el peso de las cartelas de contrachapados se obtuvo lo siguiente:

$$3445.85 \text{ kg} + 110 \text{ kg} = 3555 \text{ kg} \approx 3531.37 \text{ kg}$$

En los cálculos no se tomaron en cuenta las cargas “otros” como está indicado en el Cuadro 19, por lo que sólo se consideraron las cargas reales más significativas. Los resultados de los esfuerzos están indicados en el Cuadro 23.

La carga de celosía para la carga vertical en la armadura fue de 882.8425 kg. Las dos cargas en los extremos fueron de 441.42125 kg cada una, lo que constituyó una carga vertical total de:

$$882.8425 + 882.8425 + 882.8425 + 441.42125 + 441.42125 = 3531.37 \text{ kg}$$

Debido a que la armadura es simétrica, cada fuerza hacia arriba en el apoyo (reacción) fue de $3531.37 \text{ kg} \cdot 2^{-1} = 1765.685$ kg (Figura 21). Como ya se conocen las cargas de celosía y las reacciones, el primer paso en la construcción de un diagrama de esfuerzos fue dibujar un polígono de fuerzas de las fuerzas externas (Figura 22).

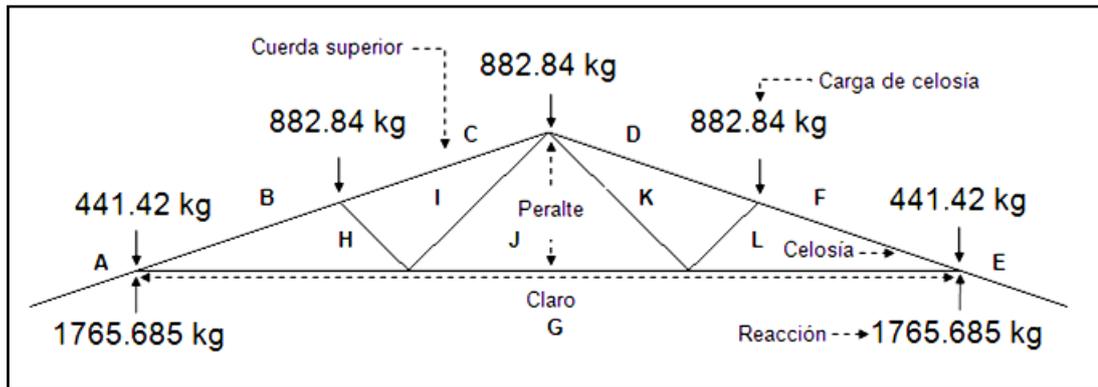


Figura 21. Diagrama de cargas de la armadura Fink.

Siguiendo la metodología de Parker y Ambrose (2012:187), se realizó lo siguiente: “las fuerzas a calcular son AB, BC, CD, DE, EF, FE y GA, la ventaja es que ya se conocen las magnitudes de todas. Por lo tanto, a una escala adecuada, se trazó ab, una fuerza hacia abajo igual a 441.42kg”.

“La siguiente fuerza externa fue BC y, desde el punto b recién determinado, se dibujó bc hacia abajo, equivalente a 882.84 kg. Se realizó lo mismo con CD, DE y EF. Esto completó las fuerzas hacia abajo. La línea así dibujada se denomina línea de carga, y su longitud es equivalente a 3531.37 kg”.

“La siguiente fuerza externa fue FG, y se dibujó una fuerza hacia arriba de 1765.68 kg. Así se determinó la posición del punto g; y GA, la fuerza externa restante, completó el polígono de fuerzas externas. Debido a que las cargas y las reacciones son verticales, el polígono de fuerza de las fuerzas externas es una línea vertical”.

“Junto con el polígono así dibujado, se construyó un polígono de fuerzas para las fuerzas AB, BH, HG y GA con respecto al punto ABHG. A partir de b, se trazó una línea paralela a BH; y a partir de g, se dibujó una línea paralela a HG. Su intersección determinó el punto h”.

“Posteriormente se consideraron los miembros con respecto al nudo BCIH. A partir de c, se trazó una paralela a CI; y se dibujó una paralela a IH que pasara por h; su intersección determinó el punto i. El siguiente nudo fue HIJG. Se trazó una paralela a IJ que pasara por i y una recta paralela a JG que pasara por g, para establecer el punto j. De la misma manera, se tomaron los nudos CDKIJ y DELK. Esto complementó el diafragma de esfuerzos”.

La longitud de un miembro en una armadura no tiene relación directa con la magnitud de su esfuerzo, la magnitud del esfuerzo se determina por la longitud de la línea en el diagrama de esfuerzos que corresponde al miembro de la armadura (Parker y Ambrose, 2012:186).

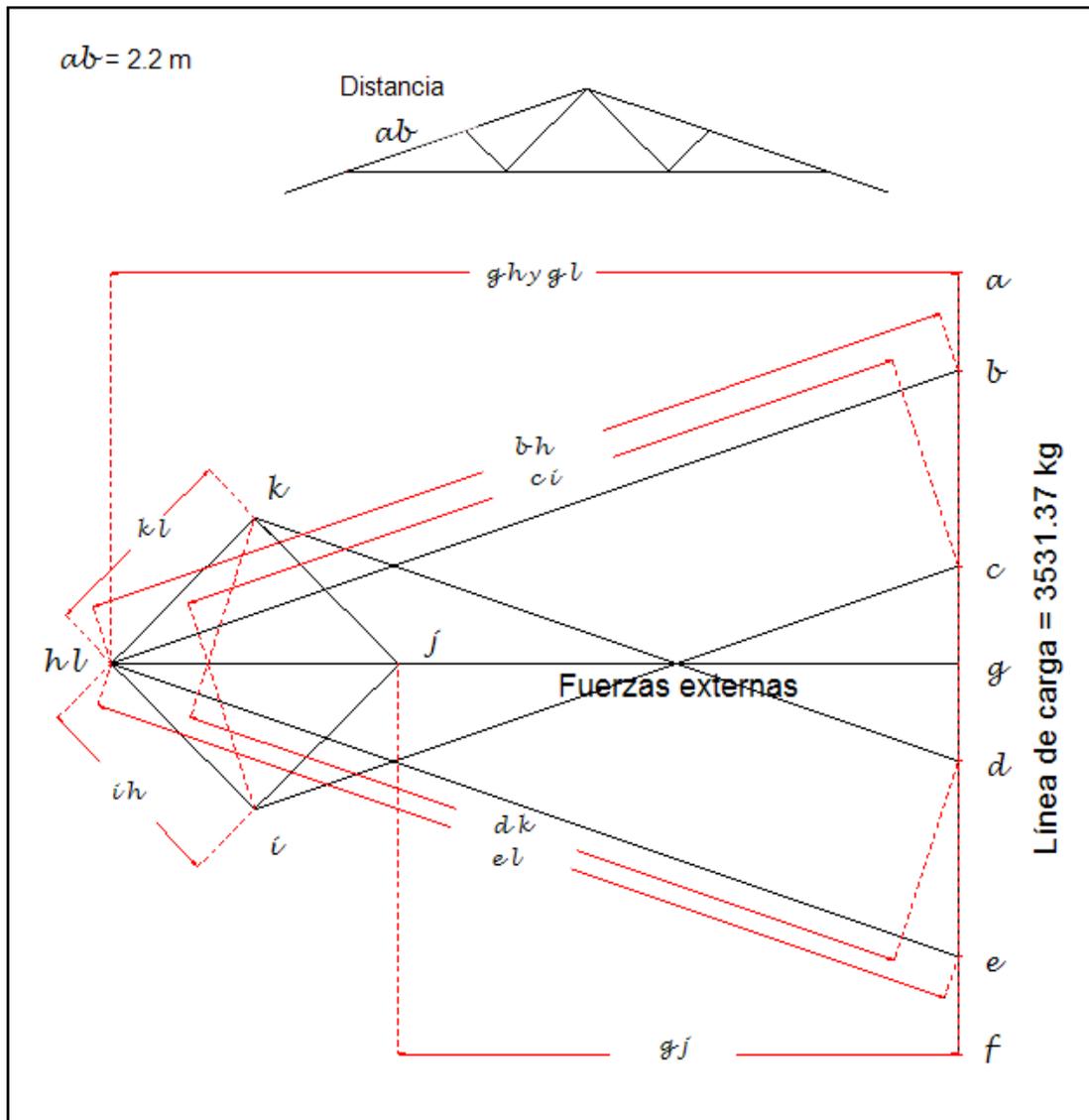


Figura 22. Gráfico del análisis del método geométrico.

4.5.3.2. Método algebraico

Siguiendo la metodología de Alcalá y Camacho (s/f), el cálculo de los esfuerzos se realizaron de la siguiente manera (los resultados de los esfuerzos están indicados en el Cuadro 23):

Datos:

Peso total del techo (Carga muerta) = 3531.37 kg

Claro de la armadura = 8.5640 m

Altura de la armadura = 1.4273 m

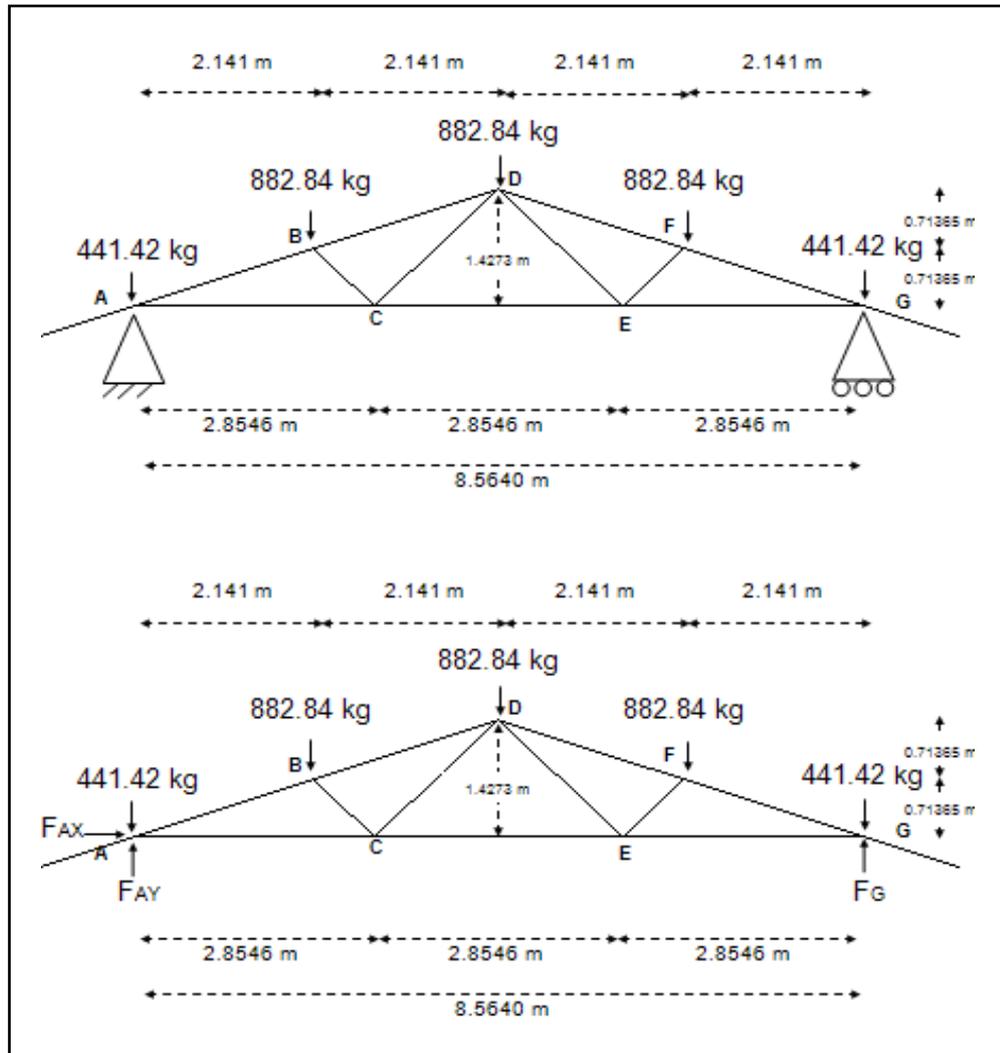


Figura 23. Diagramas para la determinación de la fuerza en cada miembro de la armadura Fink.

Para obtener las reacciones F_G y F_Y , se aplicó el momento en A:

$$\curvearrowright \Sigma M_A = 0$$

$$- 882.84 \text{ kg} (2.141 \text{ m} + (2.141 \text{ m} + 2.141 \text{ m}) + (2.141 \text{ m} + 2.141 \text{ m} + 2.141 \text{ m})) - 441.42 \text{ kg} (8.5640 \text{ m}) + F_G (8.5640 \text{ m}) = 0$$

$$- 882.84 \text{ kg} (2.141 \text{ m} + (2.141 \text{ m} + 2.141 \text{ m}) + (2.141 \text{ m} + 2.141 \text{ m} + 2.141 \text{ m})) - 441.42 \text{ kg} (8.5640 \text{ m}) + F_G (8.5640 \text{ m}) = 0$$

$$- 882.84 \text{ kg} (2.141 \text{ m} + 4.282 \text{ m} + 6.423 \text{ m}) - 3780.32 \text{ kg}\cdot\text{m} + F_G (8.5640 \text{ m}) = 0$$

$$- 882.84 \text{ kg} (12.846 \text{ m}) - 3780.32 \text{ kg}\cdot\text{m} + F_G (8.5640 \text{ m}) = 0$$

$$F_G(8.5640 \text{ m}) = 882.84 \text{ kg} (12.846 \text{ m}) + 3780.32 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

$$F_G(8.5640 \text{ m}) = 882.84 \text{ kg} (12.846 \text{ m}) + 3780.32 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

$$F_G(8.5640 \text{ m}) = 11340.9 \text{ kg}\cdot\text{m} + 3780.32 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

$$F_G = 15121.28 \text{ kg}\cdot\text{m} / 8.5640 \text{ m} = 1765.68 \text{ kg}$$

$$F_G = 1765.68 \text{ kg}$$

$$+\uparrow \Sigma F_{AY} = 0$$

$$- 441.42 \text{ kg} - 882.84 \text{ kg} (3) - 441.42 \text{ kg} + (882.84 \text{ kg} + 882.84 \text{ kg}) + F_Y = 0$$

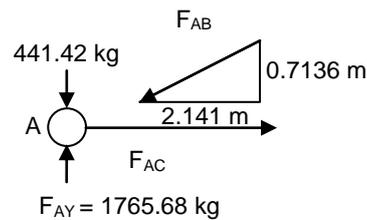
$$F_{AY} = 441.42 \text{ kg} + 882.84 \text{ kg} (3) + 441.42 \text{ kg} - (882.84 \text{ kg} + 882.84 \text{ kg}) = 1765.68 \text{ kg}$$

$$F_{AY} = 1765.68 \text{ kg}$$

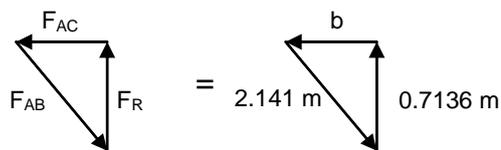
$$+\rightarrow \Sigma F_X = 0 \iff \Sigma F_{AY} = 0$$

$$\Sigma F_{AX} = 0$$

Se analizó el Nodo A para obtener $F_{AB} = F_{GF}$ Y $F_{AC} = F_{EG}$:



Se realizó un triangulo de fuerzas:



$$F_R = 1765.68 \text{ kg} - 441.42 \text{ kg} = 1324.26 \text{ kg}$$

Se utilizó el Teorema de Pitágoras para obtener b:

$$2.141 \text{ m} = \sqrt{0.7136^2 + b^2}, \text{ despejando, } b = 2.0185 \text{ m}$$

$$\frac{F_{AB}}{2.141 \text{ m}} = \frac{F_{AC}}{2.0185 \text{ m}} = \frac{F_R}{0.7136 \text{ m}}$$

$$\frac{F_{AB}}{2.141 \text{ m}} = \frac{F_{AC}}{2.0185 \text{ m}} = \frac{1324.26 \text{ kg}}{0.7136 \text{ m}}$$

$$\frac{F_{AB}}{2.141 \text{ m}} = \frac{F_{AC}}{2.0185 \text{ m}} = 1855.74 \text{ kg/m}$$

$$F_{AB} = 1855.74 \text{ kg/m} \times 2.141 \text{ m}$$

$$F_{AB} = 3973.15 \text{ kg } \underline{\underline{C}}$$

$$F_{AC} = 1855.74 \text{ kg/m} \times 2.0185 \text{ m}$$

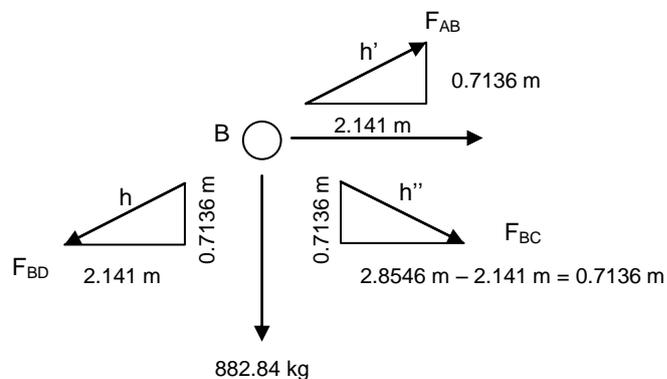
$$F_{AC} = 3745.57 \text{ kg } \underline{\underline{I}}$$

Por simetría:

$$F_{AB} = F_{GF} = 3973.15 \text{ kg } \underline{\underline{C}}$$

$$F_{AC} = F_{EG} = 3745.57 \text{ kg } \underline{\underline{I}}$$

Se analizó el Nudo B para obtener $F_{BD} = F_{DF}$ Y $F_{BC} = F_{EF}$:



Se utilizó el Teorema de Pitágoras para obtener h ; h' y h'' :

$$h = \sqrt{0.7136^2 + 2.141^2}, h = 2.2568 \text{ m}$$

$$h' = \sqrt{0.7136^2 + 2.141^2}, h' = 2.2568 \text{ m}$$

$$h'' = \sqrt{0.7136^2 + 0.7136^2}, h'' = 1.009 \text{ m}$$

$$\rightarrow + \Sigma F_x = 0$$

$$3973.15 \text{ kg} \left(\frac{2.141 \text{ m}}{2.2568 \text{ m}} \right) + F_{BC} \left(\frac{0.7136 \text{ m}}{1.009 \text{ m}} \right) - F_{BD} \left(\frac{2.141 \text{ m}}{2.2568 \text{ m}} \right) = 0$$

$$F_{BC} \left(\frac{0.7136 \text{ m}}{1.009 \text{ m}} \right) - F_{BD} \left(\frac{2.141 \text{ m}}{2.2568 \text{ m}} \right) = -3769.02 \text{ kg}$$

$$F_{BC} (0.7072) - F_{BD} (0.9486) = -3769.02 \text{ kg} \quad \text{Eq.1}$$

$$\uparrow + \Sigma F_y = 0$$

$$-882.84 \text{ kg} + -3769.02 \text{ kg} \left(\frac{0.7136 \text{ m}}{2.2568 \text{ m}} \right) - F_{BC} \left(\frac{0.7136 \text{ m}}{1.009 \text{ m}} \right) - F_{BD} \left(\frac{0.7136 \text{ m}}{2.2568 \text{ m}} \right) = 0$$

$$- F_{BC} \left(\frac{0.7136 \text{ m}}{1.009 \text{ m}} \right) - F_{BD} \left(\frac{0.7136 \text{ m}}{2.2568 \text{ m}} \right) = - 373.46 \text{ kg}$$

$$- F_{BC} (0.7072) - F_{BD} (0.3162) = - 373.46 \text{ kg} \quad \mathbf{Eq.2}$$

Se despejó **Eq.1** y **Eq.2** para dejarlas en función de **F_{BC}**:

$$F_{BC} (0.7072) = - 3769.02 \text{ kg} + F_{BD} (0.9486) \quad \mathbf{Eq.1'}$$

$$F_{BC} = \frac{- 3769.02 \text{ kg}}{0.7072} + F_{BD} \frac{0.9486}{0.7072}$$

$$F_{BC} = \frac{- 3769.02 \text{ kg}}{0.7072} + F_{BD} \frac{0.9486}{0.7072}$$

$$F_{BC} = - 5329.49 \text{ kg} + F_{BD} (1.34134)$$

$$- F_{BC} (0.7072) - F_{BD} (0.3162) = - 373.46 \text{ kg} \quad \mathbf{Eq.2'}$$

$$- F_{BC} (0.7072) = - 373.46 \text{ kg} + F_{BD} (0.3162)$$

$$- F_{BC} = \frac{- 373.46 \text{ kg}}{0.7072} + F_{BD} \frac{(0.3162)}{0.7072}$$

$$F_{BC} = 528.08 \text{ kg} - F_{BD} 0.447$$

Igualando ecuaciones **Eq.1'** y **Eq.2'**, se despejó **F_{BD}**:

$$- 5329.49 \text{ kg} + F_{BD} (1.34134) = 528.08 \text{ kg} - F_{BD} 0.447$$

$$F_{BD} (0.447) + F_{BD} (1.34134) = 528.08 \text{ kg} + 5329.49 \text{ kg}$$

$$F_{BD} (1.7883) = 5857.57 \text{ kg}$$

$$F_{BD} = \frac{5857.57 \text{ kg}}{1.7883}$$

$$\mathbf{F_{BD} = 3275.49 \text{ kg } \underline{C}}$$

Se sustituyó **F_{BD}** en **Eq.1** para obtener **F_{BC}**:

$$F_{BC} (0.7072) - F_{BD} (0.9486) = - 3769.02 \text{ kg}$$

$$F_{BC} (0.7072) - 3275.49 \text{ kg} (0.9486) = - 3769.02 \text{ kg}$$

$$F_{BC} (0.7072) = - 3769.02 \text{ kg} + 3107.12 \text{ kg}$$

$$F_{BC} = \frac{- 661.9 \text{ kg}}{0.7072}$$

$$F_{BC} = 935.94 \text{ kg}$$

$$\mathbf{F_{BC} = 935.94 \text{ kg } \underline{C}}$$

Por simetría

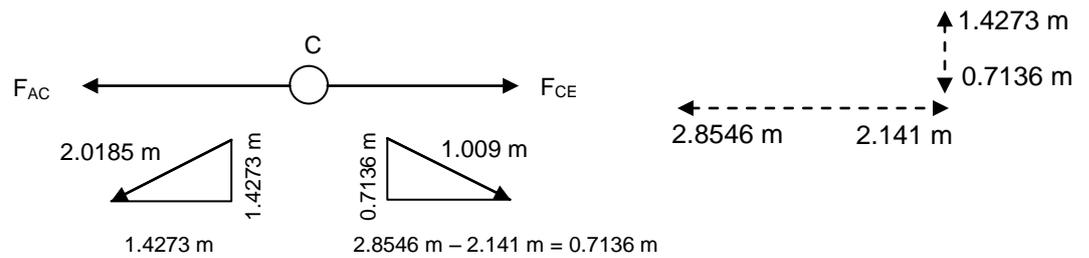
$$F_{BD} = F_{DF} = 3275.49 \text{ kg}$$

$$F_{BC} = F_{EF} = 935.94 \text{ kg}$$

$$F_{DF} = 3275.49 \text{ kg } \underline{\underline{C}}$$

$$F_{EF} = 935.94 \text{ kg } \underline{\underline{C}}$$

Se analizó el Nodo C para obtener $F_{CD} = F_{DE}$



$$2.8543 \text{ m} - 2.141 \text{ m} = 0.713 \text{ m}$$

$$0.7136 \text{ m} + 1.4273 \text{ m} = 2.14 \text{ m}$$

$$+\uparrow \Sigma F_Y = 0$$

$$- 935.94 \text{ kg} \left(\frac{0.7136 \text{ m}}{1.009 \text{ m}} \right) - F_{CD} \left(\frac{1.4273 \text{ m}}{2.0185 \text{ m}} \right) = 0$$

$$F_{CD} \left(\frac{1.4273 \text{ m}}{2.0185 \text{ m}} \right) = - 935.94 \text{ kg} \left(\frac{0.7136 \text{ m}}{1.009 \text{ m}} \right)$$

$$F_{CD}(0.7071) = - 935.94 \text{ kg} (0.7072)$$

$$F_{CD} = - 935.94 \text{ kg}$$

$$F_{CD} = 935.94 \text{ kg } \underline{\underline{I}}$$

Por simetría:

$$F_{CD} = F_{DE} = 935.94 \text{ kg } \underline{\underline{I}}$$

Cuadro 23. Esfuerzos de tensión y compresión para la Armadura Fink.

Segmento (Método gráfico)	Esfuerzo de los miembros (kg)	Segmento (Método analítico)	Esfuerzo de los miembros (kg)	Tipo de esfuerzo
BH	4195.49	F _{AB}	3972.88	C
CI	3485.63	F _{BD}	3275.14	C
HI	942.49	F _{BC}	935.94	C
IJ	942.49	F _{CD}	935.94	T
GH	3980.74	F _{AC}	3745.57	T
GJ	2632.62	F _{CE}	2477.09	T
GL	3980.74	F _{GE}	3745.57	T
JK	942.49	F _{DE}	935.94	T
KL	942.49	F _{EF}	935.94	C
DK	3485.63	F _{DF}	3275.14	C
EL	4195.49	F _{FG}	3972.88	C

La variación promedio de algunos valores fue de 200 kg.

El punto importante que se debe tomar en cuenta es que un miembro a compresión tiende a acortarse y resiste este acortamiento empujando contra los nudos en sus exteriores. Por otro lado, un miembro a tensión tiene a alargarse y resiste el alargamiento jalando de sus nudos extremos (Parker y Ambrose, 2012:187).

Estos cálculos sirven para conocer los tipos de esfuerzos que estarán sometidas las piezas que formen la armadura; también son útiles cuando se requiera el diseño de armaduras de gran envergadura en el que es fundamental conocer, con base en los esfuerzos, el diseño adecuado de cada una de las piezas que formarán la armadura.

4.5.4. Aleros frontales, traseros y armadura Fink

Los aleros, tienen dos funciones básicas; una de ellas es que proporcionan protección a los muros de la vivienda contra la intemperie; la otra función se considera estructural, ya que permite sostener la primera y última armadura al momento de la colocación de las piezas que conforman el techo.

Los aleros se diseñaron tomando en cuenta la información climática de Elizondo (2009) y siguiendo las recomendaciones de las ilustraciones presentadas en los manuales de American Softwoods (s/f b: 17), y CONAFOR (s/f a: 32-38).

Al colocar las armaduras en el techo, se debe considerar entre ellas, la separación de 61 cm entre centros, importante indicar que las armaduras se apoyarán en los extremos de la cuerda inferior sobre los muros de las fachadas laterales (paneles laterales); se recomienda sujetarlas con riostras de 1" x 4" (diagonales y longitudinales), las cuales servirán para mantenerlas en posición recta y facilite la construcción del techo.

De ser posible se recomiendan piezas largas (mayores a 8 pies) en las soleras inclinadas de las armaduras para darle un mayor soporte a las estructuras; de no ser así, se pueden utilizar piezas largas que se unan en cada articulación con cartelas de contrachapado, o en su caso con placas perforadas.

En las articulaciones de los nudos de las armaduras, se recomienda el uso de cartelas de tableros de contrachapado siempre y cuando se considere lo indicado en el Apéndice II de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Madera (NTC-DCEM, 2004:40).

La NTC-DCEM (2004), presenta las propiedades efectivas de la sección que pueden ser utilizadas en el diseño estructural con placas de madera contrachapada; en este caso se recomiendan cartelas de tableros contrachapados de 12 mm; estas pueden ser de UF.

Para un mejor apoyo de las armaduras sobre las soleras de cerramiento, se recomienda hacer una muesca en las soleras inclinadas de las armaduras, de tal forma que cuando las armaduras se coloquen encima de los paneles, quede asentada total y correctamente sobre la estructura de los muros.

Todas las piezas que estén en contacto con la intemperie, como el caso de los aleros, se deberán aplicar preservadores químicos, o según sea el caso, la aplicación de materiales que protejan la madera. En el apartado de *Preservación de la Madera y Acabados Superficiales*, se menciona a detalle esta información.

4.5.5. Diseño y colocación de la fascia

Fascia: moldura ancha y plana semejante a una cinta. Listón de madera que sirve de remate al alero de un techo (COFAN, 1999:458).

Esta pieza también servirá como soporte de las canaletas que recibirán el agua de lluvia, por lo que su colocación es muy importante. Se recomiendan piezas a un grosor de 1¹/₄" sujeta con clavos de 2". Para darle mayor soporte a dicha estructura, se recomienda colocar una doble pieza colocada paralelamente a la fascia principal. La función de la fascia, es muy parecida a la de los frisos los cuales rematan los entramados horizontales en su contorno perimetral.

Un cielo raso bien aislado y una adecuada ventilación conservarán las temperaturas bajas y evitarán filtraciones de humedad. Un método común para una buena ventilación es la instalación de ventilas tipo persiana o la colocación de rejillas en los aleros. El movimiento del aire depende principalmente del viento (COFAN, 1999:144).

Existe la posibilidad de que se concentre la humedad en el bajo techo, es decir, en la cámara que se forma entre las armaduras y los acabados del techo (tableros de yeso, tableros contrachapados, fieltro asfáltico, teja asfáltica y demás). De este modo se diseñaron algunas fascias para cumplir con la función de ventilas, las cuales se podrán retirar y colocar, de acuerdo al tipo de clima que predomine en el lugar de la vivienda.

4.5.6. Colocación de tableros en el techo

COFAN (1999), indica en el Cuadro 24, los espaciamientos admisibles comunes de madera contrachapada de acuerdo a diferentes grosores.

Cuadro 24. Espaciamientos admisibles para grosores comunes de madera contrachapada. Fuente: COFAN (1999:245).

Grosor (cm)	Espaciamiento entre apoyos (cm)
0.9	41
1.2	61
1.9	81

American Softwoods (s/f b: 7), presenta en el Cuadro 25 y 26, la información de uno de los materiales que más se utiliza en México para forro estructural como lo son los tableros contrachapados.

También se indica la separación adecuada entre pies derechos con relación al espesor y se indican las dimensiones de los clavos recomendados para diferentes grosores. Las características del clavado corresponden a las mismas recomendaciones mencionadas en el apartado *Diseño de Muros*.

Cuadro 25. Separación máxima entre viguetas para la colocación de tableros contrachapados (triplay). Fuente: American Softwoods (s/f b: 7).

Forro	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Separación ⁽¹⁾ (cm)
Contrachapado ("Triplay")	122.0	0.9	40.7
		1.2	61.0
		1.5	81.3

(1)Claros máximos definidos para una carga viva de 40 kg/m² y carga muerta de 120 kg/m².

Cuadro 26. Tipos y espesores para uso en cubiertas y recomendaciones para su clavado. Fuente: American Softwoods (s/f b: 7).

Tipo de Forro	Espesor real (cm)	Patrón de clavado
Contrachapado ("Triplay")	0.9 1.2 1.5	Clavos de 2" para espesores de 0.9 cm y de 2.5" para espesores mayores. Clavar a cada 15 cm en los bordes y a cada 30 cm en el interior del tablero.

Cuando la sección como diafragma no es significativa, los tableros se fijan con clavos de 2" ó 2¹/₂" espaciados a 15 cm en los bordes exteriores y, a 30 cm, en los apoyos interiores. Con este clavado se asegura una resistencia suficiente a la succión del viento. Cuando es necesario prever acción como diafragma o la acción de vientos con velocidades altas, se usan clavos de 2", 2¹/₂" ó 3" a separaciones de 7 a 15 cm, tanto en los bordes como en los apoyos interiores de los paneles (COFAN, 1999:245).

4.5.7. Puertas y ventanas

Se podría pensar que las dimensiones de puertas y ventanas son elementos los cuales se pueden diseñar a libre elección; sin embargo no es así, el diseño de estos elementos están regidos bajo las especificaciones del RCDF (2004).

El RCDF (2004:113), hace la siguiente recomendación, *“las dimensiones mínimas para puertas de acceso principal deberán tener un ancho mínimo de 90 cm; para habitación y cocina 75 cm, y una altura mínima de 2.10 m en los tres casos”*.

En el caso de las ventanas, el RCDF (2004:109), establece los siguientes requisitos mínimos de ventilación:

“Los locales habitables y las cocinas domésticas en edificaciones habitacionales, los locales habitables en edificios de alojamiento, los cuartos de encamados en hospitales y las aulas en edificaciones para educación elemental y media, tendrán ventilación natural por medio de ventanas que den directamente a la vía pública, terrazas, azoteas, superficies descubiertas, interiores o patios que satisfagan lo establecido en la literal G de este artículo. El área de aberturas de ventilación no será inferior al 5% del área del local.”

El diseño de las características de las ventanas para el proyecto, cumplen con la especificación anterior, indicado en el apartado *Diseño de Muros*, de acuerdo al porcentaje del área total del muro envolvente de cada local habitable o de servicio de acuerdo a la NMX-C-460-ONNCCE (2009).

El RCDF (2004), establece los siguientes requisitos mínimos de iluminación que deben cumplir las ventanas:

“Los locales habitables y las cocinas domésticas en edificaciones habitacionales, locales y cuartos para encamados en hospitales, tendrán iluminación diurna natural por medio de ventanas que den directamente a la vía pública, terrazas, azoteas, superficies descubiertas, interiores o patios que satisfagan lo establecido en la literal G de este artículo. El área de las ventanas no será inferior a los siguientes porcentajes, correspondientes a la superficie del local, para cada una de las orientaciones”:

- a) Norte: 15.0%
- b) Sur: 20.0 %
- c) Este y Oeste: 17.5%

Existen muchos modelos de puertas y ventanas así como diversas formas de diseñar y construir estos elementos, desde los métodos artesanales, hasta los métodos mecanizados y automatizados actualmente a gran escala.

Se propone construir las puertas y ventanas de manera sencilla, pero al mismo tiempo que den solución de cubrimiento a los vanos de una manera eficaz. La decisión de elegir cualquier otro tipo de diseño, debe justificarse con relación a la funcionalidad, resistencia a la intemperie y la aplicación de preservadores o materiales de protección ante el ataque de agentes destructores.

Puertas internas.- la función de las puertas internas es para permitir el acceso hacia los espacios diseñados en el interior de la vivienda. Las puertas internas de madera no se consideran de riesgo a la pudrición debido a que no se encuentran en contacto con altos contenidos de humedad como sería el caso de las externas; sin embargo la puerta que comunica al sanitario donde se encuentra la regadera, se debe proteger con acabados superficiales y debe tener una adecuada ventilación.

Puertas externas.- la principal función de las puertas externas, es para permitir el acceso al interior de la vivienda o viceversa y brindar seguridad y protección a los ocupantes. Se consideraron dos puertas externas: la puerta principal, y la puerta trasera que comunica hacia el cuarto de lavado de tipo “dos hojas”. Los marcos, molduras y madera en general debe considerarse su preservación de con sales CCA al estar en contacto con la intemperie.

COFAN (1999:280), indica que *“las ventanas de “resbalón”, consisten de un marco cuya parte inferior abate hacia afuera. Se recomienda que cuente con protección contra la lluvia cuando la hoja esté abierta”*; aunque en este caso ese inconveniente estará cubierto por el alero del techo.

4.5.8. Dimensiones de los clavos

En México los clavos más utilizados, en la construcción en general son de caña lisa, denominados clavo estándar (alambre delgado) con cabeza o clavo americano (alambre grueso) con cabeza. Dependiendo del tipo de

unión, algunas veces se deben clavar en dirección inclinada o clavo lancero, principalmente cuando no se pueda clavar en dirección paralela o perpendicular a la fibra en las piezas de madera por unir (COFAN, 1999:258).

COFAN (1999:258), proporciona las siguientes recomendaciones con respecto a la configuración de uniones clavadas:

- a) Las uniones deberán tener como mínimo dos clavos.
- b) La longitud de penetración, en el miembro principal deberá ser igual a por lo menos la mitad de la longitud del clavo.
- c) El grosor de la pieza lateral más delgada de la unión, deberá ser igual a por lo menos la sexta parte de la longitud del clavo. Cuando esta condición no se cumple, como en el caso de que la pieza lateral sea de madera contrachapada, se recomienda para cada espesor de contrachapado el tamaño del clavo mostrado en el Cuadro 15.
- d) Los espaciamientos entre clavos serán tales que se evite que la madera se agriete entre dos clavos próximos entre sí, o de cualquiera de los clavos a los bordes o a los extremos de la unión, estos espaciamientos dependen de factores tales como: mano de obra, especie y características de la madera, dimensiones de las piezas, el uso de perforaciones previas al clavado, etc.,

COFAN (1999:260), señala en el Cuadro 27, las recomendaciones del Código Uniforme de Construcción (UBC) sobre el número de clavos a utilizar y la forma de clavado para unir diversos elementos de madera en una vivienda de madera.

Cuadro 27. Recomendaciones de clavado del Código Uniforme de Construcción (ICBO, 1991). Fuente: COFAN (1999:262).

CONEXIÓN	CLAVADO ⁽¹⁾
Vigueta a solera de desplante o viga, clavo lancero	3 – 2 ½ pulgadas
Riostras cruzadas a vigueta, clavo lancero en cada extremo	2 – 2 ½ pulgadas
Bajo-piso de 1 x 6 pulgadas o menor para cada viga, clavo en caras	2 – 2 ½ pulgadas
Bajo-piso de 1 x 8 pulgadas o mayor para cada viga, clavo en caras	2 – 2 ½ pulgadas
Bajo-piso de 2 pulgadas a larguero o viga, clavo invisible en caras	2 – 3 ½ pulgadas
Solera de asiento a vigueta o riostras, clavo en caras	3 ½ pulgadas a 40 cm
Solera superior a pie-derecho, clavo en extremo	2 – 3 ½ pulgadas
Pie derecho a solera de asiento	4 – 2 ½ pulgadas clavo lancero
Pies derechos dobles, clavo en caras	3 ½ pulgadas a 60 cm
Soleras superiores dobles, clavos en caras	3 ½ pulgadas a 40 cm
Soleras superiores, traslapes e intersecciones, clavo en caras	2 – 3 ½ pulgadas
Cabezal continuo, dos piezas	3 ½ pulgadas a 40 cm
Viguetas de plafón a solera, clavo lancero	3 – 2 ½ pulgadas
Cabezal continuo a pie derecho, clavo lancero	4 – 2 ½ pulgadas
Viguetas de plafón, traslapes sobre bastidores, clavo en caras	3 – 3 ½ pulgadas
Viguetas de plafón a vigas inclinadas en techo, clavo en caras	3 – 3 ½ pulgadas
Viga inclinada en techo a solera, clavo lancero	3 – 2 ½ pulgadas
Contraviento de 1 pulgada a cada pie derecho y solera, clavo en caras	2 – 2 ½ pulgadas
Forro de 1 x 8 pulgadas o menor, a cada soporte, clavo en caras	2 – 2 ½ pulgadas
Forro mayor de 1 x 8 pulgadas, a cada soporte, clavo en caras	3 – 2 ½ pulgadas
Pies derechos ensamblados en esquinas	3 ½ pulgadas a 60 cm
Vigas laminadas (compuestas)	4 pulgadas a 80 cm en bordes superior e inferior y alternados 2 – 4 pulgadas en los extremos y en cada empalme
Tablones de 2 pulgadas	2 – 3 ½ pulgadas
Madera contrachapada y aglomerada: Bajo-piso, techo y forro de bastidor (al armazón): 12 mm y menos 15 mm – 19 mm 22 mm – 25 mm 28 mm – 32 mm	2 pulgadas ⁽²⁾ 2 ½ pulgadas ⁽³⁾ o 2 pulgadas ⁽⁴⁾ 2 ½ pulgadas ⁽²⁾ 3 pulgadas ⁽³⁾ o 2 ½ pulgadas ⁽⁴⁾
Combinación de bajo-piso y piso (al armazón): 6 mm y menos 22 mm – 25 mm 28 mm – 32 mm	2 pulgadas ⁽⁴⁾ 2 ½ pulgadas ⁽⁴⁾ 3 pulgadas ⁽²⁾ o 2 ½ pulgadas ⁽⁴⁾
Tableros de forro (al armazón): 12 mm y menos 16 mm	2 pulgadas ⁽⁶⁾ 2 ½ pulgadas ⁽⁶⁾
Forro de tableros de fibra: 12 mm 20 mm	calibre n°.11 ⁽⁸⁾ 2 pulgadas ⁽³⁾ calibre n°.16 ⁽⁹⁾ calibre n°.11 ⁽⁸⁾ 2 ½ pulgadas ⁽³⁾ calibre n°.16 ⁽⁹⁾

Dónde:

- (1) Pueden usarse clavos comunes salvo donde se indique lo contrario.
- (2) Caña lisa o helicoidal o anular.
- (3) Caña lisa.
- (4) Caña helicoidal o anular.
- (5) Clavos espaciados a cada 15 cm de centro a centro en los cantos, 30 cm en los soportes intermedios, excepto 15 cm en todos los soportes donde los tramos son de 1.20 cm o más.
- (6) Clavos resistentes a la corrosión.
- (7) Conectores espaciados a 7.5 cm entre centros en los bordes exteriores y a 15 cm en los bordes intermedios.
- (8) Clavos para techos resistentes a la corrosión con diámetro de cabeza de $\frac{7}{16}$ pulgadas y longitud de 1.5 pulgadas para forro de 12 mm y 1.75 pulgadas para forro de 20 mm.
- (9) Grapas resistentes a la corrosión con corona de $\frac{7}{16}$ pulgadas y longitud de $1\frac{1}{8}$ pulgada para forro de 12 mm y longitud de $1\frac{1}{2}$ pulgada para forro de 20 mm.

Se recomienda en todo el armado de los paneles el uso de clavos de 3 pulgadas (CONAFOR, s/f b: 22).

4.6. Materiales Diversos

La transferencia de calor y humedad, el depósito de sustancias químicas mohosas y secas deficientes en el diseño y las imperfecciones, afectan el desempeño y durabilidad de las fachadas y su mantenimiento; en el diseño de buenos edificios para combatir el deterioro, es importante conocer las condiciones climáticas exteriores (Elizondo, 2009:12).

Lo anterior, establece una serie de condiciones que se deben tomar en cuenta para elegir adecuadamente el tipo de material que dará protección a la vivienda, es decir, conocer las características de los recubrimientos (tableros contrachapados, morteros, impermeabilizantes, preservadores, fieltros, tejas asfálticos, entre otros).

Las condiciones climáticas actuales (climas extremos), favorece en gran medida al deterioro de las viviendas, por lo que la adecuada orientación de la vivienda se considera la primera acción de protección.

También se debe considerar la importancia de los materiales retardantes del fuego, los que son resistentes a la humedad, los que se utilizan como aislamiento térmico y los de aislamiento acústico; los cuales se mencionan en el apartado de *Materiales Diversos*.

4.6.1. Características de los tableros contrachapados

En este apartado, se establecieron las condiciones generales que deben cumplir los tableros contrachapados a utilizar en el proyecto, para exteriores, interiores y en la cubierta del techo.

Existen diversos tableros en el mercado, tanto de madera de coníferas como de latifoliadas; para este caso en particular, se recomienda el uso de tableros contrachapados de madera de pino de producción nacional. Es importante mencionar que el uso de este tipo de tableros está justificado con base en las siguientes normas mexicanas,

- a) NMX-C-411-ONNCCE (1999); *“Especificaciones de Comportamiento para Tableros a Base de Madera de Uso Estructural”*
- b) NMX-C-438-ONNCCE (2014); *“Tableros Contrachapados de Madera de Pino y otras Coníferas – Clasificación y Especificaciones”*
- c) NMX-C-439-ONNCCE (2006); *“Tableros Contrachapados de Madera de Pino y otras Coníferas – Propiedades Físicas – Métodos de Ensayo”*
- d) NMX-C-440-ONNCCE (2006); *“Tableros de Contrachapados de Madera de Pino y otras Coníferas – Propiedades Mecánicas – Métodos de Ensayo”*

Para mostrar la utilidad que tienen las normas mexicanas aplicables a los tableros contrachapados estructurales, previamente en el apartado *Diseño de Muros*, se citó el estudio de Ordoñez (1995:37-50), el cual, parte de su metodología se basó en lo que actualmente es la NMX-C-411-ONNCCE (1999:16), apartado: *9.3 Cargas horizontales*.

En sus resultados, Ordoñez (1995:37-50), menciona que la madera contrachapada (9 mm y 12 mm) es adecuada para construir edificios, confirmando que puede absorber la energía suficiente frente a vientos o sismos.

La NMX-C-438-ONNCCE (2014:3), establece *“la denominación, clasificación y especificaciones que deben cumplir los tableros contrachapados elaborados con madera de pino y otras coníferas en su cara y trascara, que se fabrican y comercializan en la República Mexicana”*.

Establece además un sistema de clasificación para la calidad de las chapas, dimensiones de los tableros, adhesivos y características básicas que deben reunir los diferentes tipos de tableros contrachapados.

Para evaluar la calidad del tablero contrachapado y determinar si cumple con las especificaciones técnicas estandarizadas, Poblete (1990) y Zavala (1994b), indican que deben determinarse sus propiedades físicas y mecánicas. Las pruebas se realizan con base en la norma oficial mexicana (NMX), así como las correspondientes a la ASTM de la USA, DIN del Instituto de Normalización de Alemania o la APA de la Asociación Americana de Fabricantes de Tableros Contrachapados (Tamarit y López, 2007:44).

El tablero contrachapado se constituye generalmente de un número impar de chapas estando la dirección de la fibra de cada chapa en ángulos rectos a las adyacentes. La vista y la trascara y todas las capas numeradas en non, generalmente están orientadas con la dirección de la fibra paralela a la dimensión larga del tablero (Figura 24). Las chapas se unen con un adhesivo bajo presión para crear un tablero con unión adhesiva tan fuerte (resistente) o más que la madera (NMX-C-438-ONNCCE, 2014:4; NMX-C-439-ONNCCE, 2006:5).

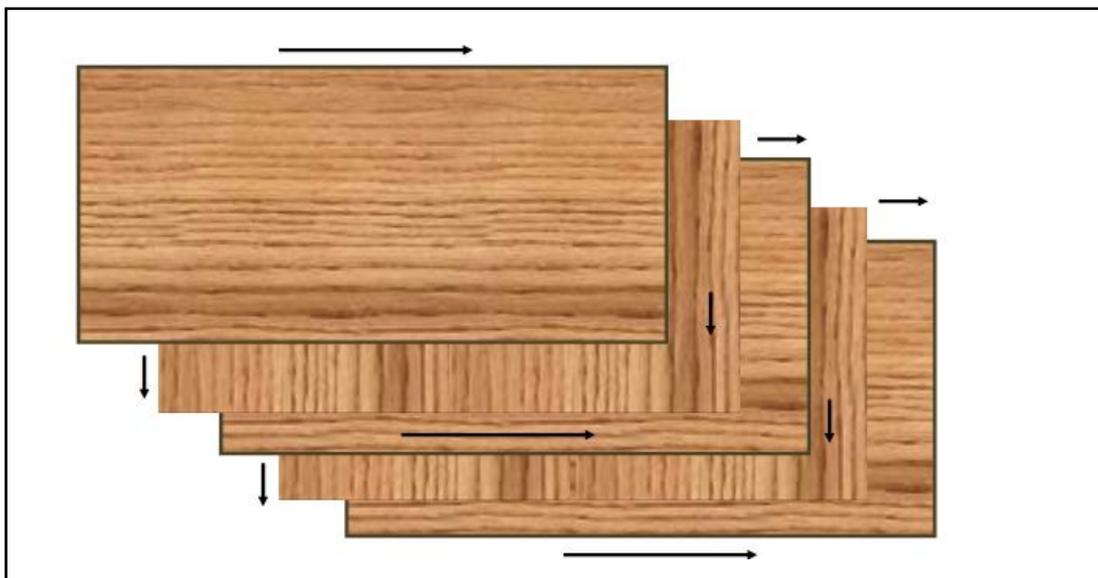


Figura 24. Orientación de las chapas “non” en la dirección de la fibra paralela a la dimensión larga del tablero.

Este arreglo de las chapas proporciona una alta estabilidad dimensional a los tableros contrachapados, manifestándose mínimamente los cambios dimensionales.

La NMX-C-438-ONNCCE (2014:4), clasifica a los tableros contrachapados con base en su resistencia a la exposición y en la calidad de sus chapas; dentro de cada clase, definida por la resistencia a la exposición, existe un número de clases de tableros basados en la clase de las chapas, mismas que se presentan en el Cuadro 28 y 29.

La NMX-C-438-ONNCCE (2014:4), clasifica a los tableros contrachapados, con base en su resistencia a la exposición para uso interior o exterior de la siguiente manera:

- a) Tableros para uso en interiores. Son los tableros contrachapados que se fabrican empleando resinas que no son resistentes a la humedad. Se dedican a usos interiores en los cuales no se requiere contar con resistencia a la exposición a la humedad.
- b) Tableros para uso en exteriores. Son los tableros contrachapados pegados con adhesivos resistentes al agua. Este tipo de tableros se fabrica para emplearse en la construcción y en usos industriales donde se requiere resistencia a la humedad.

Los adhesivos a usar son diferentes para aquellos tableros clasificados para interiores de aquellos clasificados para uso en exteriores. Para tableros de interiores se pueden usar resinas de urea-formaldehído (UF). Para tableros de uso en exteriores se aceptan solamente resinas de fenol-formaldehído (FF), resorcinol o mezclas de fenol-resorcinol. El tipo de adhesivo con el que se fabrique el tablero debe ir indicado en el sello del mismo (NMX-C-438-ONNCCE, 2014).

A continuación, se clasifican a los tableros de acuerdo a la resistencia a la humedad y al tipo de adhesivo utilizado:

- a) Interiores (Tipo I), resistentes a las variaciones normales de la humedad, fabricado con adhesivo urea-formaldehído, no sufre cambios en su forma y resistencia.
- b) Exteriores (Tipo II), resistente al agua y a la exposición moderada a la intemperie, fabricado con resinas de fenol-formaldehído.
- c) Marino (Tipo III), son a prueba de agua, y aptos para usos marinos y condiciones severas en contacto con la humedad, utilizan resinas 100% Fenólicas (Tamarit y López, 2007:41; COFAN, 1999:58).

La clasificación de contrachapados está definida de acuerdo a la calidad de las chapas usadas en su clasificación. Ésta se da bajo el criterio de la cantidad de nudos, huecos de nudos, bolsas de resina, manchas, rajaduras, aberturas, parches, entre otros (COFAN, 1999:56; NMX-C-438-ONNCCE, 2014:9).

Las chapas utilizadas para la fabricación de contrachapado de pino en México están definidas en cinco calidades indicadas con las letras: N, A, B, C y D, las cuales van de la mejor calidad "N", hasta la de más baja clasificación, "D", respectivamente.

Debido a la cantidad de información acerca de esta clasificación, se recomienda revisar a detalle la NMX-C-438-ONNCCE (2014), para entender la combinación en la clasificación de las chapas, tanto para tableros de uso interior como para tableros de uso exterior, las cuales se especifican en los Cuadros 28 y 29.

Cuadro 28. Combinaciones de chapas para tableros interiores*.
Fuente: NMX-C-438-ONNCCE (2014).

Combinaciones	Cara	Trascara	Chapas internas
NN	N	N	C
NA	N	A	C
NB	N	B	C
AA	A	A	D
AB	A	B	D
AC	A	C	D
AD	A	D	D
BB	B	B	D
BC	B	C	D
BD	B	D	D
CC	C	C	D
CD	C	D	D

Cuadro 29. Combinaciones de chapas para tableros exteriores*.
Fuente: NMX-C-438-ONNCCE (2014).

Combinaciones	Cara	Trascara	Chapas internas
AA	A	A	C
AB	A	B	C
AC	A	C	C
AD	A	D	C
BB	B	B	C
BC	B	C	C
CC	C	C	C

* Las literales corresponden a las clases de chapas definidas en el inciso 5.4. *Calidad de las chapas de la NMX-C-438-ONNCCE-2014.*

La NMX-C-438-ONNCCE (2014), indica en el Cuadro 30, las dimensiones nominales y tolerancias que deben cumplir los tableros contrachapados.

Cuadro 30. Dimensiones nominales y sus tolerancias. Fuente: NMX-C-438-ONNCCE (2014).

Dimensiones nominales (mm)		Tolerancias (mm)
Ancho:	760, 910, 1220	±1.5
Largo:	1830, 2140, 2440	±1.5
Grosor:	3, 6, 9, 12	±0.5
	16, 19, 25, 38	±1.0

4.6.2. Tableros opcionales

COFAN (1999:58), hace la siguiente recomendación en el caso de utilizar tableros de madera contrachapada estadounidense:

“los productos que portan el sello de la American Plywood Association (APA) son los que cumplen con un programa de supervisión de calidad y las pruebas de verificación establecidas por este organismo o con la norma Product Standard PS 1-83 for Construction and Industrial Plywood”.

En el Cuadro 31, se presenta la información resumida sobre las recomendaciones para su uso en la construcción la cual puede ser de gran ayuda para identificar (con base en la clase, espesor, y la calidad de las chapas) el servicio del tablero.

La clave de la columna de la clase presenta después de las siglas APA, dos letras que especifican las calidades de las chapas externas que tiene el tablero; para mayor información, aparte del uso de tableros estadounidenses, se recomienda revisar el MCELM de COFAN (1999), para el uso de tableros canadienses según sea el caso.

Cuadro 31. Tipos de contrachapados estadounidenses más comunes en la construcción. Fuente: COFAN (1999:59).

Clase	Espesores mm	Calidad de las Chapas	Aplicaciones recomendadas
APA A-C EXTERIOR	6, 8.5, 9.5, 12, 12.5, 15, 16, 18, 19	cara frontal : A	Usos al exterior en que importa el aspecto de una cara, como cornisas, vallas, cajas de camiones, establos, silos, señales de tráfico, almacenes frigoríficos, etc.
		capas inter.: C	
		cara trasera : C	
APA B-C EXTERIOR	6, 8.5, 9.5, 12, 12.5, 15, 16, 18, 19	cara frontal : B	Para usos agrícolas, granjas, cajas de camiones, contenedores, tanques, silos, cimbras, y como base para acabados exteriores u otras aplicaciones sujetas a humedad prolongada.
		capas inter.: C	
		cara trasera : C	
APA C-D FORRO EXPOSICIÓN 1	6, 8.5, 9.5, 12, 12.5, 15, 16, 18, 19	cara frontal : C	Para sistemas de piso, techumbres y muros. También se recomienda para canastillas, cajas, tarimas y otras aplicaciones industriales.
		capas inter.: D	
		cara trasera : D	
APA C-C FORRO EXTERIOR	6, 8.5, 9.5, 12, 12.5, 15, 16, 18, 19	cara frontal : C	Resistente 100% a la humedad, especial para pisos, muros y techos, y aplicaciones que estén permanentemente a la intemperie.
		capas inter.: C	
		cara trasera : C	
APA PISO PARA USO PESADO	15, 16, 18, 19, 28.5	cara frontal mejorada: A	Para usarse en sistemas de piso con cargas altas, donde se requiere alta resistencia a las cargas concentradas y de impacto. Se suministran si se requiere con machihembrado y lijados.
		capas inter.: C y D	
		cara trasera : C	
APA 303 RECUBRIMIENTO EXTERIOR	8.5, 9.5, 12, 12.5, 15, 16	cara frontal : C	Se puede utilizar en interiores y exteriores. Se suministra con una variedad amplia de acabados como: superficie rugosa (de aserrado), ranurado, cepillado, etc. se utiliza como revestimiento en muros, en techos, etc.
		capas inter.: C	
		cara trasera : C	

En la actualidad se cuenta con dos tipos de placas arriostrantes: el contrachapado estructural y la placa de OSB (Oriented Strand Board), mismos que ayudan en la resistencia del muro. Como consecuencia, las

diagonales estructurales y tensores metálicos han quedado en desuso (CORMA, 2004:125-221).

Los tableros de astillas orientadas (OSB), como su nombre lo indica, utilizan en su fabricación astillas orientadas y utilizan como adhesivo ceras y compuestos fenólicos (resistentes al agua). Se hacen arreglos de varias capas con astillas orientadas perpendicularmente entre sí, por lo que ésta configuración logra un tablero más homogéneo y estable dimensionalmente (CORMA, 2004:46; COFAN, 1999:62).

(CORMA, 2004:221), presenta algunas de las ventajas que presentan los tableros OSB utilizados en la construcción:

- a) Mayor eficacia estructural
- b) Una vez armado, el muro no presenta piezas mecánicamente debilitadas por uniones de corte a media madera entre los pies derechos y la diagonal estructural.
- c) Los muros arriostrados con este tipo de tableros han demostrado un mejor comportamiento al sismo.
- d) Potencia el diseño de arquitectura, tanto en la proyección de superficies, como en vanos de puertas y ventanas.
- e) Al no utilizar diagonales estructurales, se requiere la incorporación de solo una fila central o intermedia de transversales cortafuego.

Es importante mencionar que en el caso de los tableros de OSB, actualmente no existe una norma mexicana que pueda regular sus aplicaciones generales, sin embargo son muy utilizados en otros países que cuentan con amplia experiencia en la construcción con este material.

Para comprobar lo mencionado anteriormente, la NMX-C-461-ONNCCE (2010), *“Tableros de Partículas de Madera – Denominación, Clasificación y Especificaciones”*, indica lo siguiente:

“no aplican a los tableros de hojuelas, ni de virutas orientadas (OSB), ni a los mixtos de partículas de madera con otros materiales tampoco a los tableros que en vez de partículas, están fabricados con hojuelas o virutas de gran superficie”.

Sin embargo, se pueden utilizar sin ningún problema, ya que cuentan con el respaldo de países constructores como Estados Unidos, Canadá y Chile, los cuales, en diferentes manuales de construcción, resaltan las ventajas al utilizarlos como arriostramiento.

4.6.3. Impermeabilización

Previo a la colocación del fieltro asfáltico sobre los tableros contrachapados, varios autores recomiendan utilizar asfalto caliente (chapopote), pintura vinílica o cualquier otro tipo de material que impregne, penetre o forme una película protectora sobre la madera.

4.6.4. Fieltro asfáltico

COFAN (1999:245), indica que se pueden colocar de una a dos capas de fieltro asfáltico, dependiendo de la pendiente del techo con traslapes cada 10 ó 15 cm.

Actualmente la tendencia es utilizar membranas sintéticas llamadas freno de vapor altamente transpirables, y membranas sintéticas altamente transpirables reflectantes. Para su fijación se utilizan grapas metálicas y cintas adhesivas. Sus funciones son esencialmente garantizar la impermeabilidad durante la obra, la protección contra la lluvia en las fases de la construcción y la protección contra la radiación solar, respectivamente.

4.6.5. Teja asfáltica

Un recubrimiento con muy bajo peso son los denominados asfálticos mineralizados (tejas asfálticas). También son muy fáciles de colocar con altos rendimientos de mano de obra que los hacen muy atractivos para la construcción de grandes volúmenes (American Softwoods, s/f b: 8).

La teja asfáltica se encuentra entre los materiales más usados en el recubrimiento de techos. COFAN (1999:226), menciona que *“otros materiales de importancia son las tejas cerámicas, tejas de madera (tejamanil o tejas), planchas onduladas metálicas y/o de asbesto-cemento”*.

Las tejas asfálticas se fijan con clavos de cabeza ancha a la cubierta del techo, algunas tienen pegamento adherido en su parte inferior y son fáciles de colocar. Se recomienda iniciar su colocación sobre la parte más baja de la cubierta y seguir avanzando hacia arriba una vez terminada la fila inferior y traslapar una fila sobre la otra (CONAFOR, s/f b: 39).

Un aspecto a considerar en la colocación de las tejas asfálticas, es la longitud expuesta, que es igual a la longitud de las tejas menos el traslape (COFAN, 1999:247).

En el Cuadro 32, se presentan las características de la teja asfáltica que se propone para el proyecto.

Cuadro 32. Características de la teja asfáltica. Fuente: Owens Corning (2009).

Especificaciones técnicas	
Pendiente mínima	20%
Tamaño nominal	305 mm x 914 mm
Exposición	5" (12.7 cm)
Palometas por paquete	26 unidades
Peso por paquete	31 kg

4.6.6. Mortero

Mezcla de un conglomerado hidráulico con arena para unir elementos de construcción (ladrillos, bloques de concreto, etc.), y también para recubrimientos exteriores o interiores de muros. El cemento para albañilería tiene las aplicaciones de un mortero tradicional. Sin embargo, ofrece una mayor resistencia en relación a la cal, una mayor estabilidad química que evita manchas de salitre, brinda una gran uniformidad de color y mayor adhesividad y resistencia a la compresión (CEMEX, *s/f*: 21).

Para realizar el mortero, se recomienda una mezcla de cemento-arena de 1:5 (Ángeles, 2010:169; JUNAC, 1982:5-36).

En el Cuadro 33, se presentan las partes de mortero y arena (mezcla de mortero) de acuerdo al aplanado a utilizar en los muros. La ventaja del mortero es la aplicación de acabados como pinturas o texturas dependiendo del tratamiento que se dé al aplanado.

Cuadro 33. Proporcionamiento de mezcla de mortero. Fuente: CEMEX (*s/f*: 21).

Mortero (partes)	Arena (partes)	Aplicación
1+	1	Aplanados especiales
1+	2	Alta resistencia
1+	5	Aplanados
1+	6	Revestimientos ligeros

4.6.7. Materiales aislantes

A continuación, se mencionan las características más importantes que se deben considerar en la aplicación de materiales aislantes en la vivienda de madera, tales como los retardantes del fuego, los que son resistentes a la humedad evitando o favoreciendo la difusión del vapor de agua a través de los muros; el aislamiento térmico y el aislamiento acústico.

Al construir una vivienda con madera, la colocación de estos materiales depende del presupuesto del constructor, pero principalmente, si las características del clima y su funcionalidad lo justifican. Sin embargo, la aplicación de los materiales ignífugos siempre se deben considerar.

4.6.7.1. Resistencia al fuego

De acuerdo a la NMX-C-307/1-ONNCCE (2009:6), *“Resistencia al Fuego de Elementos y Componentes, Especificaciones y Métodos de Ensayo”*, hace la siguiente definición de resistencia al fuego:

“Resistencia al fuego, es la propiedad de un producto, recubrimiento, elemento o componente de construcción de soportar la exposición al fuego o dar protección contra él, se caracteriza por la dificultad de circunscribir un incendio o de continuar ejerciendo una función estructural determinada o ambas.”

Los componentes, elementos y productos resistentes al fuego se clasifican por el tiempo de resistencia al fuego directo en un horno de ensayo sin llegar al colapso y en función a su diseño y ubicación en las edificaciones de acuerdo a lo establecido en el Cuadro 34 (NMX-C-307/1-ONNCCE, 2009:6).

Cuadro 34. Clasificación de los componentes y elementos de construcción por resistencia al fuego. Fuente: NMX-C-307/1-ONNCCE (2009:7).

Clase resistente	Resistencia al fuego (en minutos)
R-30	30 mínimo
R-60	60 mínimo
R-120	120 mínimo
R-180	Más de 180

Los elementos estructurales de madera en la especificaciones, para cualquier grado de riesgo, deben protegerse por medio de tratamiento por inmersión desde su proceso de fabricación para cumplir con los tiempos de resistencia al fuego, en caso contrario pueden protegerse con placas o recubrimientos o refuerzos resistentes al fuego, debiendo cumplir con los valores especificados en el Cuadro 35 (NMX-C-307/1-ONNCCE, 2009:8).

(COFAN, 1999:97) indica que los elementos o componentes en la vivienda, deben tener la resistencia mínima al fuego (en minutos), de acuerdo al Cuadro 35.

Cuadro 35. Resistencia al fuego de componentes y materiales utilizados en la construcción de la vivienda. Fuente: COFAN (1999:97).

Componente	Tiempo
Tableros de yeso de 12.0 mm de espesor	15 minutos
Mortero de yeso y arena en proporción 1:2 con espesor de 2 cm sobre malla metálica	60 minutos

COFAN (1999:100), indica que en México, se conocen tres diferentes productos que de alguna forma evitan la ignición o bien actúan como agentes retardantes del fuego:

- a) Aditivos para pintura vinílica
- b) Aditivos para barnices (ambos se pueden aplicar con brocha o aspersión).
- c) Productos antinflama que se pueden aplicar directamente al material por medio de brocha, aspersión, inmersión o base de proceso a presión.

La resistencia que tienen algunos componentes y materiales que se usan en este tipo de construcción, como los tableros de yeso considerados para el bajo techo, son los indicados en el Cuadro 36.

Cuadro 36. Resistencia mínima al fuego (en minutos). Fuente: NMX-C-307/1-ONNCCE (2009:8).

Elementos o componentes	Tipo de edificación		
	Resistencia mínima al fuego (en minutos)		
	Riesgo bajo (Clase Resistente)	Riesgo medio (Clase Resistente)	Riesgo alto (Clase Resistente)
Muros de carga	60 (R-60)	120 (R-120)	180 (R-180)
Muros sin carga			
-Muros divisorios, cancelas de piso a techo fijados a la estructura	60 (R-60)	120 (R-120)	180 (R-180)
Entrepisos, cubiertas y techos	60 (R-60)	120 (R-120)	180 (R-180)
Productos que protejan o recubran a los elementos estructurales de madera	60 (R-60)	120 (R-120)	180 (R-180)
Plafones fijados a la estructura	60 (R-60)	60 (R-60)	120 (R-120)
Plafones y sus sistemas de sustentación	--	30 (R-30)	30 (R-30)
Entrepisos combustibles y revestimientos combustibles sobre lados no expuestos al fuego en muros y entrepisos	60 (R-60)	120 (R-120)	180 (R-180)

4.6.7.2. Retardantes de vapor

En lugares donde la temperatura en invierno se reduce notoriamente, la diferencia de temperaturas entre el lado cálido del interior de las estructuras al lado frío del exterior puede llegar a provocar que el vapor se condense y se acumule dentro de la estructura de los muros y de los techos. En lugares cálidos el problema se presenta a la inversa, pero a fin de cuentas el resultado es el mismo. Si la condensación se presenta de manera continua, la humedad puede llegar a causar deterioro en el interior de las estructuras (COFAN, 1999:127).

COFAN (1999:129), recomienda los siguientes materiales como retardantes de vapor:

- a) Polietileno
- b) Cartón asfáltico, generalmente se coloca en muros antes de colocar el forro exterior
- c) Laminado, este papel es poco conocido en México, tipo película pero se ha llegado a utilizar en el norte de la república.

La primera acción de protección ante el problema de la condensación dentro de los muros, es contar con una adecuada ventilación en toda la vivienda.

4.6.7.3. Aislamiento Térmico

Se recomienda que en climas cálidos, se debe proporcionar la ventilación cruzada en las habitaciones, las fachadas se deben pintar de color blanco y diseñar adecuadamente la protección de las ventanas por medio de los aleros. Por otro lado, en climas templados y fríos, se recomienda pintar con colores oscuros (COFAN, 1999:131).

La aplicación del aislamiento térmico está en función del lugar donde se ubique la construcción de la vivienda. El material aislante en el proyecto de la vivienda, se recomienda que se coloque entre el espacio de los pies derechos junto con el retardante de vapor. En el caso de las ventanas, se puede utilizar una doble capa de vidrios como material aislante.

COFAN (1999:138), recomienda los siguientes materiales como aislantes térmicos que se pueden conseguir en México:

- a) Fibra mineral
- b) Fibra de vidrio
- c) Tableros de fibra de madera
- d) Tableros de poliestireno
- e) Espuma de poliuretano

4.6.7.4. Aislamiento acústico

La madera por su composición fibrosa, de elementos tubiformes, resulta ser un gran absorbente de ondas sonoras, pero por su ligereza es menos efectiva para bloquear la transmisión del sonido. Aquellos materiales que están constituidos por membranas o tableros reflexivos, absorben las frecuencias graves y en el caso de que las placas sean más gruesas y pesadas y mayor sea su distancia al muro, ésta absorberá las frecuencias más graves (COFAN, 1999:139).

En el caso de materiales perforados o que sean tableros de fibras minerales comprimidas situadas a una cierta distancia de la pared, trabajan como elementos resonadores que absorben las frecuencias intermedias. Materiales porosos a base de fibras, como la lana mineral, fibra de vidrio y tableros de fibra de madera de poca densidad se pueden utilizar para absorber frecuencias agudas. También se pueden utilizar la combinación de varios tipos de materiales para absorber frecuencias graves, medianas y agudas (COFAN, 1999:139).

4.7. Preservación de la Madera y Acabados Superficiales

La importancia de tratar las piezas de madera con preservadores, radica en que la madera es un material orgánico y es degradada tanto por factores bióticos como abióticos. En este apartado se considera de mayor importancia la preservación principalmente para las piezas que estarán más cercanas al suelo, como lo es la solera de desplante; lo anterior debido a la posibilidad de ataque de organismos destructores como los hongos e insectos, sin embargo es recomendable que toda la madera de la vivienda sea tratada con preservadores.

También más adelante, se menciona la protección para la madera en exteriores como lo son las fascias y las piezas que estarán en contacto directo con la intemperie; asimismo, se indica la protección para las piezas interiores como las armaduras, riostras entre otras las cuales se debe considerar su tratamiento. Al recomendar la preservación de toda la madera de la vivienda, la decisión dependerá de los costos de preservación.

En el caso de los acabados, éstos pueden ser aplicados en exteriores o interiores, cada uno, cumpliendo una función específica. En el apartado de *Acabados superficiales de protección*, se menciona precisamente la acción que tienen los acabados sobre la superficie de la madera, del cual se dividen en dos tipos: los que penetran (anclan en los poros de la madera); y los que forman película, los cuales se fijan someramente.

Debido a que el tema de preservación en la construcción es muy amplio, a continuación se detallarán solo los aspectos más importantes que tienen que ver con la preservación de la madera a utilizar en la obra. Se mencionarán varios conceptos que servirán para comprender las especificaciones que debe cumplir la madera de pino así como el tipo de preservador ideal para la vivienda.

4.7.1. Preservación de la madera

La mayor parte de la información referida en este apartado, está basada en las siguientes normas, por lo que para mayor información se recomienda revisarlas a detalle:

- a) NMX-C-178-ONNCCE (2014), Preservadores para Madera – Clasificación y Requisitos”
- b) NMX-C-322-ONNCCE (2014), Madera Preservada a Presión – Clasificación y Requisitos”
- c) NMX-C-410-ONNCCE (1999), Vivienda de Madera – Retención y Penetración de Sustancias Preservadoras en Madera – Método de Prueba”
- d) NMX-C-419-ONNCCE (2014), Preservación de Maderas – Terminología”

El preservador es un producto o mezcla de sustancias químicas científicamente dosificadas y normalizadas de efectividad comprobada para ser aplicada a la madera, con el objeto de protegerla contra el ataque de organismos destructores (hongos e insectos), y prolongar la vida útil de la

misma. Se distinguen tres tipos de preservadores: hidrosolubles, oleosolubles y creosotas (NMX-C-419-ONNCCE, 2014:12).

Si una madera no está preservada, su protección ante los agentes destructores estará provista inicialmente por las características de su durabilidad natural.

Cabe mencionar que la durabilidad de las maderas es diferente, tanto en madera de coníferas como el caso de madera de latifoliadas, debido principalmente a la mayor cantidad de compuestos químicos naturales situados en el duramen de las latifoliadas, mismas que le proporcionan una mayor protección contra los agentes bióticos.

Contrariamente a las latifoliadas, las coníferas contienen una menor proporción de duramen y una mayor proporción de albura, misma que es más susceptible al ataque de agentes de deterioro por lo que su preservación se considera aún más importante. En la Figura 25, se puede observar la proporción de albura y duramen en tres trozas de diferente especie y su tasa de crecimiento.

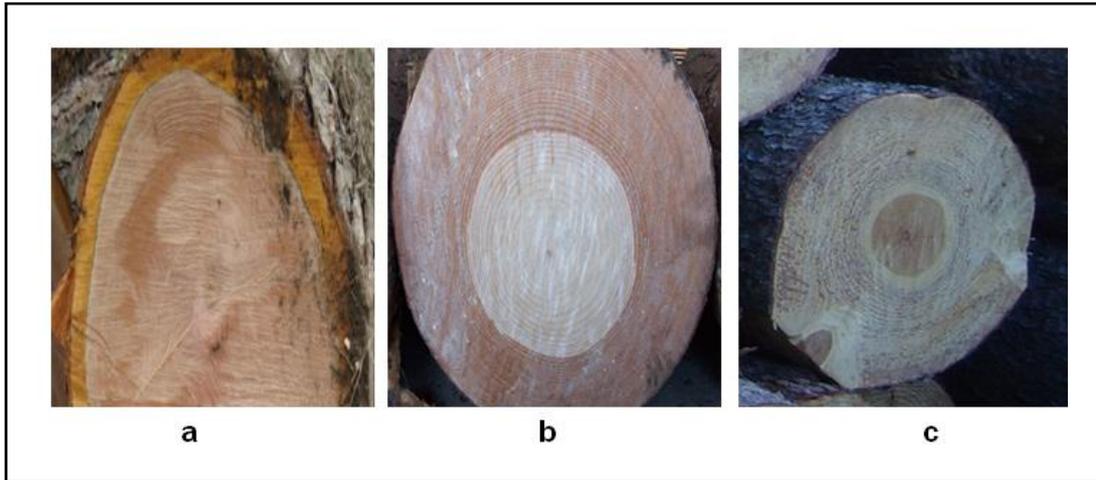


Figura 25. Proporción de albura y duramen en tres trozas de diferente especie y tasa de crecimiento: a) 95% de duramen; b) 50% de duramen; c) 15% de duramen (madera de pino). Fuente: Espinosa *et al.*, (2010).

Las siguientes definiciones, con base en la NMX-C-419-ONNCCE (2014:4-7); reafirmarán los conceptos mencionados anteriormente.

- a) Albura: madera que conforma la parte clara de la parte externa del fuste del árbol en pie, inmediatamente después de la corteza, formada por células que mantienen su función conductora del agua. En todas las especies es susceptible al ataque de microorganismos cuando mantiene un alto contenido de humedad, a diferencia del duramen o parte de madera interna y generalmente oscura.

- b) Duramen: madera que conforma la parte generalmente oscura central del fuste del árbol en pie, formada por células que ya no conducen el agua y que contienen mayor cantidad de extractivos incrustados, tanto en los lúmenes como en la pared celular, imprimiéndole a este tipo de madera una menor permeabilidad pero mayor resistencia al biodeterioro, en comparación con la albura o madera externa.

A mayor contenido de sustancias extraíbles, mayor durabilidad natural de una madera. Por ejemplo una madera de pino que contenga mayor cantidad de resina que otro, durará más (CONAFOR, s/f a: 20).

La durabilidad natural es la resistencia intrínseca de la madera frente a degradaciones de los agentes destructores de la madera (Peraza, 2001:64).

Cuando una madera se encuentra en servicio en contacto con el suelo sin la aplicación de un preservador, ésta se debe clasificar de acuerdo a la presencia, ausencia o indicios de haber sido atacada por agentes destructores, con relación a los años que ha estado en servicio.

Cabe indicar que generalmente la durabilidad de madera de coníferas (en este caso la madera de pino), es menor que la madera de latifoliadas, razón por la cual se recomienda su preservación para ampliar los años de servicio y poder incluirla en una clasificación mayor.

Según Chudnoff (1984), citado por COFAN (1999:70), en el Cuadro 37, se presenta la clasificación de durabilidad natural de las maderas en contacto con el suelo de acuerdo con los años de servicio.

Cuadro 37. Clasificación de durabilidad natural de las maderas en contacto con el suelo (Chudnoff, 1984). Fuente: COFAN (1999:70).

Clasificación	Años de servicio
Muy durable	>25 años
Durable	15-25
Moderadamente durable	10-15
No durable	5-10
Muy susceptible	<5

COFAN (1999:74), presenta en el Cuadro 38, los índices de resistencia natural de madera de pino al ataque de termitas de madera seca y su clasificación con relación a la durabilidad natural y permeabilidad; esta última se considera como un indicador para conocer la facilidad de penetración del preservador en la madera (para conocer los índices para madera de latifoliadas, se recomienda revisar a detalle el cuadro original del autor).

Cuadro 38. Índices de resistencia natural, durabilidad y permeabilidad de madera de pino. Fuente: COFAN (1999:70).

Especie	Nombre Común	Resistencia⁽¹⁾		Durabilidad⁽¹⁾ natural	Permeabilidad⁽²⁾
		Termitas de madera seca	Hongos de pudrición		
Pinus spp.	Pino	M	--	B	MP

Donde: ⁽¹⁾ B = no resistente a poco resistente

M = moderadamente resistente

A = muy resistente

⁽²⁾ P = permeable

MP = moderadamente permeable

NP = no permeable

Los agentes bióticos considerados importantes, y que pueden influir en la destrucción e inhabilitamiento de la solera de desplante en la madera de pino, son los hongos xilófagos (podrición café o parda) y el ataque de diferentes insectos, principalmente las termitas de madera seca y subterráneas.

Se considera que las termitas, dentro de los insectos, son el grupo que causa el daño más severo a las estructuras de madera mal protegidas (COFAN, 1999:72).

Pérez & Echenique (1982), citado por COFAN (1994:77), presentan los mapas de México con las zonas de riesgo al ataque por termitas de madera seca y subterráneas (Figura 26).

La información incluida en los mapas, servirá para ubicar las zonas consideradas de riesgo en la República Mexicana del lugar donde se construirá la vivienda y por consiguiente se deberán tomar las medidas necesarias para la preservación de la madera.

La Figura 27, muestra las zonas de riesgo a la podrición para madera no impregnada con preservadores dentro del territorio nacional. Los niveles de riesgo alto, medio y mínimo, guardan correspondencia con el clima prevaeciente en cada lugar (COFAN, 1994:73).

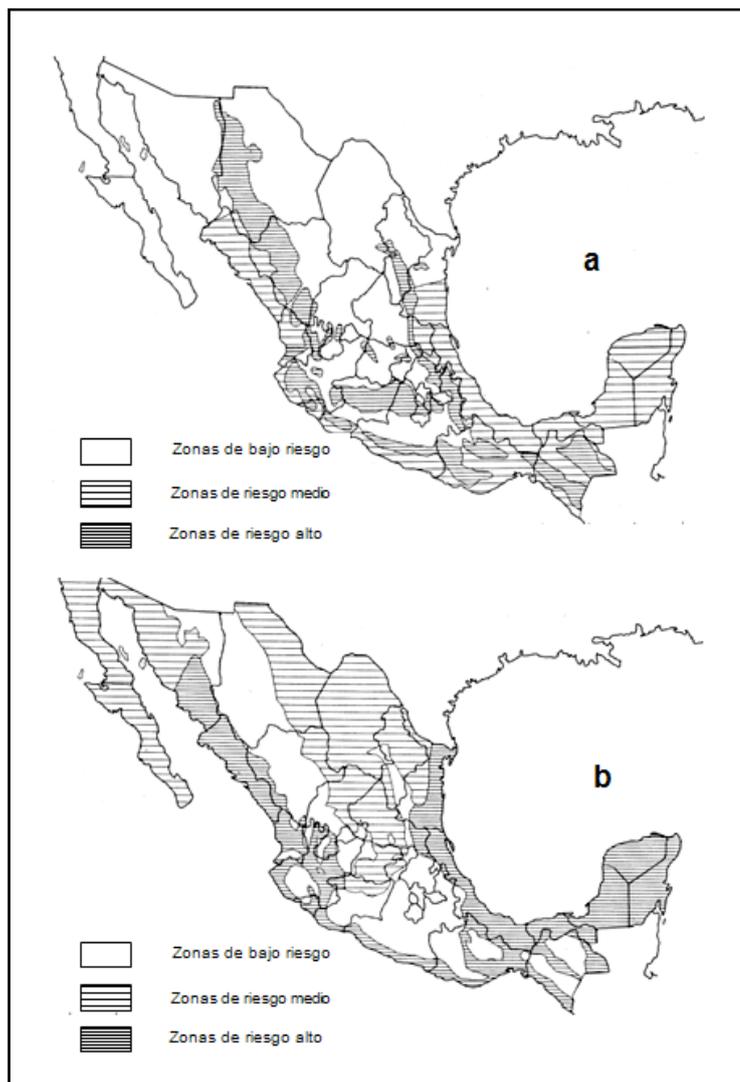


Figura 26. a) Zonas de riesgo por ataque de termitas de madera seca en México; b) Zonas de riesgo por ataque de termitas subterráneas en México (Pérez y Echenique, 1982). Fuente: COFAN (1994:76-77)

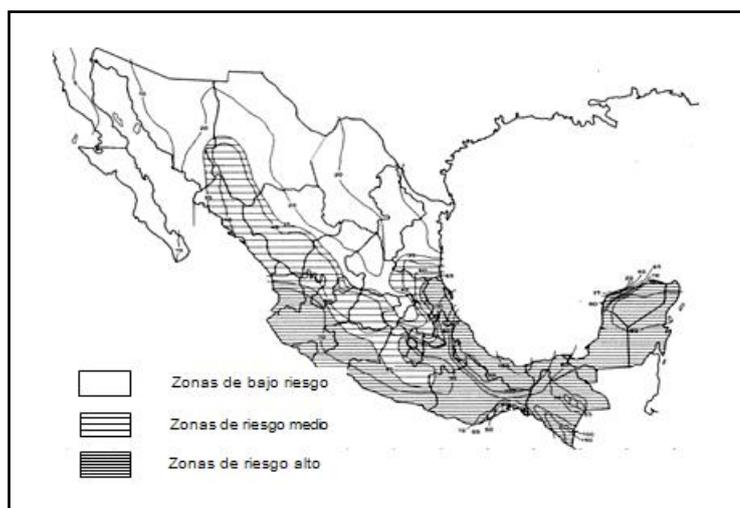


Figura 27. Zonas de riesgo por pudrición en México (Pérez et al., 1977). Fuente: COFAN (1994:74).

Pérez y Echenique (1982), citado por COFAN (1999:77), hacen la mención acerca de los niveles de riesgo para las termitas de madera seca y subterráneas:

Para las termitas de madera seca los niveles de riesgo son determinados de la siguiente manera:

Zona de riesgo alto: aquellas donde es posible que ocurra un daño severo en los elementos estructurales, así como en los marcos las puertas y ventanas, en un periodo comprendido entre los 5 y 10 años de servicio. La ocurrencia del daño puede estar generalizada en los edificios de la localidad.

Zona de riesgo medio: aquellas donde pueden ocurrir daños severos a partir de los 10 años de servicio de la estructura. La ocurrencia del daño no es común en la localidad, sino mas bien esporádicos.

Zona de riesgo bajo: aquellas donde, en lo general, no se presenta el daño en estructuras, sino que cuando se detecta, es en edificios con más de 25 años de antigüedad y el daño no es severo (no pone en peligro la integridad estructural).

Para el caso de termitas subterráneas, los niveles de riesgo de ataque a estructuras de madera se determinan como sigue:

Zona de riesgo alto: aquellas donde es posible que el ataque sea generalizado en la localidad, afectando no solo los elementos estructurales adyacentes al suelo, sino incluso los situados a alturas superiores a los 60 cm. El daño es severo en las estructuras antes de los 5 años.

Zona de riesgo medio: aquellas donde el daño causado no es tan generalizado en la localidad, sino que está restringido a los elementos adjuntos al suelo (a menos de 60 cm). El daño severo se presenta en edificios con más de 5 años de construidos.

Zonas de riesgo bajo: aquellas donde no se afecta este tipo de daño en los edificios, y en casos excepcionales, el daño se limita a los elementos en contacto con el suelo y en edificios con más de 20 años de servicio.

Es importante mencionar que existen insectos que atacan la madera cuando se encuentra seca (15 a 20% de CH), generalmente atacan madera de latifoliadas, aunque algunos como los anóbidos, atacan la madera de las coníferas tanto la albura. Cabe mencionar que las larvas son las que atacan la madera haciendo galerías muy pequeñas en la madera.

Los anóbidos, son de tamaño pequeño, oscilando entre los 2.5 mm y 8 mm. Su característica es que atacan maderas muy secas y viejas ($CH < 15\%$) y los daños más importantes en la construcción, los producen en vigas y columnas de madera. El ciclo biológico de los anóbidos está regido por el CH, la presencia de albura y el grado de pudrición de la madera, así como también de la temperatura del lugar. Atacan tanto a coníferas como a latifoliadas y aunque prefieren madera de albura (cuestión de riesgo en la madera de pino), también atacan el duramen (JUNAC, 1988:1-53).

Se recomienda que toda la madera que se utilice en la construcción sea preservada con sales CCA por métodos de presión o vacío, o principalmente la madera que esté en contacto con el cemento, o en lugares con humedad como el sanitario, entre otros (CONAFOR, *s/f* b; CORMA, 2004; COFAN, 1999).

Los arsenatos cromatados de cobre comúnmente denominados sales CCA, se especifican en tres tipos que difieren en las proporciones de sus elementos activos, comercialmente se distribuyen en forma de concentrados listos para ser diluidos con agua, son inodoras, no corroen a los metales y son químicamente estables a temperatura ambiente. La madera tratada con este tipo de sales no mancha telas ni alimentos, tiene una resistencia eléctrica alta y puede ser pintada sin necesidad de selladores (COFAN, 1999:81).

COFAN (1999:82), presenta en el Cuadro 39, un concentrado de la información conocida acerca de la efectividad de los diferentes preservadores contra los organismos destructores de la madera, de entre ellos las sales CCA.

Cuadro 39. Efectividad del preservador contra el agente que deteriora la madera. Fuente: COFAN (1999:82).

Preservador	Hongo s	Termitas	Escarabajos	Taladradores marinos	Riesgo a seres humanos
CREOSOTA	X ⁽¹⁾	X	X	X	MT ⁽³⁾
PENTAFLOROFENOL	X	X	X		AT ⁽³⁾
NAFTANATO DE COBRE	X				LT ⁽³⁾
QUINOLINOLANATO 8 DE COBRE	X				LT
OXIDO DE TERBUTIL DE ESTAÑO	X	X	X	X	MT
SALES ACC ⁽²⁾	X	X	X		LT
SALES CCA	X	X	X		
SALES ACA ⁽²⁾	X	X			MT
SALES CZC	X				
SALES FCAP ⁽²⁾	X				AT
COMPUESTOS DEL BORO	X	X			LT

Donde: ⁽¹⁾ Significa que el preservador es efectivo contra ese organismo

⁽²⁾ La toxicidad de las sales hidrosolubles se tomó de acuerdo al elemento que interviene: Sales ACC, Cobre

 Sales ACA, Cromo

 Sales FCAP, Arsénico

⁽³⁾ AT = Altamente Tóxico

 MT = Moderadamente Tóxico

 LT = Ligeramente Tóxico

La NMX-C-410-ONNCCE (1999:5), indica que *“los productos de madera preservada, se clasifican según su uso y riesgo esperado en servicio como se especifica en el Cuadro 40”*.

Cuadro 40. Clasificación de las maderas según su uso y riesgo esperado en servicio. Fuente: NMX-C-410-ONNCCE (1999:5).

Grado de riesgo	Descripción de uso	Ejemplos
Bajo	Madera aserrada y terciada, usada en interiores sobre el suelo a una altura mayor de 20 cm y en ambiente ventilado	Elementos estructurales (vigas, largueros, columnas), plafones y revestimiento.
Medio	Madera en exteriores, en contacto con el suelo y en ambientes mal ventilados. Madera en interiores a menos de 20 cm del suelo.	Pies derechos, envigados de pisos, revestimientos y pisos de baño, cocinas y terrazas. Revestimientos y elementos exteriores, recubrimiento de techos marcos de puertas y ventanas exteriores, escaleras.
Alto	Madera aserrada o en rollo, enterrada o hincada en el terreno y soportes estructurales aéreos en exteriores.	Postes y apoyos para edificios.

Tomando como base la *Descripción de uso*, indicado en el Cuadro 40, la solera de desplante y los pies derechos, se consideraron en un grado de riesgo “Medio”.

Establecido el riesgo esperado en servicio de los productos de madera preservada (“Medio”) y el tipo de preservador (“Sales CCA”), fue necesario conocer los niveles de riesgo al biodeterioro en que se clasifica la madera, según el tipo y condiciones de servicio (uso) de acuerdo al Cuadro 41, proporcionado por la NMX-C-322-ONNCCE (2014:3).

Cuadro 41. Clasificación de las maderas según su uso y niveles de riesgo esperado en servicio. Fuente: NMX-C-322-ONNCCE (2014:3).

Niveles de riesgo	Clasificación	Condición de uso	Ejemplos
R1	Madera en interiores, ambiente seco y ventilado.	Continuamente protegida contra el intemperismo o de cualquier fuente de humedad.	Muebles de interiores, puertas interiores, escaleras, pasamanos.
R2	Madera en interiores, mal ventilada, sujeta a posibles fuentes de humedad, o en exteriores pero bajo cubierta.	Expuesta a variaciones de humedad, pero no expuesta a la lluvia. De uso no estructural.	Pisos, pies derechos , muebles de cocina, sótanos, marcos de puertas y ventanas, lambrín.
R3	Madera en exteriores, de uso estructural, expuesta a la humedad.	Expuesta a variaciones climáticas y a la lluvia de manera cíclica.	Postes, postes de transmisión, crucetas, pisos de terrazas, madera estructural, vigas, armaduras, columnas de portales, tarimas, plataformas de vehículos, techos.
R4	Madera en exteriores, en contacto con la tierra o con agua dulce.	Madera expuesta a variaciones climáticas y al agua continuamente	Cimientos, pilotes para minas, torres de enfriamiento, techos.
R5	Madera en contacto con el agua salada o salobre.	Madera expuesta al agua salada	Muelles marítimos, pilotes marinos, represas, embarcaciones, plataformas marinas.

La solera de desplante se consideró de acuerdo a su clasificación y a la condición de uso en el nivel de riesgo “R2” del Cuadro 41.

Tomando en cuenta el riesgo esperado en servicio de los productos de madera preservada (“Medio”), el tipo de preservador (“Sales CCA”), y los niveles de riesgo al biodeterioro en que se clasifica la madera, según el tipo y condiciones de servicio (“R2”), lo siguiente fue considerar la cantidad de componentes tóxicos activos de preservador, es decir, la retención efectiva necesaria para impregnar los pies derechos.

La retención efectiva es la cantidad de componentes tóxicos activos del preservante que permanece en la madera al término del proceso de impregnación. Se expresa en kg/m^3 (NMX-C-419-ONNCCE, 2014:14).

La NMX-C-322-ONNCCE (2014:4), presenta en el Cuadro 42, la información de los requisitos mínimos de retención de acuerdo al tipo de preservador hidrosoluble CCA, que en este caso corresponden al nivel de riesgo “R2” (para mayor información de los diferentes preservadores, se recomienda consultar el cuadro original).

Cuadro 42. Retenciones mínimas recomendadas del preservador o del ingrediente activo, de acuerdo al nivel de riesgo en servicio de la madera: kg/m³ (lb/pie³). Fuente: NMX-C-322-ONNCCE (2014:4).

Tipo	Preservador	Nivel de Riesgo				
		R1	R2	R3	R4	R5
Hidrosolubles	CCA (8)	4.00	6.40	9.60	12.8	40.0
		(0.25)	(0.40)	(0.60)	(0.80)	(2.50)

Nota: estos niveles de retención son para madera de pino impregnada a presión. Para maderas refractarias el proceso de impregnación puede hacerse a repulsa, pero teniendo como parámetros los niveles del Cuadro 42.

En síntesis, el riesgo esperado en servicio de la solera de desplante y los pies derechos es “Medio”, el tipo de preservador a utilizar será “sales CCA”, y los niveles de riesgo al biodeterioro en que se clasifica la madera, según el tipo y condiciones de servicio es “R2”, a un requisito mínimo de retención recomendada de “6.40 kg/m³”.

La NMX-C-410-ONNCCE (1999:4-5); indica en el Cuadro 43 y 44, los valores de retención mínima recomendados de acuerdo al grado de riesgo en servicio del preservador, y la retención mínima de los componentes individuales, utilizados en las formulaciones de los preservadores hidrosolubles.

Cuadro 43. Retenciones mínimas recomendadas de preservador de acuerdo al grado de riesgo en servicio. Fuente: NMX-C-410-ONNCCE (1999:4-5).

Preservadores hidrosolubles	Retención grado de riesgo kg/m ³		
	Alto	Medio	Bajo
Sales hidrosolubles de cobre, cromo y arsénico			
CCA tipo A	9.6	6.4	4.0
CCA Tipo B	9.6	6.4	4.0
CCA Tipo C	9,6	6.4	4.0

Cuadro 44. Retención mínima de los compuestos individuales de preservadores hidrosolubles, expresados como óxidos. Fuente: NMX-C-410-ONNCCE (1999:4-5).

Preservador	Retención Total mínima (kg/m ³)	Retención individual (kg/cm ³)		
		CuO	CrO ₃	As ₂ O ₅
CCA-A (As)	4.0	0.656	2.352	0.592
	6.4	1.040	3.776	0.994
	9.6	1.568	5.664	1.424
CCA-B (As)	4.0	0.704	1.264	1.616
	6.4	1.136	2.032	2.592
	9.6	1.696	3.056	3.888
CCA-C (As)	4.0	0.672	1.712	1.200
	6.4	1.072	2.736	1.952
	9.6	1.600	4.112	2.944

La NMX-C-178-ONNCCE (2014:4), establece la clasificación en que deben agruparse los preservadores para madera y productos antimancha en México, así como establece su composición y los requisitos a que deben someterse en su comercialización. En caso particular, establece las especificaciones que deben cumplir los preservadores hidrosolubles utilizados en la preservación de la madera para su uso en la edificación.

De acuerdo a lo anterior, el Arsenato de cobre cromado (CCA), debe tener la composición indicada en el Cuadro 45.

Cuadro 45. Composición del Arsenato de cobre cromado (CCA).
Fuente: NMX-C-178-ONNCCE (2014:4).

Preservador	Nominal en %	Mínima en %	Máxima en %
Cobre, como CuO	18.50	17.00	21.00
Cromo hexavalente, como CrO ₃	47.50	44.50	50.50
Arsénico, como As ₂ O ₅	34.00	30.00	38.00

Los requisitos mínimos de penetración, que deben alcanzar los preservadores en sentido normal a la fibra en las piezas de madera, se establecen exclusivamente para la madera de albura los cuales son los siguientes:

- a) En piezas iguales o menores de 2.5 cm de espesor, el preservador debe penetrar el 100% de la albura.
- b) En piezas de más de 2.5 cm de espesor, el preservador debe penetrar por lo menos el 85% de la albura ó 2.5 cm de profundidad de cada cara que contenga albura (NMX-C-322-ONNCC, 2014:4):

Con la información obtenida en este apartado es posible calcular la retención mínima recomendada para el volumen total de madera a utilizar en el proyecto de madera. Solo es necesario determinar cuáles piezas se van a preservar y a que retención mínima recomendada de acuerdo al tipo y las condiciones de servicio.

4.7.2. Acabados superficiales de protección

Anteriormente, se mencionaron los aspectos acerca de la importancia que tiene la preservación en la madera puesta en servicio, principalmente con métodos de presión o vacío. En este apartado, se menciona de manera general, las características de los acabados de protección para la vivienda, su aplicación y resistencia ante el ataque de los agentes destructores, principalmente abióticos.

La correcta acción protectora de un acabado superficial, depende en gran medida de la necesidad de la madera en servicio, es decir, si se requiere proteger a la madera ante el ataque de agentes bióticos, el preservador debe penetrar la madera a una absorción adecuada; en el caso de protegerla contra el intemperismo, el acabado debe repeler la humedad; por último en el caso de las aplicaciones de acabados exteriores (color), las moléculas pigmentantes se deben fijar a la madera de manera que cumplan también con el objetivo de proteger a la madera ante los rayos UV.

El desempeño y la durabilidad de las envolventes de los edificios están determinados por las condiciones de humedad, la lluvia conducida por viento es un factor principal que contribuye a la cantidad total de humedad que entra en un componente de edificio expuesto al clima exterior (Elizondo, 2009:25).

En este sentido, las piezas que estén en contacto directo con la lluvia, como las fascias externas que sostienen la canaleta de recepción de agua y parte de los aleros se deben proteger.

Como se indicó en el apartado anterior, preferentemente se deben impregnar todas las piezas de madera a utilizar en la vivienda con sales CCA. Sea el caso de que el costo de impregnación sea muy elevado y que se dé preferencia a las piezas que se encuentran en los interiores como la solera de desplante, pies derechos que formen los muros del baño, cocina u otras que estén en contacto directo con la humedad, se recomienda el uso de acabados superficiales con preservador para evitar el ataque de los agentes bióticos.

Con relación a los recubrimientos, la luz ataca tanto las resinas sintéticas, componentes aglutinantes de las lacas, barnices y dispersores protectores de la madera, ocasionando una separación de macromoléculas formando moléculas pequeñas las cuales son solubles, por lo que posteriormente perderán su fuerza de cohesión (JUNAC, 1988:9-22).

Una pintura, laca o barniz (sustancias inorgánicas), será eficaz dependiendo de la cantidad de pigmentos o rellenos que proporcione a la madera, ya que esta última, al ser material orgánico, absorbe parte de la radiación de la luz. En la Figura 28, se indica el efecto de los tipos de capas protectoras en la madera y su efecto de la reflexión de la luz (JUNAC, 1988:9-22).

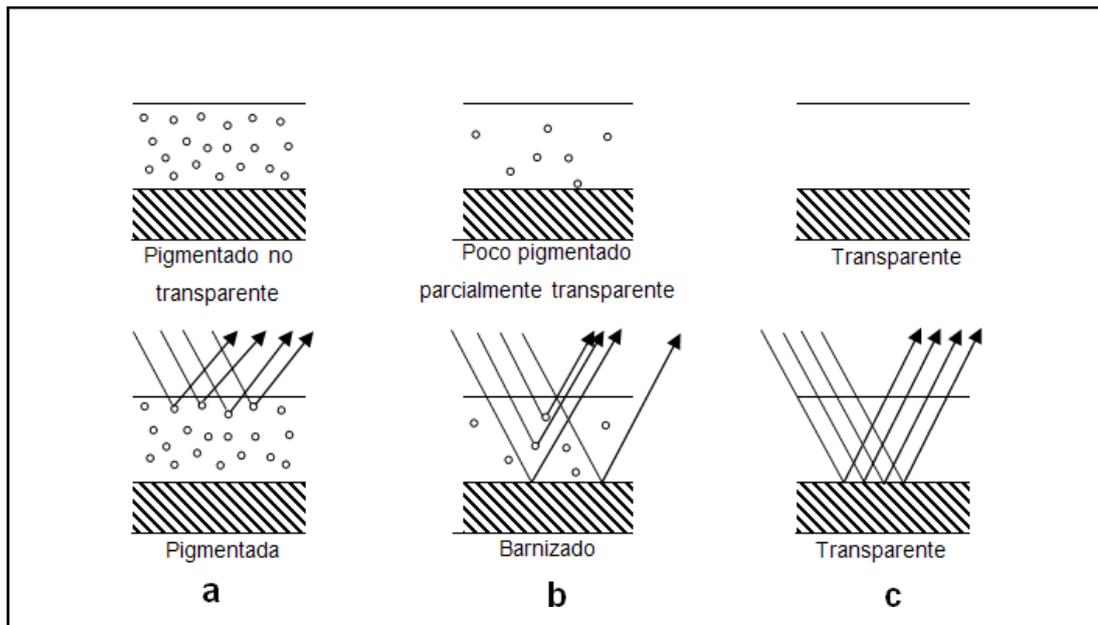


Figura 28. Esquema de la reflexión de la radiación de la luz para una cobertura: a) Pigmentada; b) Semi-transparente y c) Transparente. Fuente: JUNAC (1988).

En este caso no se utilizan los métodos de aplicación de presión y/o vacío, sin embargo, existen básicamente dos métodos que se pueden aplicar a la madera: los de penetración en los poros de la madera, y los de formación de capas o película superficial, por ello, antes de realizar cualquier actividad de protección superficial a la madera, ésta debe estar libre de polvos, y en lo posible seca (ó al contenido de humedad en equilibrio de servicio).

Debido a la amplia información que presenta JUNAC (1988:9-22), acerca de los acabados superficiales, a continuación se simplifica dicha información y se incluye dentro de la clasificación que realiza COFAN (1999:86) “sustancias que penetran” y “sustancias que forman película”, por supuesto, presentando los créditos correspondientes de cada autor.

4.7.2.1. Sustancias que penetran

Los impregnantes de aplicación superficial están compuestos de un líquido de poca viscosidad e ingredientes fungicidas, insecticidas como sales de cobre, arsénico y cobre (hidrosolubles), e incluso repelentes al agua. Estos pueden mezclarse con pigmentos, colorantes lacas y pinturas (se puede utilizar agua como solvente). Se debe considerar una penetración superficial de entre 3 a 5 mm (COFAN, 1999:86; JUNAC, 1988:9-22).

Sustancias transparentes: los repelentes al agua proporcionan la capacidad de repeler el agua, reducen el agrietamiento y proporcionan protección ante los hongos debido al pentaclorofenol, naftanato de cobre, naftanato de zinc; se utiliza thinner como solvente, el aceite de linaza y cera como repelentes al agua (COFAN, 1999:86).

Sustancias pigmentantes, tintas: son formadas por los mismos ingredientes de los repelentes de agua, a la cual se le agregan estabilizadores orgánicos o inorgánicos como pigmentos y aditivos para mejorar la dispersión y estabilidad como el estearato de zinc. Disminuyen la degradación de los rayos UV. Al no formar película, no existen problemas de burbujas ni descapelamiento y son más fáciles de dar mantenimiento (COFAN, 1999:86).

4.7.2.2. Sustancias que forman película

Los barnices son sustancias que reflejan solo una parte de la radiación UV de la luz y se pueden utilizar para proporcionar color a los elementos preservados. Están compuestos por un formador base de la película de recubrimiento, combinado con preservadores y con sustancias transparentes de relleno o ceras y solventes adecuados, se le agrega silicona para su efectividad hidrófuga. Los barnices se clasifican en barnices de protección (poros abiertos) y barnices selladores (poros cerrados) de acuerdo a su viscosidad y su capacidad de penetración de la madera (JUNAC, 1989:9-22).

Los barnices de protección, son impregnantes y lacas espesas, no penetran totalmente a la madera y forman una capa delgada en la superficie. Permiten una fácil renovación de las superficies tratadas. Son de fácil aplicación con brocha y aspersión, se pueden aplicar en cualquier madera si se encuentra seca y limpia, poseen buena penetración superficial, se conserva la superficie de la madera al renovar la capa tratada (post-tratamiento), por otro lado los barnices selladores: impregnan menos la madera pero sellan la superficie a poro cerrado formando una capa de mayor espesor sin tapar por completo la textura de la superficie (JUNAC, 1988:9-22).

Las lacas se clasifican en lacas transparentes y lacas pigmentadas; las lacas transparentes, actualmente están compuestas por poliuretano y resinas alquílicas, su película es resistente a la humedad aunque no penetran la superficie de la madera, por lo que la madera debe impregnarse con un preservador con solvente adecuado. Tienen poca duración por efectos de la

radiación UV. Su renovación es costosa y se destruye parcialmente la superficie de la madera debido al lijado (JUNAC, 1988:9-22).

Las lacas pigmentadas, anteriormente se utilizaban lacas a base de aceite utilizando pigmentos como el blanco de plomo o el zinc que funcionan a la vez como agente tóxico. Tienen baja tensión, buena adherencia y fácil renovación pero de secado lento y baja resistencia a la intemperie, las lacas oscuras aumentan la exudación de sustancias volátiles de la madera (JUNAC, 1988:9-22).

Las lacas a base de aceites se han remplazado por lacas a base de resina, utilizando como pigmento blanco dióxido de titánio (TiO_2) pudiéndose combinar con otros pigmentos de color. El solvente a base de hidrocarburos permite un fácil secado al disminuir la viscosidad de la laca. Las ventajas de las lacas a base de resina en comparación de aceite es que presentan una mayor resistencia a la intemperie, secado rápido, fácil aplicación, resistente a la difusión del agua (se debe tener cuidado de las grietas), mayor brillo (JUNAC, 1988:9-22),

Las pinturas son constituidas por una materia sólida que imparte color, suspendida en un medio líquido y aplicada como recubrimientos a diversos tipos de superficies, las pinturas están constituidas por los mismos ingredientes que los barnices agregándoles un pigmento y materiales de carga (sustancias que ayudan a la incorporación del pigmento) (COFAN, 1999:86).

Las pinturas a base de dispersiones sintéticas tipo termoplástico, se componen de un aglutinante de dispersión, pigmentos, rellenos y preservantes. Su característica es que inicialmente la resina sintética se encuentra dispersa en agua, posteriormente al evaporarse el agua, se unen para formar una película la cual no penetra en la madera. Presentan alta elasticidad y baja resistencia al paso del vapor de agua siguiendo las contracciones y dilataciones de la madera sin fallar, son susceptibles a la compresión por su baja dureza, permiten aplicaciones gruesas, buenos resultados sobre superficies húmedas (JUNAC, 1988:9-22).

No son aptas las pinturas a base de dispersión para proteger la madera contra la intemperie (se requiere de una alta estabilidad dimensional) debido a su baja resistencia al paso de vapor de agua (JUNAC, 1988:9-22).

4.7.2.3. Influencia de la difusión del vapor en los acabados

Una protección será efectiva cuando la resistencia a la difusión sea alta, el espesor de la película aplicada sea considerablemente gruesa y cuando no se tengan humedades relativas altas (JUNAC, 1988:9-22).

Sin embargo, es importante mencionar que, a diferencia de los acabados que penetran la madera, los recubrimientos de película funcionan como barrera para impedir el paso del agua disminuyendo la difusión de vapor de agua del interior al exterior o viceversa.

Al momento de producirse rajaduras, la humedad ingresará por esos conductos distribuyéndose de forma anisotrópica en la madera, por otro lado al secarse la madera, la salida de agua en forma de vapor será de manera lenta realizada por difusión (JUNAC, 1988:9-22).

Un aspecto importante es que cuando un recubrimiento es efectivo a la absorción de la humedad del medio ambiente, también se dificulta la salida y evaporación de la humedad del interior. En contraparte un recubrimiento poco resistente a la absorción, permitirá la evaporación de la madera de su interior. El cuidado de la ventilación de los muros depende de la difusión del vapor del interior al exterior y viceversa, ya que es recomendable una constante ventilación de los elementos, o de no ser posible se deben preservar ante el ataque de hongos xilófagos (JUNAC, 1988:9-22).

Debido a que la absorción de líquidos en la madera es a mayor velocidad en dirección axial o longitudinal (en la dirección de las fibras), una recomendación, antes de la aplicación de los acabados, es aplicar un sellador en sus cantos, es decir, que selle o tape los poros de la madera con el propósito de evitar una excesiva absorción de la sustancia del acabado, y por consiguiente una disminución del ingreso de humedad en la madera.

4.7.2.4. Sistemas de aplicación para tratamientos superficiales

De acuerdo a JUNAC (1988:9-22), son tres los sistemas que se utilizan para aplicar los tratamientos superficiales:

- a) Impregnación: inmersión por un tiempo superior a los 30 min o de acuerdo a las absorción adecuada con las indicaciones de las normas o las prescripciones del productor del preservante. De no ser posible se pueden realizar por medio de brocha o aspersion.
- a) Barnices: se aplica con brocha, no es recomendable por inmersión o aspersion debido a las diversas zonas de absorción de la madera.
- b) Lacas y pinturas: se pueden aplicar por inmersión, aspersion o brocha. Se realiza de acuerdo a la consistencia y viscosidad.

5. RESULTADOS

Se realizó el diseño de una casa de madera de estilo rural de un piso para cuatro personas, con techo a dos aguas a una pendiente del 33%. La cimentación consistirá en losa, cadena y zapatas de concreto; el acabado de protección superficial en los muros será con mortero y se utilizará teja asfáltica. Se considera una estructura ligera de acuerdo al peso unitario medio de la estructura de 0.15 t/m^2 .

Como protección de la estructura ante viento y sismo, se utilizarán pernos galvanizados incrustados en la cadena de cimentación; la protección contra la humedad se realizará con fieltro asfáltico e impermeabilizante.

La madera será de pino preservada con sales CCA a diferentes niveles de riesgo, preferentemente de cortes radiales, clasificada con la regla industrial Clase "A" o con la regla especial Clase "B"; a un $\text{CH} \leq 18\%$, el clavado se realizará con base en el UBC.

Como arriostamiento para la envolvente, se utilizarán tableros contrachapados FF para exteriores y de UF para interiores; el tipo de armadura será Fink, se arriostará con tiras de madera en forma longitudinal y diagonal; la separación entre pies derechos de muros y techos será a cada 61 cm; el tipo de unión entre paneles será con postes de esquina; la unión entre la solera superior y de cerramiento será desfasada por lo menos una separación de 1 pie derecho.

El área que cubrirá el techo será de 106.43 m², el área de la losa de cimentación será 92.44 m² y el área habitable de 74.2 m². La altura de la vivienda, hasta la arista del techo será de 4.33 m (ver anexos).

Se construirán cinco ventanas, consideradas como medio de escape en caso de incendio (a excepción de la cocina), y dos ventanas tipo “resbalón” en el sanitario; se construirá una puerta principal y una puerta trasera tipo “dos hojas”; contará con cuatro puertas internas de tambor.

Los planos y esquemas se realizaron con el programa AutoCAD 2010, utilizando las identidades *area* y *massprop* para determinar las áreas y volúmenes necesarios en el diseño y cálculo de materiales de la vivienda, los cuales se mencionan en los anexos. Los planos de la cimentación, distribución de pernos, así como de las instalaciones (hidráulica, sanitaria, eléctrica), de igual forma, se presentan en los anexos.

Los resultados de la secuencia constructiva están indicados en siete apartados: *características de los pies derechos; selección, preparación, limpieza y trazado; cimentación; paneles; techo; materiales aislantes, y materiales y acabados superficiales.*

5.1. Características de los pies derechos

Se utilizarán pies derechos de 2" x 4" nominal (38 mm x 89 mm); serán de madera de pino con una $D_b = 0.45 \text{ g/cm}^3$; se preferirá en lo posible pies derechos de cortes radiales o tendiente a radial (ya que son más estables dimensionalmente); de no ser posible debido a que la proporción de piezas sea mayor de cortes tangenciales, la madera de cortes radiales se colocará en zonas que estén en contacto con las tuberías, en los marcos de las puertas, molduras o todas aquellas piezas que pudieran afectar las uniones debido a los cambios dimensionales.

La clasificación que se recomienda para la madera de los pies derechos, de preferencia se utilizará la regla industrial a la cual pertenece el grupo CE7 (madera Clase "A"), sin embargo debido a que se permite el criterio del usuario, en su defecto se podrá utilizar el grupo CE5 (madera de Clase "B").

La NMX-C-239-ONNCCE (1985), indica que las reglas industriales son aplicables a madera de 38 mm y cualquier ancho hasta 240 mm; las reglas especiales a Tablones angostos de 38 mm de grosor y hasta 140 mm de ancho y Tablones anchos: 38 mm de grosor y ancho mayor a 140 mm.

La característica de las reglas industriales es clasificar la madera con valores de resistencia mayores que los aplicados con las reglas especiales. Esto significa que habrá una reducción del tamaño máximo permisible de los defectos, particularmente con el tamaño máximo de los nudos en los cantos y en la zona central (COFAN, 1999).

La NMX-C-239-ONNCCE (1985), permite la utilización de cualquiera de las dos reglas (Clase A, o Clase B), de acuerdo a lo que menciona en seguida: *“la aplicación de las reglas depende del criterio del usuario, eligiendo el tipo de regla más adecuado para lograr la mayor optimización en la utilización de la madera”*.

Importante mencionar que la superficie de cortes radiales presentará una mayor clasificación con relación a la disminución de agrietamiento y rajaduras en comparación con la de cortes tangenciales debido a la ubicación de los radios o rayos medulares.

“Se recomienda utilizar en toda la construcción madera preservada con sales CCA por métodos de presión o vacío” (CONAFOR, s/f b; CORMA, 2004; COFAN, 1999).

“En caso de no poder preservar la madera con los métodos de presión o vacío, se recomienda preservar la madera con productos con ingrediente activo de Permetrina técnico por inmersión (30 min) o brocha” (CONAFOR, s/f a; JUNAC, 1988).

Si los pies derechos con dimensiones 38 mm x 89 mm son preservados con métodos de presión o vacío, se considerará una penetración total del preservador como indica la NMX-C-322-ONNCCE (2014) (Figura 29).

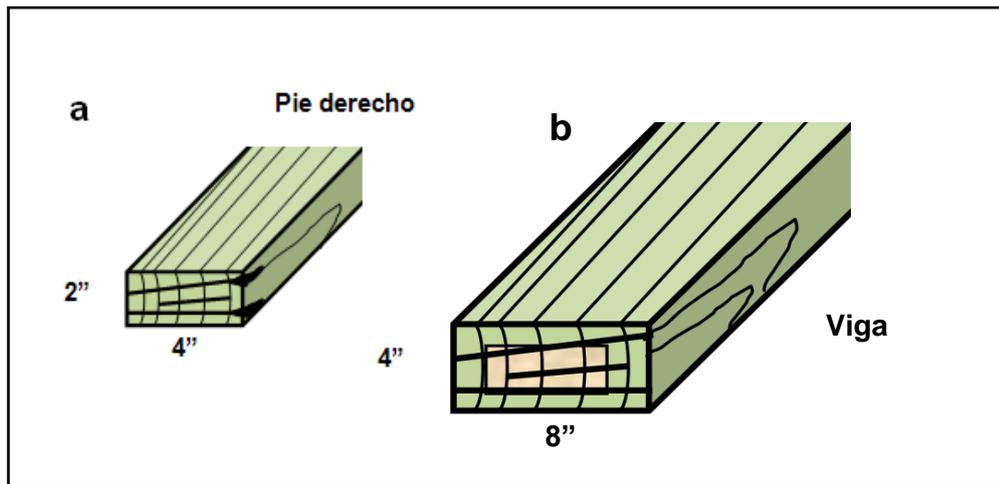


Figura 29. Ejemplo de la penetración con sales CCA: a) Penetración total en un pie derecho con dimensiones de 2" x 4"; b) Penetración parcial en una viga de 4" x 8".

En el caso de que se preserve toda la madera de la vivienda, se recomienda seguir las indicaciones del Cuadro 46, para los diferentes niveles de riesgo a los cuales pertenece la madera en servicio (uso).

Se acostumbra que la cantidad de madera se exprese en "pies tabla" o "pie tablar"; un pie tabla tiene las siguientes dimensiones: 1 pulgada x 1 pie x 1 pie, cuyo volumen corresponde a $2.36 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ (0.00236 m^3). Para conocer la cantidad de pies tabla (pt) que equivale un pie derecho, se multiplica $2" \times 4" \times 8'/12$, obteniendo un resultado de $5.33 \text{ pt} = 1 \text{ pie derecho}$; el número 12 se considera como la cantidad de pulgadas que tiene 1 pie, 12 pulgadas es igual a 1 pie, $12 \text{ cm} \times 2.54 \text{ cm} = 30.48 \text{ cm}$; aproximadamente 1 m^3 de madera equivale a $423.7 \text{ pt} \approx 424 \text{ pt}$.

Cuadro 46. Características de la madera preservada dependiendo de la ubicación e importancia de uso en la vivienda.

Ubicación de la pieza de madera a preservar en la vivienda	Riesgo esperado, tipo de preservador, tipo y condiciones de uso y retención mínima recomendada.
Soleras de desplante; pies derechos en contacto con el suelo, cocina y baños; solera de cerramiento en paredes frontales y traseras.	El riesgo esperado en servicio de la solera de desplante, pies derechos y solera de cerramiento es "Medio"; el tipo de preservador a utilizar será "Sales CCA"; los niveles de riesgo al biodeterioro en que se clasifica la madera, según el tipo y condiciones de servicio es "R2", a un requisito mínimo de retención recomendada de "6.40 kg/m ³ ".
Marcos, puertas y ventanas externos; "las piezas en interiores de este tipo no se preservan".	El riesgo esperado en servicio de los marcos, puertas y ventanas es "Medio"; el tipo de preservador a utilizar será "Sales CCA", y los niveles de riesgo al biodeterioro en que se clasifica la madera, según el tipo y condiciones de servicio es "R2", a un requisito mínimo de retención recomendada de "6.40 kg/m ³ ".
Aleros; fascias exteriores; tímpanos.	El riesgo esperado en servicio de los aleros, fascias exteriores y tímpanos es "Alta"; el tipo de preservador a utilizar será "Sales CCA", y los niveles de riesgo al biodeterioro en que se clasifica la madera, según el tipo y condiciones de servicio es "R3", a un requisito mínimo de retención recomendada de "9.60 kg/m ³ ".
Armadura Fink; riostras, soleras de cerramiento laterales; fascias internas.	El riesgo esperado en servicio de la armadura Fink, riostras y soleras de cerramiento laterales es "Bajo", el tipo de preservador a utilizar será "Sales CCA", y los niveles de riesgo al biodeterioro en que se clasifica la madera, según el tipo y condiciones de servicio es "R1", a un requisito mínimo de retención recomendada de "4.00 kg/m ³ ".

5.2. Selección, Preparación, Limpieza y Trazado

Se calculó un peso aproximado de 5 toneladas de madera; la densidad básica (Db) de la madera aserrada será de 450 kg/m^3 , (incluidos pies derechos, riostras, molduras, entre otros) y la densidad de los tableros contrachapados se calculó de 600 kg/m^3 ; 4 toneladas de mortero a una densidad de 2000 kg/m^3 (CEMEX, s/f); 38 toneladas del peso total de la cimentación (incluye losa, cadena y zapatas con una densidad de 3000 kg/m^3 (CEMEX, s/f)); y 1.5 toneladas del peso de malla electrosoldada (losa y muros), fieltro asfáltico y teja asfáltica.

De acuerdo con las características de cada zona para la investigación del subsuelo, se definió a la vivienda del proyecto como una estructura ligera o mediana de poca extensión y con excavaciones someras definidas como se indica en las NTC-DCC (2004).

El peso unitario medio de la vivienda, sin contar con la cimentación, ni con los materiales base de la losa de cimentaciones será de:

$$11 \text{ t} / 74.2 \text{ m}^2 = 0.15 \text{ t/m}^2 < 4 \text{ t/m}^2$$

141 kg malla electrosoldada
 70 kg fieltro asfáltico en la fachada
 86.19 kg de fieltro asfáltico en el techo
 + 971 kg de teja asfáltica
 500 kg de tableros de yeso
 5222.12 kg madera (pies derechos, tableros contrachapados,
 entre otros)
4000 kg mortero
 10, 990.31 kg \approx 11 toneladas

El peso unitario medio de la vivienda, considerando la cimentación, sin los materiales base de la losa de cimentaciones será de:

$$50 \text{ t} / 92.44 \text{ m}^2 = 0.5 \text{ t/m}^2 < 4 \text{ t/m}^2 \text{ (NTCDCC (2004))}$$

10, 990.31 kg
 38, 000 kg cimentación (losa, cadena, zapatas y bases)
 + 197 kg de malla electrosoldada
814 kg fieltro asfáltico en la cimentación
 50 toneladas

Las características de la vivienda del proyecto, con relación al Cuadro 6, cumplen los requisitos mínimos del peso unitario medio de la estructura obteniendo un valor de $0.15 \text{ t/m}^2 < 4 \text{ t/m}^2$; por otro lado, el perímetro de la construcción cumple para las zonas I, II y III como se indica a continuación:

- a) Perímetro de la losa de cimentación: $38.44 \text{ m} < 80 \text{ m}$ en las zonas I y II; y $38.44 \text{ m} < 120 \text{ m}$ en la zona III.
- b) Perímetro de la vivienda con aleros: $41.3 \text{ m} < 80 \text{ m}$ en las zonas I y II; y $41.3 \text{ m} < 120 \text{ m}$ en la zona III
- c) Profundidad de desplante: $0.48 \text{ m} \leq 2.5 \text{ m}$

Se deberá elegir un terreno con buen drenaje, alejado de las corrientes de los ríos, cuerpos de agua o zonas de alta humedad que pueda poner en riesgo la estructura de la vivienda; *Tipo 2* de acuerdo a COFAN (1999). La orientación de la vivienda con relación al clima y la radiación solar, dependerá del lugar donde se construya la vivienda.

(COFAN, 1999), hace la siguiente recomendación considerando la ubicación de la vivienda contra fuego, si se pretende construir en un conjunto habitacional de casas de madera:

“El agrupamiento máximo deberá ser de 15 viviendas o bien $1,000 \text{ m}^2$ de construcción, siempre y cuando los muros colindantes de cada una de las viviendas tengan una resistencia al fuego de una hora y media, la separación entre éstas no deberá ser menor de 1.80 m ”

Si se considera lo anterior, se podrán construir 9 viviendas en un conjunto habitacional de casas de madera, es decir: $1000 \text{ m}^2 / 106.43 \text{ m}^2 = 9$ viviendas.

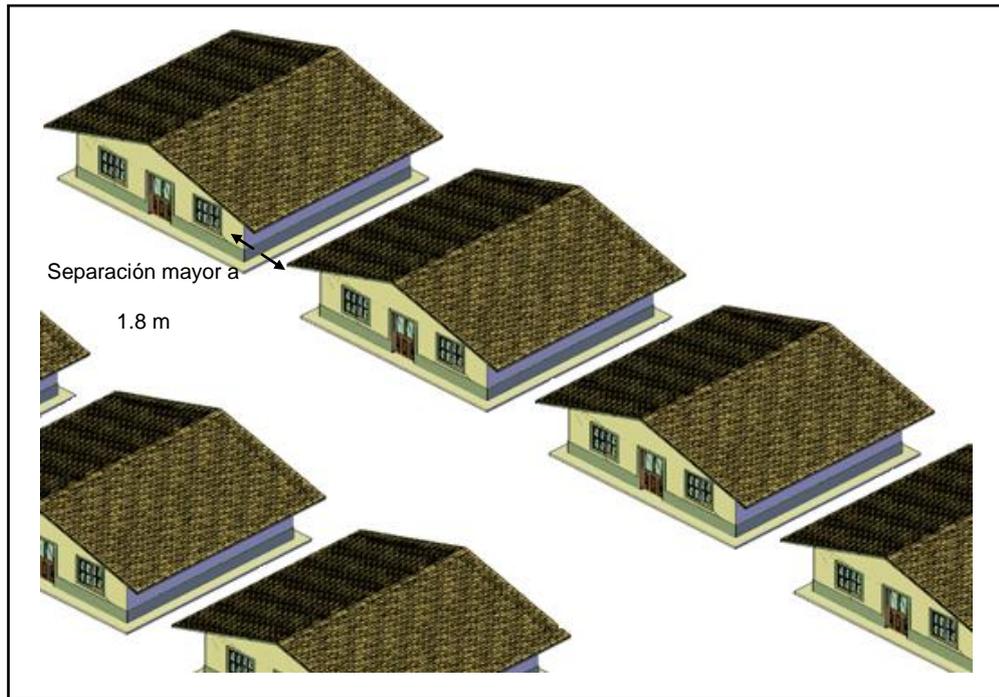


Figura 30. Ejemplo de la separación mayor a 1.8 m entre viviendas de madera en un conjunto habitacional.

La preparación y limpieza del terreno, se realizará conforme la metodología indicada por CONAFOR (s/f a) y COFAN (1999).

“Para realizar el trazo en el terreno, se utilizarán hilos y estacas de madera como se indica en la Figura 31; para trazos a 90° se utilizará la regla de medidas de 3, 4 y 5 m, utilizando como base el triángulo rectángulo” (CONAFOR, s/f b; COFAN, 1999; Blackburn, 1974).

Se armarán puentes con las estacas en las esquinas del terreno, las cuales se colocarán unos 90 cm más allá del eje de la cimentación como se muestra en la Figura 31, colocando clavos a la mitad del puente para marcar la posición de los hilos (COFAN, 1999).

Se trazarán los límites del terreno: 9.63 m en las partes frontal y trasera y 9.6 m en las partes laterales; para la ubicación de las zapatas, los cimientos (sobrecimiento), la toma de agua y la salida de drenaje se consultarán los planos del Anexo 4 y 5.

Durante las excavaciones, se identificarán todos los puntos de trazo por medio de métodos sencillos como un bote con cal o yeso, marcando de igual manera los cuadros de las zapatas (Pérez, 2001).

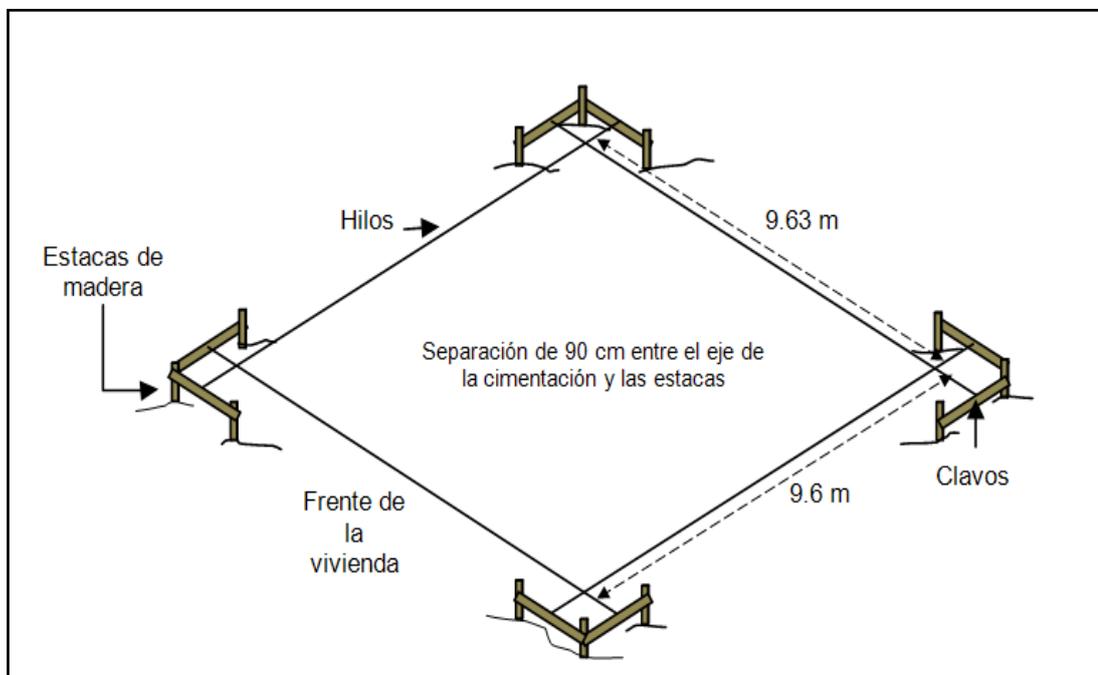


Figura 31. Inicio del trazo del terreno para la cimentación de la vivienda.

5.3. Cimentación

“Las excavaciones se harán a pico y pala, dado que la profundidad a excavar no es muy grande, solo de 48 cm, toda vez que una construcción con madera es ligera” (Pérez, 2001; COFAN, 1999).

Para realizar la nivelación, se sustituirán las estacas que forman los puentes por tiras de madera, colocándolas verticalmente en los extremos y en el centro donde irán las zapatas (Figura 32), todas ubicadas a un mismo nivel; la nivelación se podrá realizar con la ayuda de un nivel montado topográficamente o con un nivel de manguera, basado en el principio de los vasos comunicantes (COFAN, 1999).

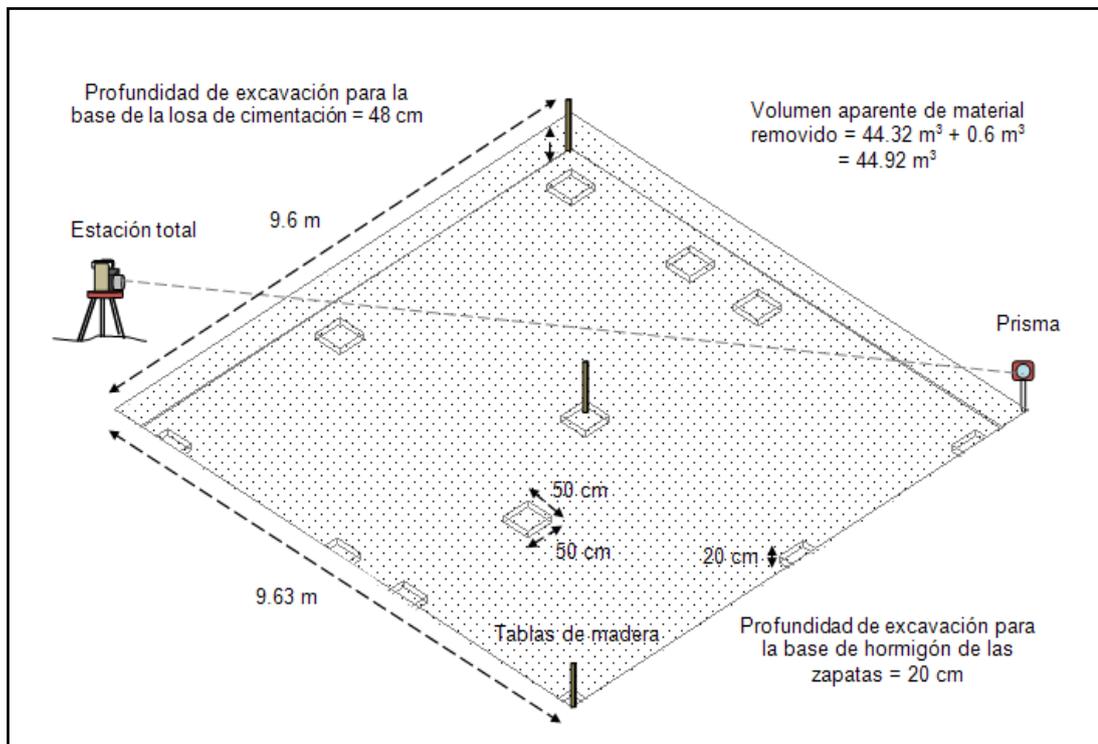


Figura 32. Nivelación con ayuda de nivel montado topográficamente, y área excavada para los materiales base de la losa de cimentación y bases de las zapatas.

CORMA (2004), recomienda que durante la excavación, se coloque una capa de hormigón pobre de 10 cm x 50 cm x 50 cm con la finalidad de contar con una base plana y limpia donde se asienten los dados; la profundidad de excavación para colocar la base de concreto de las zapatas será de 20 cm posterior a los 48 cm como se muestra en la Figura 40.

Se calculó que el volumen aparente de material removido, tanto de la profundidad de excavación para la base de la losa, como para la profundidad de las bases de hormigón de las zapatas, será de 44.92 m³.

Se construirán dados prismáticos de hormigón o cemento (ó también en su defecto, se podrán utilizar de mampostería de piedra). Su función principal será soportar la presión del peso de la vivienda, evitar los desplazamientos horizontales y verticales y con ello, lograr distribuir las tensiones en el terreno para tener la capacidad soportante necesaria para brindar protección y seguridad a la vivienda.

Se construirán 12 zapatas (dados) con una altura de 680 mm, para cumplir con la altura de los estratos de la losa de cimentación; una base mayor de 500 mm y una base menor de 300 mm.

CORMA, (2004), hace la siguiente recomendación al armar las zapatas: *“En cada zapata (de cemento, hormigón o piedra) se armará en su centro una armadura con 4 varillas con un diámetro de 10 mm (³/₈”) y estribos de 6 mm de diámetro (¹/₄”) a cada 20 cm”*

Construidas las zapatas, se colocarán sobre la base de cemento de 10 cm previo a la colocación de los materiales base de la losa de cimentación como se presenta en la Figura 33; las bases de concreto y zapatas, se les colocará una protección con polietileno, fieltro o en su caso impermeabilizante.

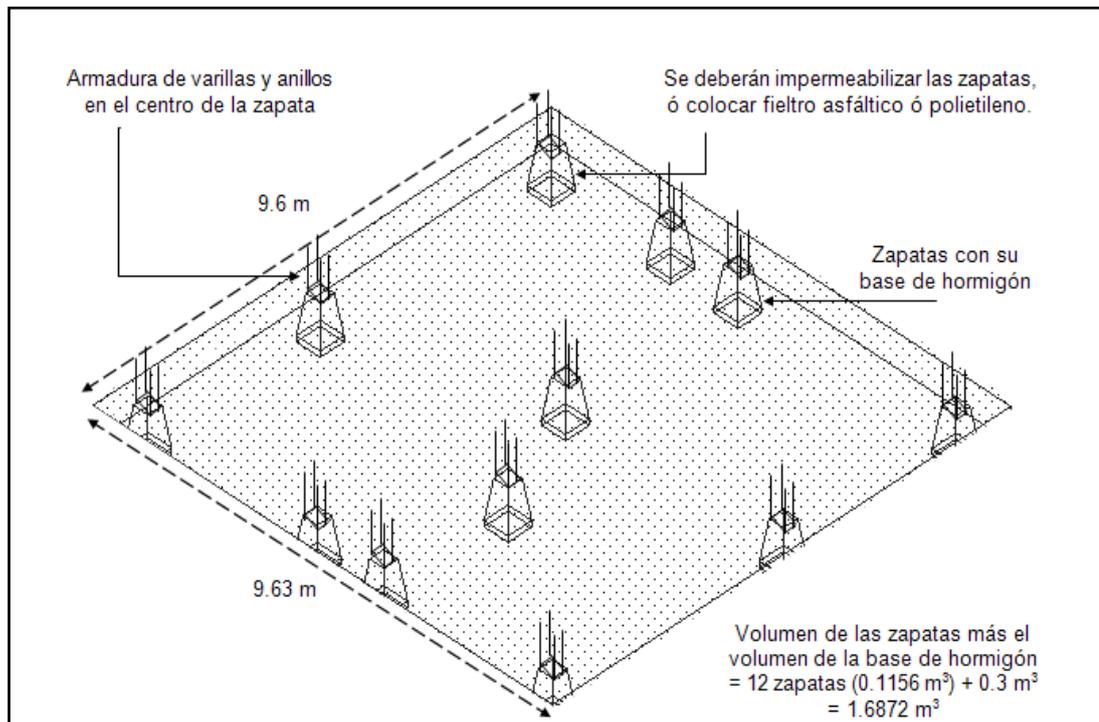


Figura 33. Colocación de las zapatas sobre las bases de concreto previo a la colocación de los materiales para la losa de cimentación.

La colocación de los estratos para la losa de cimentación, se realizará de acuerdo a la metodología indicada por CORMA (2004) y COFAN (1999).

Durante la colocación de los materiales (relleno compacto, grava y arena), será necesario revisar el Anexo 4 y 5, para ubicar la instalación hidráulica (tubo de alimentación de agua potable) y la instalación sanitaria (tubos, codos y uniones de PVC Ø 2" y 4"), como se presenta en la Figura 34 y 35.

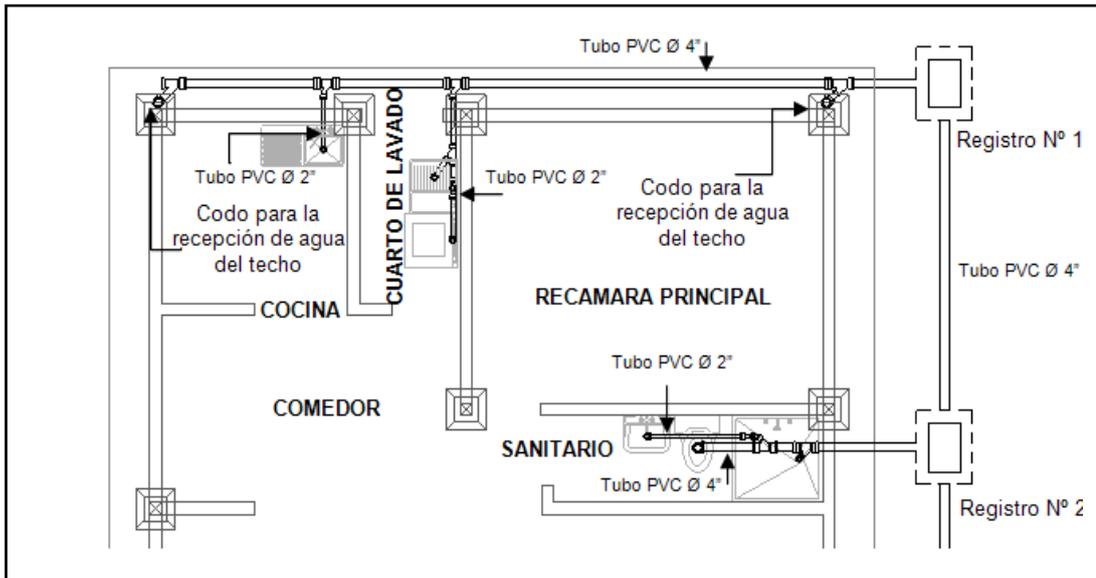


Figura 34. Vista del Anexo 4, para la ubicación de la instalación sanitaria.

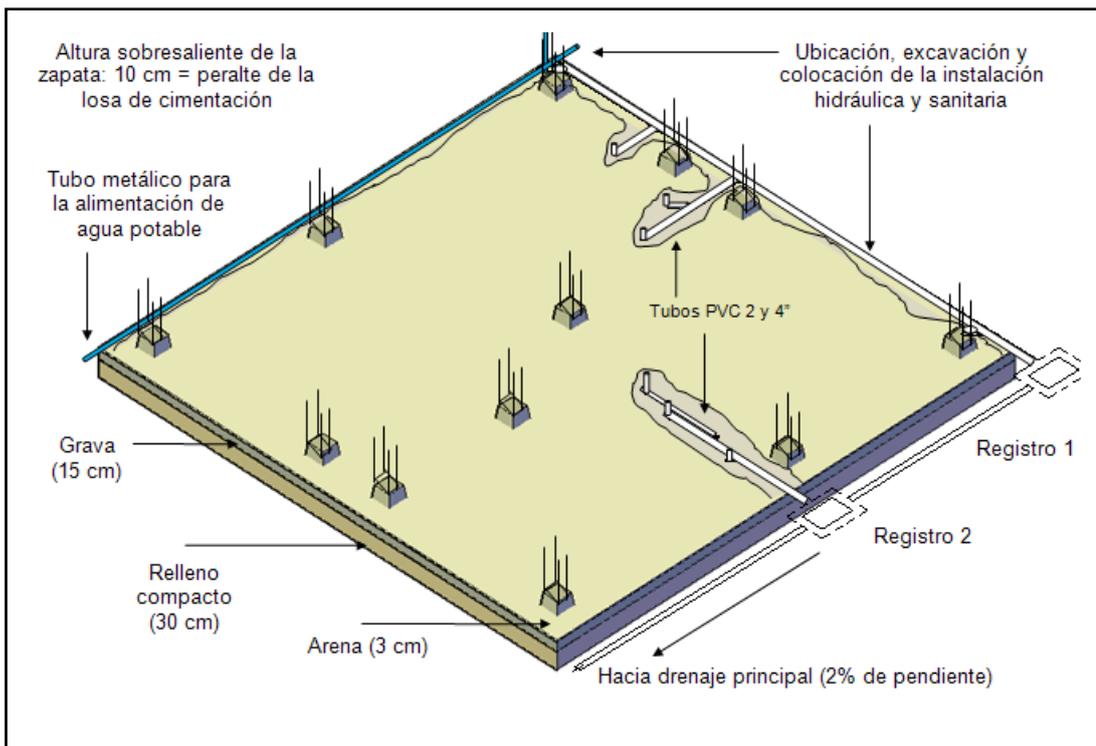


Figura 35. Capa de materiales base para la losa de cimentación y colocación de la instalación hidráulica y sanitaria.

Colocados los tubos de las instalaciones sanitaria e hidráulica; para la aislación de humedad que asciende por capilaridad, se colocará una capa de fieltro asfáltico o un film de polietileno de 0.15 mm ó 0.5 mm de espesor sobre la cama de arena (Figura 36). Se calculó un área aproximada de 100 m² a cubrir por el fieltro asfáltico debido a los traslapes.

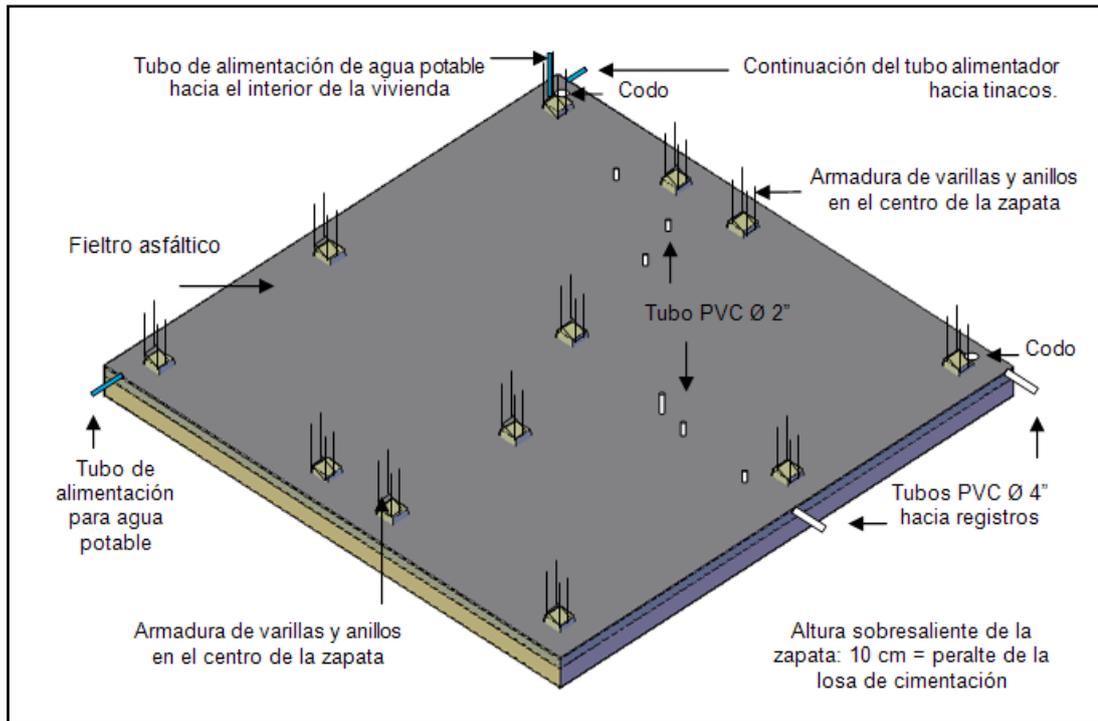


Figura 36. Colocación del fieltro asfáltico.

Posteriormente se colocará la malla electrosoldada como se muestra en la Figura 38. La malla electrosoldada tendrá un diámetro de 4.11 mm ó 4.88 mm; se necesitará un rollo de 2.5 m x 40 m (100 m² debido a los traslapes) y la cuadrícula será de 6" x 6".

Como ejemplo, la empresa "Viga Trefilados", indica las dimensiones y especificaciones de la malla electrosoldada en el Cuadro 47.

Cuadro 47. Especificaciones de la malla electrosoldada (losa) con base en la NMX-B-290-CANACERO. Fuente: Viga Trefilados.

Producto	Ø alambre (mm)	Peso/m ² (kg)	Peso/ rollo (kg)	Peso/ hoja (kg)	Presentación	Dimensiones (m)
R-6 x 6 - 08/08	4.11	1.41	141	---	100 m ²	2.5 x 40
R-6 x 6 - 08/08	4.11	1.41	---	21.15	15 m ²	2.5 x 6
R-6 x 6 - 06/06	4.88	1.97	197	---	100 m ²	2.5 x 40
R-6 x 6 - 06/06	4.88	1.97	---	29.55	15 m ²	2.5 x 6

CORMA (2004), indica que previo al colado de la losa de concreto, para anclar la losa con el sobrecimiento se coloquen 18 anclas de acero galvanizado de 10 mm ($\frac{3}{8}$ ") ó 13 mm ($\frac{1}{2}$ ") de diámetro y 30 cm de longitud (con tuerca y rondana en la parte superior, como se muestra en la Figura 37).

Estas anclas deberán estar incrustadas entre la malla electrosoldada, colocadas de tal forma que coincidan con la ubicación de la cadena de cemento, tanto perimetral como interiores. La separación entre ellas deberá ser similar a la distribución de la Figura 38.

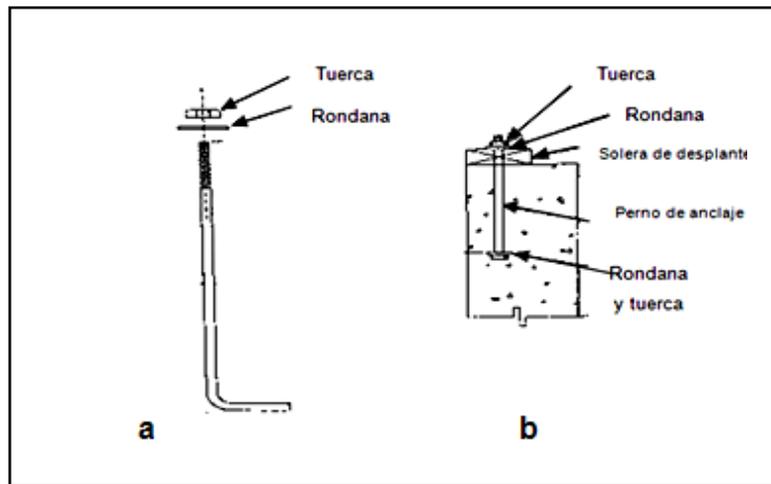


Figura 37. a) Ancla para fijar la losa de concreto con la cadena de sobrecimiento; b) Perno integrado a la cadena de cemento para fijar la solera de desplante.

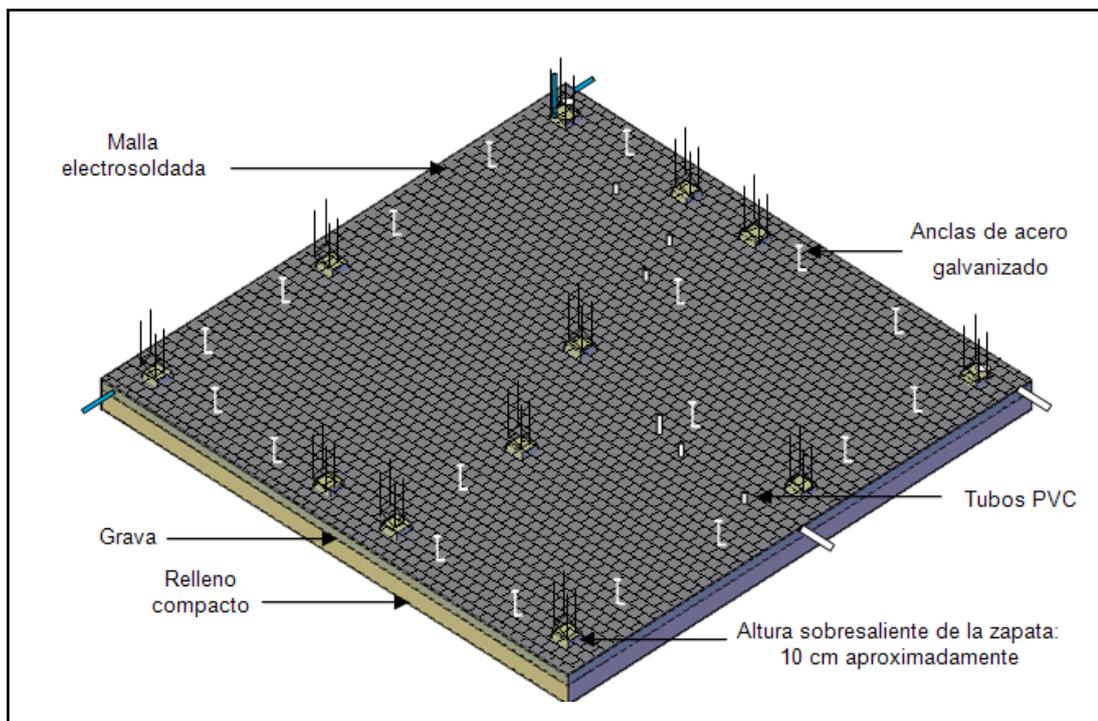


Figura 38. Colocación de la malla electrosoldada y anclas galvanizadas.

Colocadas las anclas, el fieltro asfáltico y la malla electrosoldada, lo siguiente será colar la losa de cimentación (Figura 39), con un peralte de 10 cm y un $f'c$ de 200 kg/cm^2 , el volumen aproximado de la losa de cimentación se calculó de 9.23 m^3 .

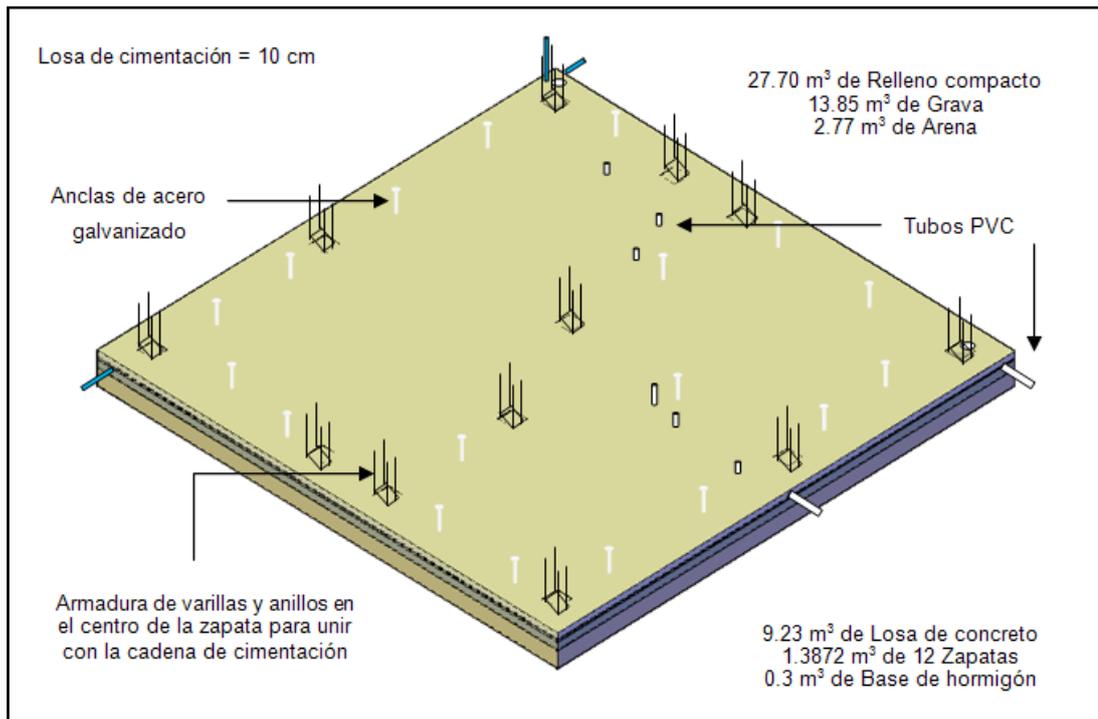


Figura 39. Colado de la losa de cimentación.

La cadena de cimentación (sobrecimiento o cadena de concreto) tendrá un espesor de 150 mm y una altura de 250 mm por encima de la losa de cimentación.

“Para la cadena de concreto, se construirá una armadura compuesta por 4 varillas de 12 mm (¹/₂”) ó 16 mm (⁵/₈”) de diámetro, y estribos de 6 mm (¹/₄”) ó 10 mm (³/₈”) de diámetro a cada 20 cm ó 25 cm; la decisión dependerá del material disponible y de los costos” (COFAN, 1999; CORMA, 2004).

Al momento de construir la cadena de cimiento, se deberá revisar la Figura 40, 41 y Anexo 1, de acuerdo a las características de la armadura horizontal y su unión con la armadura vertical de las zapatas de hormigón.

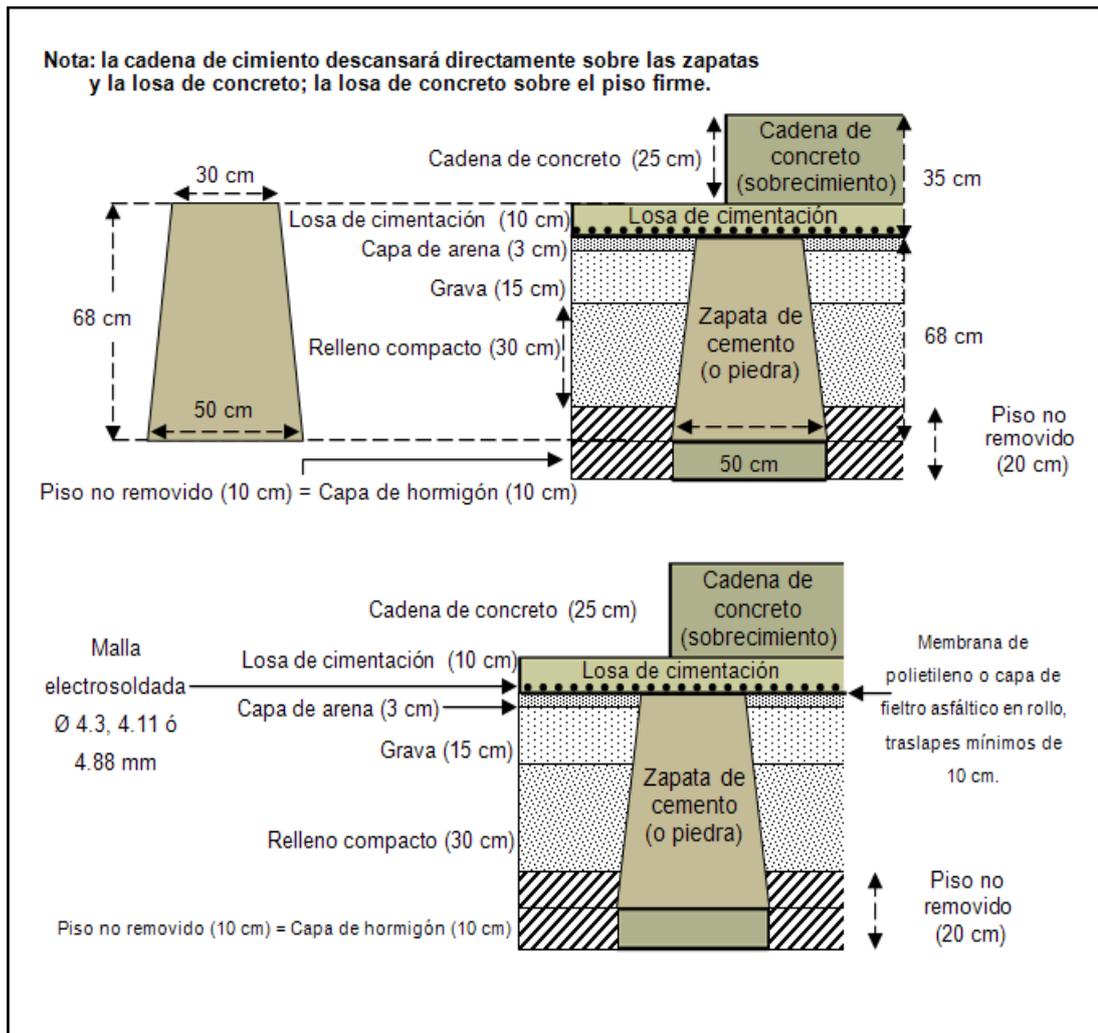


Figura 40. Perfil de los materiales que forman la cimentación.

En la Figura 41, se indican a detalle las dimensiones de las armaduras; el acomodo de los materiales en las zapatas (vertical), y de las varillas de la cadena de cimentación (horizontal); por lo que se deberá poner especial cuidado en las distancias de los elementos que conformarán la base de la cimentación.

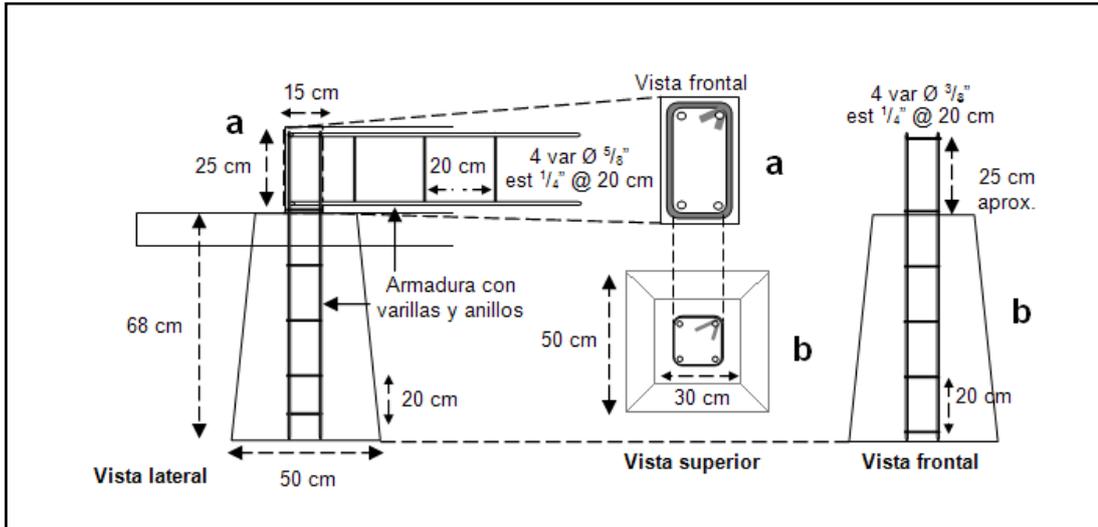


Figura 41. Características de las armaduras, horizontal y vertical (diámetros, N° de varillas y estribos): a) Cadena de cimentación (horizontal); b) Zapatas aisladas (vertical).

CORMA, (2004), hace la siguiente recomendación al armar las armaduras horizontales y verticales:

“Las armaduras (de las cadenas de concreto y zapatas), se reforzarán en su encuentro (aristas) con 4 varillas de 8 a 10 mm ($5/16$ a $3/8$)” de diámetro, haciendo una escuadra de 50 cm iniciando desde cada arista del armado de la cadena como se muestra en la Figura 42”

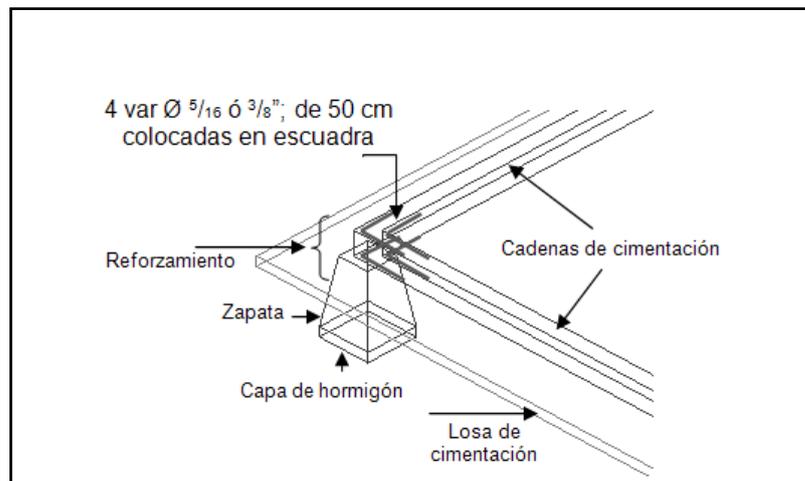


Figura 42. Reforzamiento de las aristas en la cadena de cimentación.

Antes de colar la cadena de cimentación se requieren colocar los tornillos anclados a lo largo del perímetro y en la parte interior (Figura 43), lo que permitirá sujetar los paneles de los pies derechos tanto perimetrales como los interiores (Barajas, 2009).

“Los pernos a utilizar en la cadena de cimiento para sujetar los paneles perimetrales e internos, tendrán un diámetro de 13 mm ($1/2$ ”) y una longitud de 30 cm de acuerdo a la Figura 43. La separación entre ellos se determinó con base en las dimensiones de los paneles, previniendo que las anclas y/o pernos no queden en las uniones de los paneles (Anexo 1). Al momento de colar la cadena de cimiento o sobrecimiento, los pernos deberán estar incrustados 20 cm y sobresalir de la cadena de cimentación 10 cm aproximadamente. Al colocar la solera de desplante, el perno sobresaldrá 6 cm como mínimo” (COFAN, 1999; CORMA, 2004).

Se recomienda al finalizar de construir la cadena de cemento (sobrecimiento) se deba detallar lo más posible la base para que quede plana, evitando superficies grumosas o rugosas, con el fin de que se pueda asentar correctamente la solera de desplante por encima del sobrecimiento (Blackburn, 1974).

En la Figura 43, se presenta la vista frontal de la cimentación con la ubicación y altura de los pernos sobre la cadena de cemento, que deberá ser de 10 cm; la distribución de los pernos se colocarán a una distancia máxima de 30 cm en los extremos como se muestra en la Figura 44.

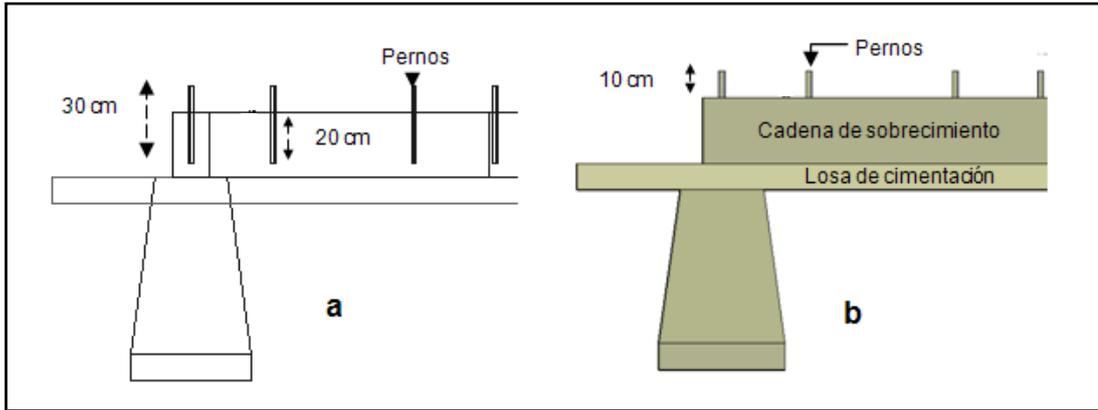


Figura 43. Altura y profundidad de los pernos de anclaje durante la cimentación.

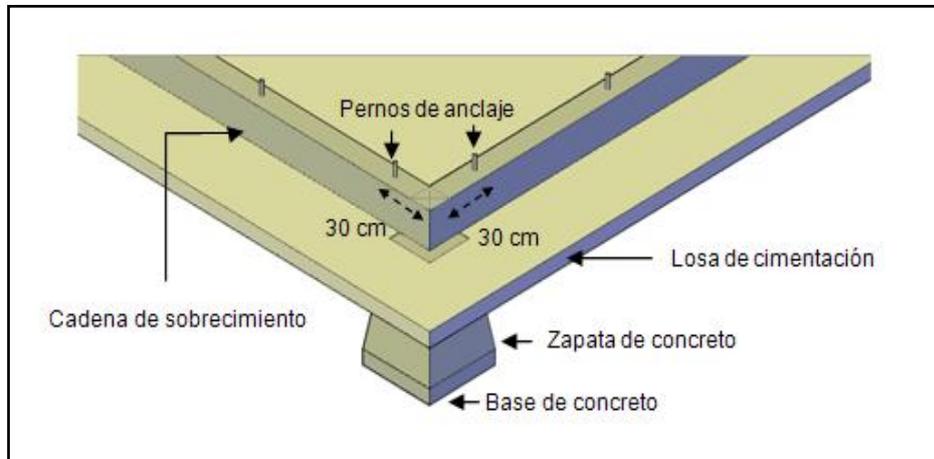


Figura 44. Distribución de los pernos de anclaje a una distancia máxima en los extremos de 30 cm, de acuerdo a las dimensiones de los paneles.

En la Figura 45 y 46, se presenta la cimentación de la vivienda y ubicación de los pernos incrustados; se observa que la cadena de cimentación estará soportada por las zapatas de hormigón (en las aristas principalmente) y parte de la cadena descansará sobre la losa de cimentación.

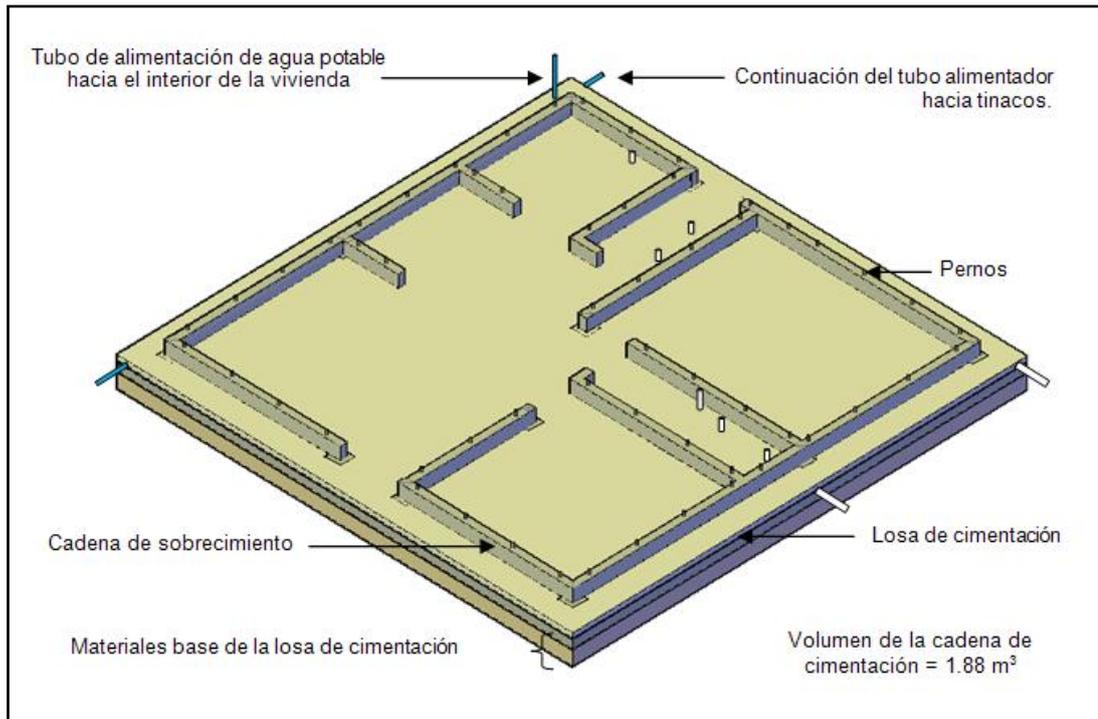


Figura 45. Cadena de sobrecimiento y ubicación de los pernos.

Se propone este tipo de cimentación ya que prevendrá los movimientos y deformaciones originados en la cimentación, dentro de los límites máximos indicados en las NTC-DCC (2004).

A pesar de que la estructura se considera ligera, en caso de construir la vivienda en un terreno que no sea estable y los movimientos en las construcciones colindantes sean frecuentes, se justifica este tipo de cimentación con zapatas (dados) de concreto en la cimentación.

En el Cuadro 48, se presentan las diferentes resistencias que deberán tener los miembros de la cimentación, es decir, de acuerdo al uso. Para la cadena de cimentación un $f'_c = 150$, para las zapatas y la losa de cimentación un $f'_c = 200$.

Cuadro 48. Resistencia del concreto de acuerdo a su uso.
Fuente: CEMENTOS CRUZ AZUL (s/f).

Usos	Pisos, Firmes, Banquetas	Dalas, Trabes, Cadenas	Zapatas, Losas, Castillos	Losa y Columnas Especiales
$f'c$ (kg/cm ²)	100	150	200	250

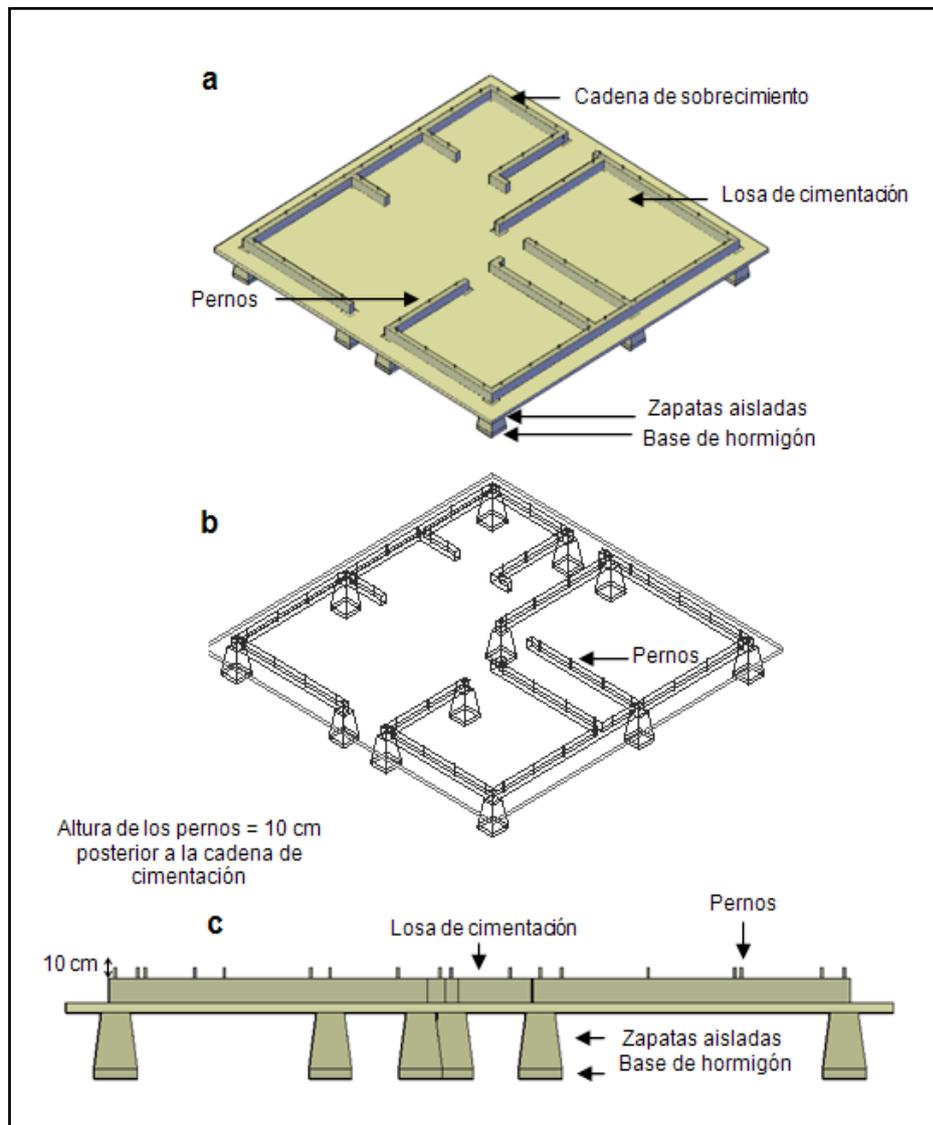


Figura 46. a) Zapatas, cadena y losa de cimentación; b) Ubicación las zapatas y los pernos de anclaje incrustados en la cadena de cimentación; c) Vista frontal de la cimentación con los pernos de anclaje.

5.4. Paneles

La altura del panel consideró la dimensión de largo del tablero contrachapado de 2.44 m (4 pies), por lo que la altura de los postes de esquina y de los pies derechos en general, será aproximadamente de 2.326 m, acorde al arreglo de las soleras de desplante, superior y de cerramiento como se indica en la Figura 47.

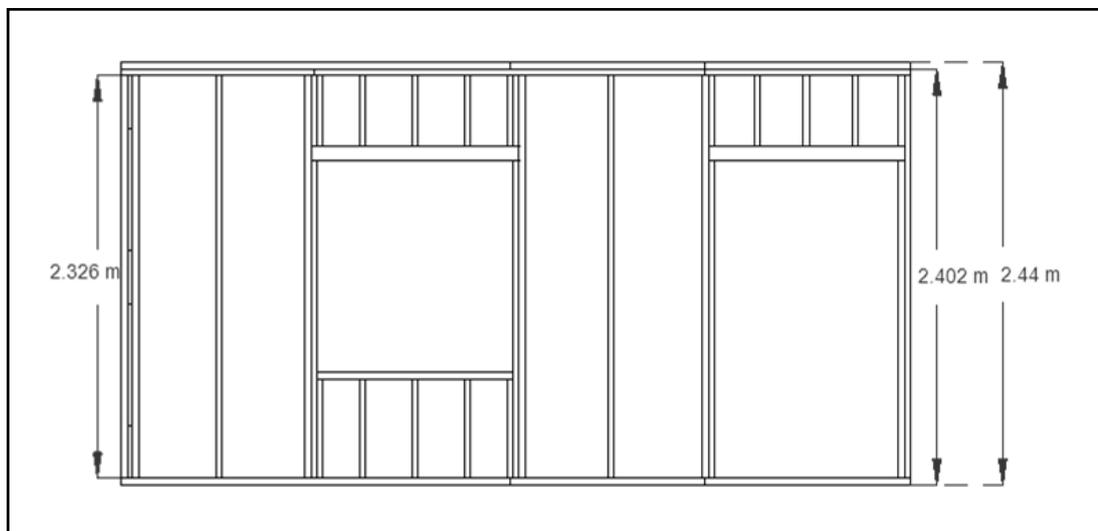


Figura 47. Longitud de los pies derechos para armar el muro de acuerdo a la altura de los tableros contrachapados (2.44 m).

La separación entre centros por cada pie derecho se realizará en múltiplos de 24" (61 cm) como se presenta en la Figura 48. En las dimensiones del entramado vertical, se consideró un aumento de 3 mm a cada 61 cm (24 pulgadas) de separación entre los pies derechos.

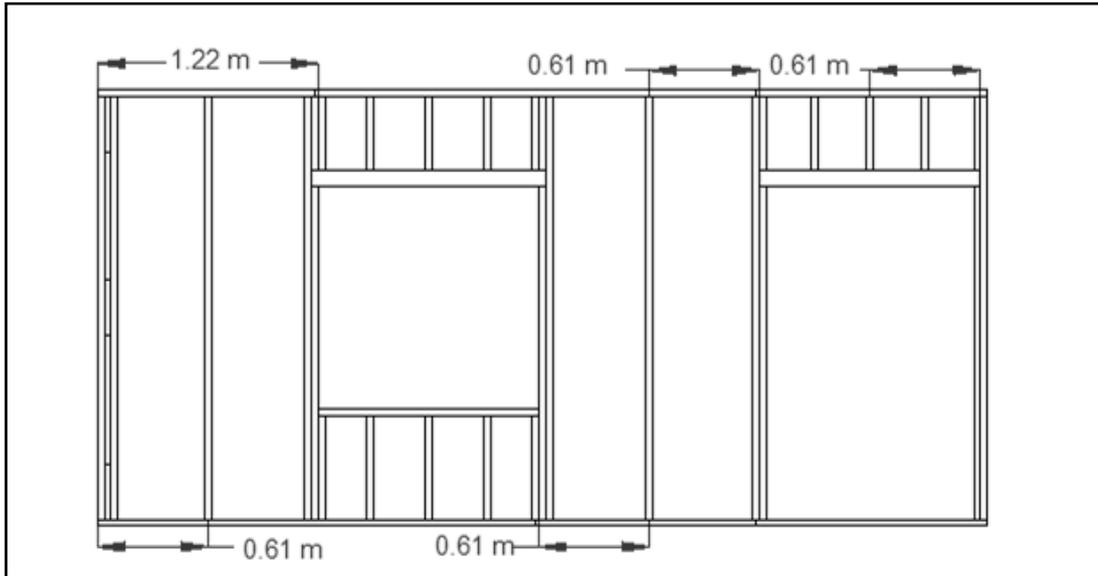


Figura 48. Separación de pies derechos a cada 61 cm (24") entre centros para la colocación de tableros contrachapados (1.22 x 2.44 m).

5.4.1. Vanos para puertas y ventanas

Hanono, (2005), indica que para el armado de puertas y ventanas, se utilizarán puntales por encima del dintel y debajo del alfeizar (3 puntales en cada caso) debido a que el ancho del hueco de la ventana será mayor de 100 cm, la razón es que a medida que aumenta la luz del vano, es necesario reforzar el alfeizar. Las jambas, que sirven de apoyo al dintel, deberán ser de una sola pieza hasta la solera inferior como se muestra en la Figura 49

Los dinteles se formarán con dos piezas de 38 mm (2") de grosor, con un espaciador intermedio (opcional) para dar el ancho de los pies derechos como se indica en la Figura 50.

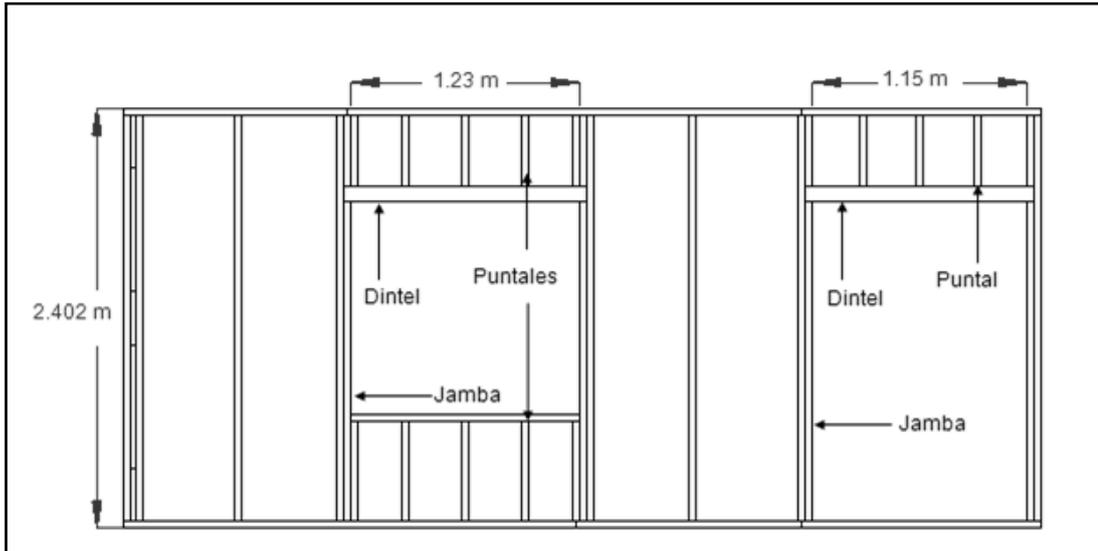


Figura 49. Reforzamiento de los vanos con puntales, dinteles y jambas.

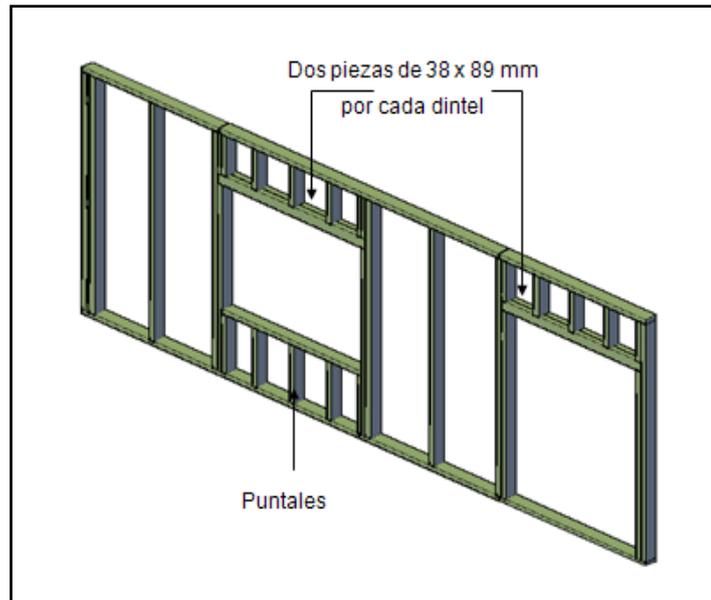


Figura 50. Dimensiones del dintel para puertas y ventanas, 2" x 4" (38 mm x 89 mm).

Las ventanas están diseñadas como medio de escape por lo que deberán tener una altura máxima de antepecho (1 m por sobre el nivel de piso) y estar emplazadas a una distancia máxima por sobre el nivel de piso exterior como se muestra en la Figura 51

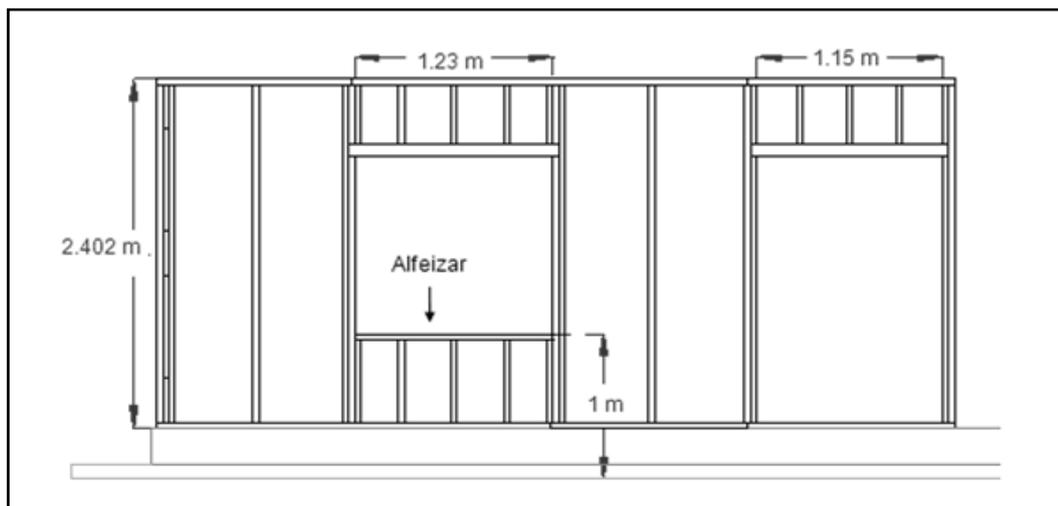


Figura 51. Altura de 1 m desde el alfeizar hasta la base de la losa de la cimentación, para utilizar la ventana como medio de escape.

5.4.2. Armado de paneles

Los paneles se deberán armar en piso firme fuera de la losa de cimentación para evitar daños en la superficie de la misma; o en su defecto se podrán colocar pedazos de madera por debajo de las piezas a clavar. Para el armado de los bastidores, se requiere verificar las dimensiones de cada una de las piezas que formarán los paneles indicados en el Anexo 10 (paneles interiores y paneles exteriores); el procedimiento de armado es similar en cada caso, solo cambia la forma de montar las piezas que formarán los vanos para las puertas y ventanas.

Se recomienda en todo el armado el uso de clavos de 3", o de acuerdo a las recomendaciones de clavado en el Cuadro 27 del Código Internacional de Construcción (UBC).

Se deberán colocar los pies derechos con el lado menor de su sección hacia el plano del panel (de canto), con el fin de ayudar a resistir la acción horizontal perpendicular a este plano como se muestra en la Figura 52 (Hanono, 2005).

Las soleras (inferior y superior) y los postes de esquina junto con sus separadores, se clavarán primero con el fin de generar un marco con las piezas; posteriormente se colocarán los pies derechos separados a cada 61 cm de acuerdo como se indica en la Figura 52.

Se deberán clavar los pies derechos en el momento que se esté armando el bastidor como se presenta en la Figura 53; en el caso de que los pies derechos u otra pieza no se pueda clavar como se indicó anteriormente, los clavos se deberán insertar con un ángulo de aproximadamente 30° (llamado lancero) cuando ya se ha armado el bastidor, (esta recomendación es bastante útil cuando se forman algunos vanos de puertas y ventanas) (Hanono, 2005).

Es importante mencionar que algunos paneles del proyecto de la vivienda, contarán con un arriostramiento diagonal; su función básicamente servirá como refuerzo al momento de construir los paneles en el piso, levantarlos y colocarlos en sus respectivos espacios designados para su anclaje, con el fin de evitar rajaduras en las uniones donde se encuentran los clavos.

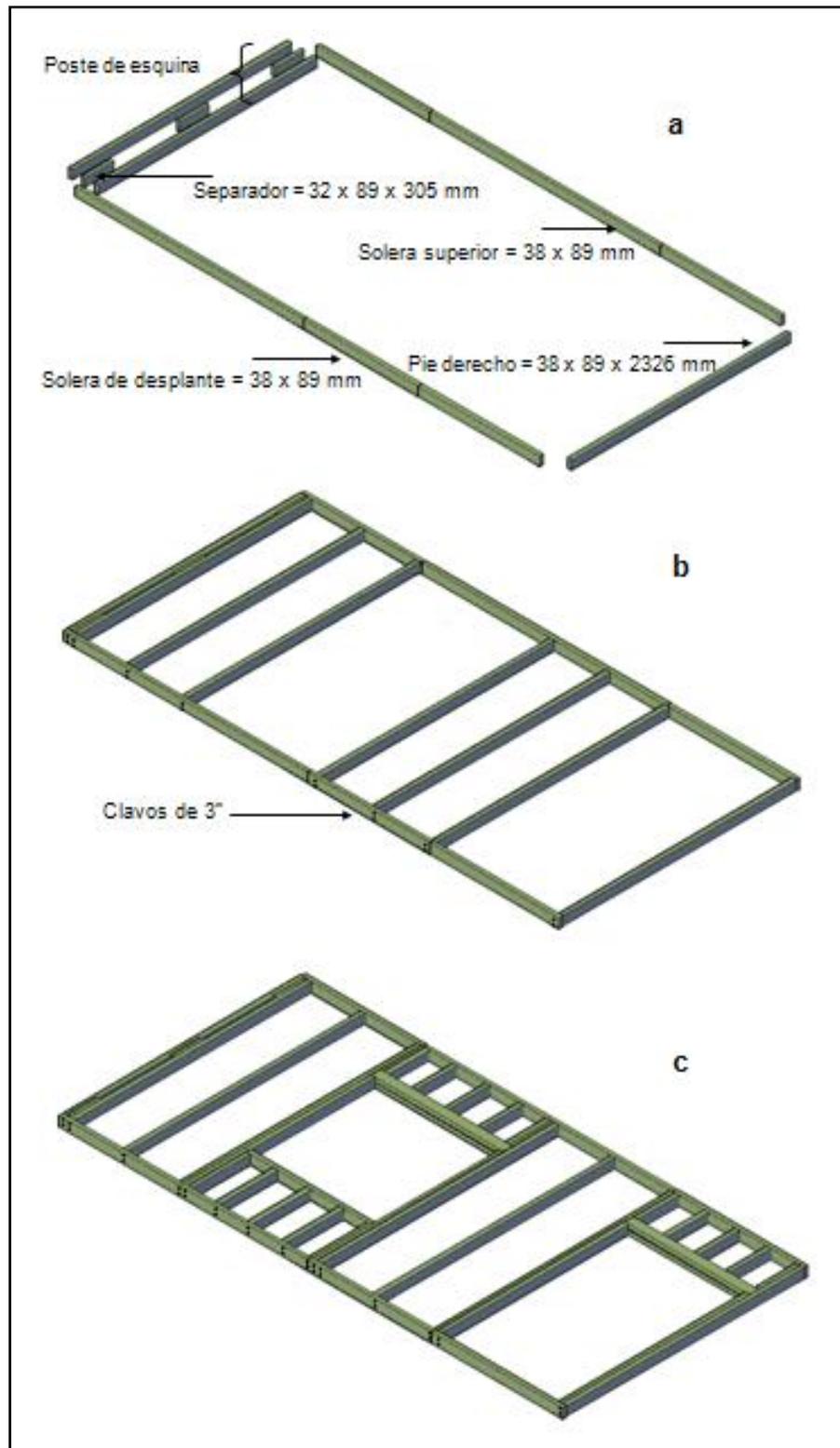


Figura 52. Armado de los paneles: a) Colocación de la solera de desplante, solera superior, postes de esquina y pies derechos para formar el marco; b) Clavado del marco y colocación de los pies derechos; c) Armado del panel con dinteles, jambas, alfeizar y puntales.

Clavados los postes de esquina con sus separadores, las soleras (superior e inferior) y los pies derechos, lo siguiente será colocar la riostra o contraventeo diagonalmente sobre los pies derechos según se indica en la Figura 53; se deberá marcar con un lápiz la sobreposición en los pies derechos, y posteriormente se retirará para hacerle los cortes correspondientes (ver Figura 53) a una profundidad de 1" nominal (19 mm de acuerdo a la NMX-C-224-ONNCCE (2001)).

En toda unión a tope entre piezas del entramado deberá usarse, por lo menos, dos clavos para evitar la rotación de las piezas (Hanono, 2005).

Aunque Hanono (2005), hace la recomendación de que las riostras diagonales sean de una sola pieza, se observó, al momento de diseñar los paneles, que el largo de las riostras aumentarán considerablemente a mayor de 8 pies (2.44 m) a 45° con respecto a la solera inferior, por lo que se tomo la decisión, dado que su función en este caso en particular, no es para soportar las fuerzas de viento y sismo, sino como un auxiliar en el armado de los paneles, las riostras se encontrarán unidas en sus extremos con placas metálicas o en su defecto con cartelas de contrachapado, como se indica en la Figura 54.

Esta operación se deberá repetir en el armado de todos los paneles de acuerdo a las características de cada panel, es decir, el clavado de las piezas que conforman las puertas y ventanas (puntales, dinteles, jambas, entre otros) se debe realizar conforme a las indicaciones y dimensiones previstas en los paneles del Anexo 10.

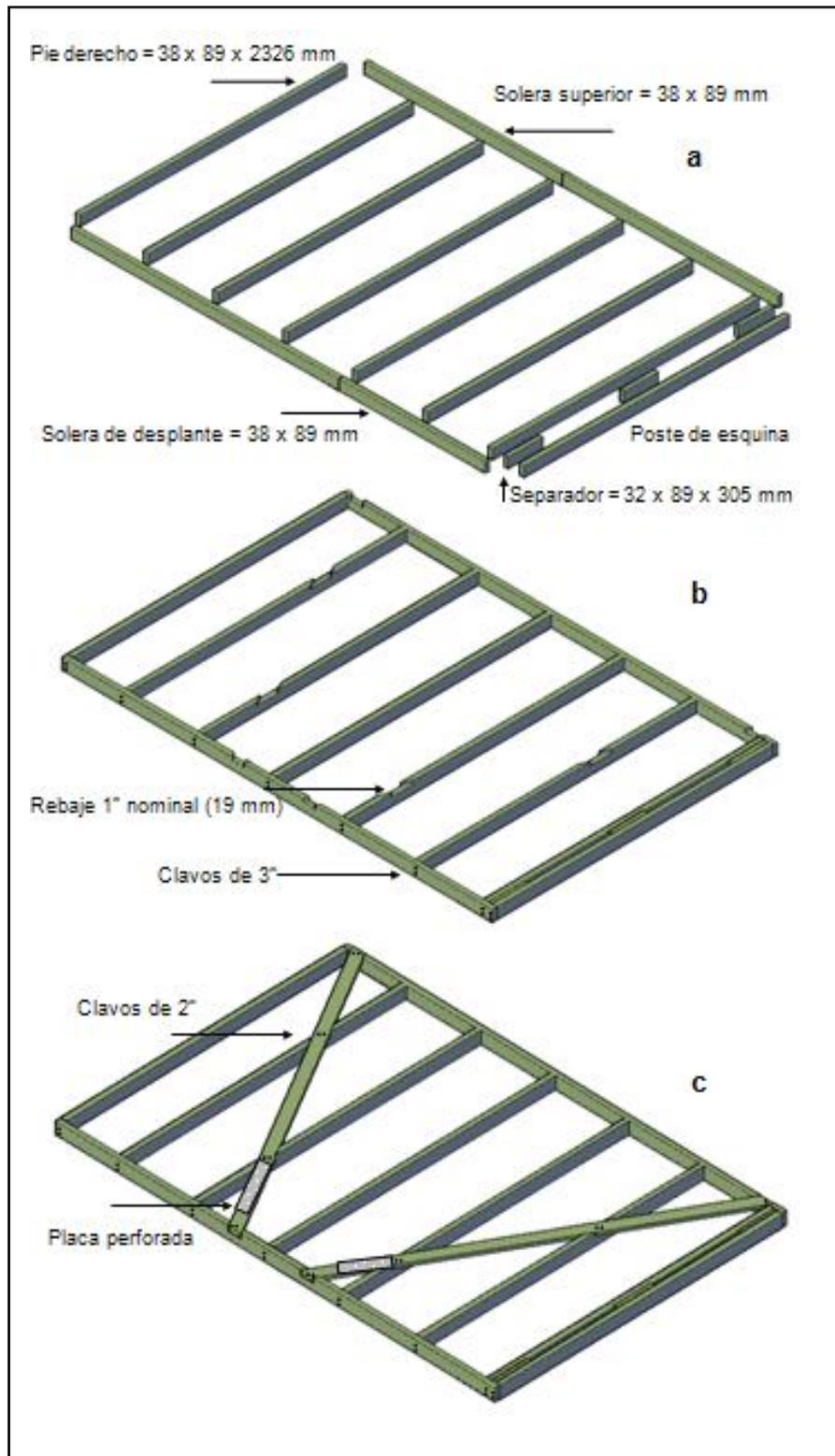


Figura 53. a) Colocación de las piezas para formar el marco; b) Recortes para la colocación de la riostra; c) Armado de las piezas del panel con sus riostras y la placa perforada.

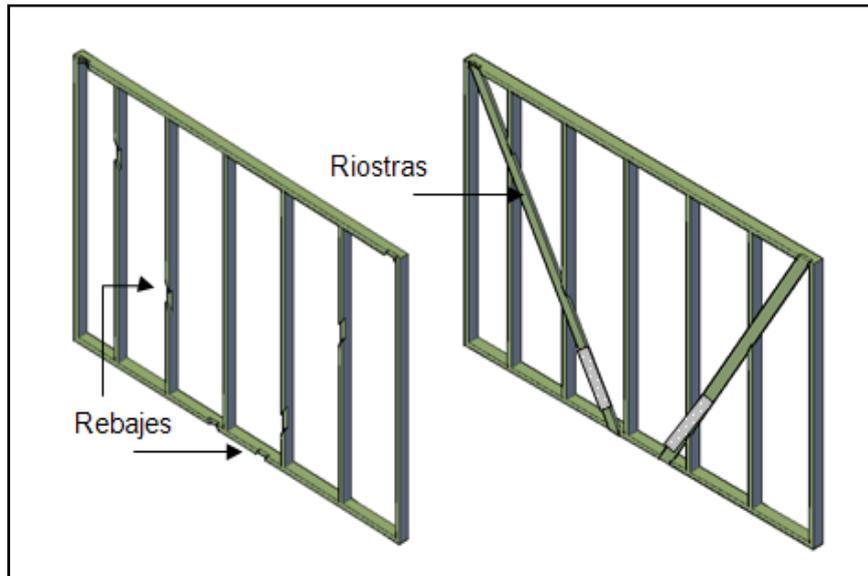


Figura 54. Arriostramiento de los paneles con piezas de 1" x 4".

5.4.3. Anclaje de la solera de desplante

Si el lecho superior tiene pocas irregularidades y está bien nivelado, se usará un sellador consistente en un empaque de fibra de vidrio o capa de fieltro asfáltico que eviten el paso del aire y la humedad. El grosor del empaque será de 1.3 a 2.5 cm. El empaque se comprimirá al apretar las tuercas de las anclas, además servirán para ajustar el nivel. Las rondanas bajo las tuercas deberán ser relativamente grandes para que la presión no deforme la madera excesivamente (COFAN, 1999).

Se deberán hacer las perforaciones a la solera de desplante cuando el panel ya esté formado para que coincidan con la ubicación de los pernos de anclaje de acuerdo al Anexo 2 y 10.

Debido a que en la solera de desplante habrá una penetración total de preservador con sales CCA, de acuerdo a los requisitos mínimos de penetración con base en la NMX-C-322-ONNCCE (2014), no se tendrá el riesgo de que alguna parte de la solera de desplante no se encuentre adecuadamente impregnada y por consiguiente sea vulnerable ante el ataque de los agentes destructores, como suele ocurrir en otras piezas de madera de mayor grosor o ancho como se observó en la Figura 29.

Armados los paneles, basado en las dimensiones indicadas en el Anexo 10, lo siguiente será levantarlos con refuerzo de guías (Figura 55), o de forma manual con la ayuda de varias personas.

Se colocará la solera de desplante sin interrupciones (sin cortes) indicados en la Figura 56, por lo que al término de colocar los paneles y colocar los tableros contrachapados, se procederá a recortarlos de acuerdo con las medidas indicadas para las puertas externas e internas; posteriormente se utilizará “el sobrante” en el armado de otra pieza en la estructura del techo principalmente.

Al momento de colocar el panel en el perno de anclaje, se procede a colocar una tuerca unión para sujetar la solera de desplante a la cimentación (Figura 57). El anclaje adecuado de esta pieza a la cimentación es básico para el comportamiento bajo fuerzas horizontales (sismo y viento), de su colocación depende el buen nivelado, las esquinas a escuadra y los pies derechos bien espaciados (CONAFOR s/f a).

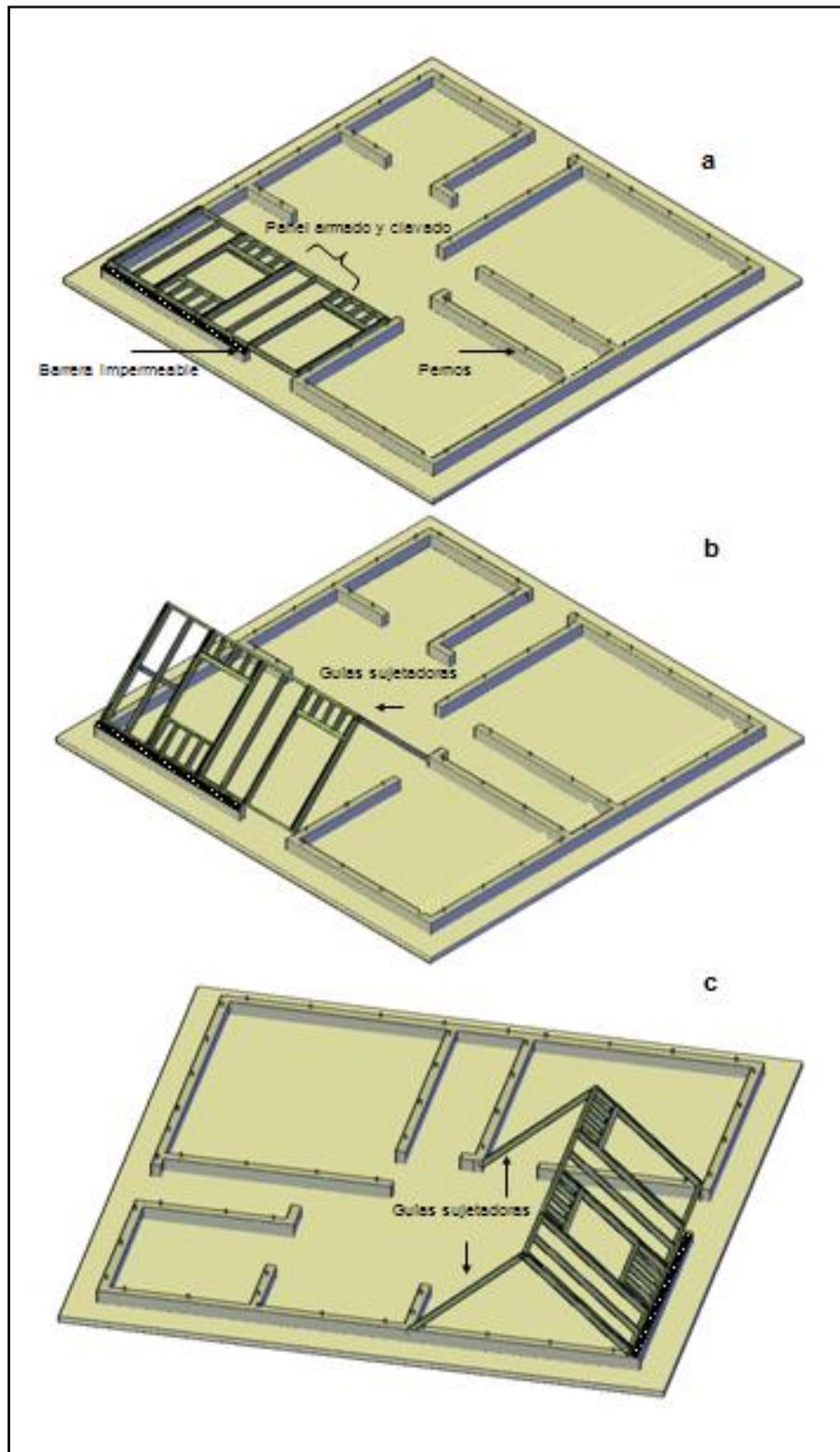


Figura 55. Levantado del panel: a) Colocación de la barrera impermeable en la cadena de sobrecimiento; b) y c) Colocación de guías sujetadoras del panel.

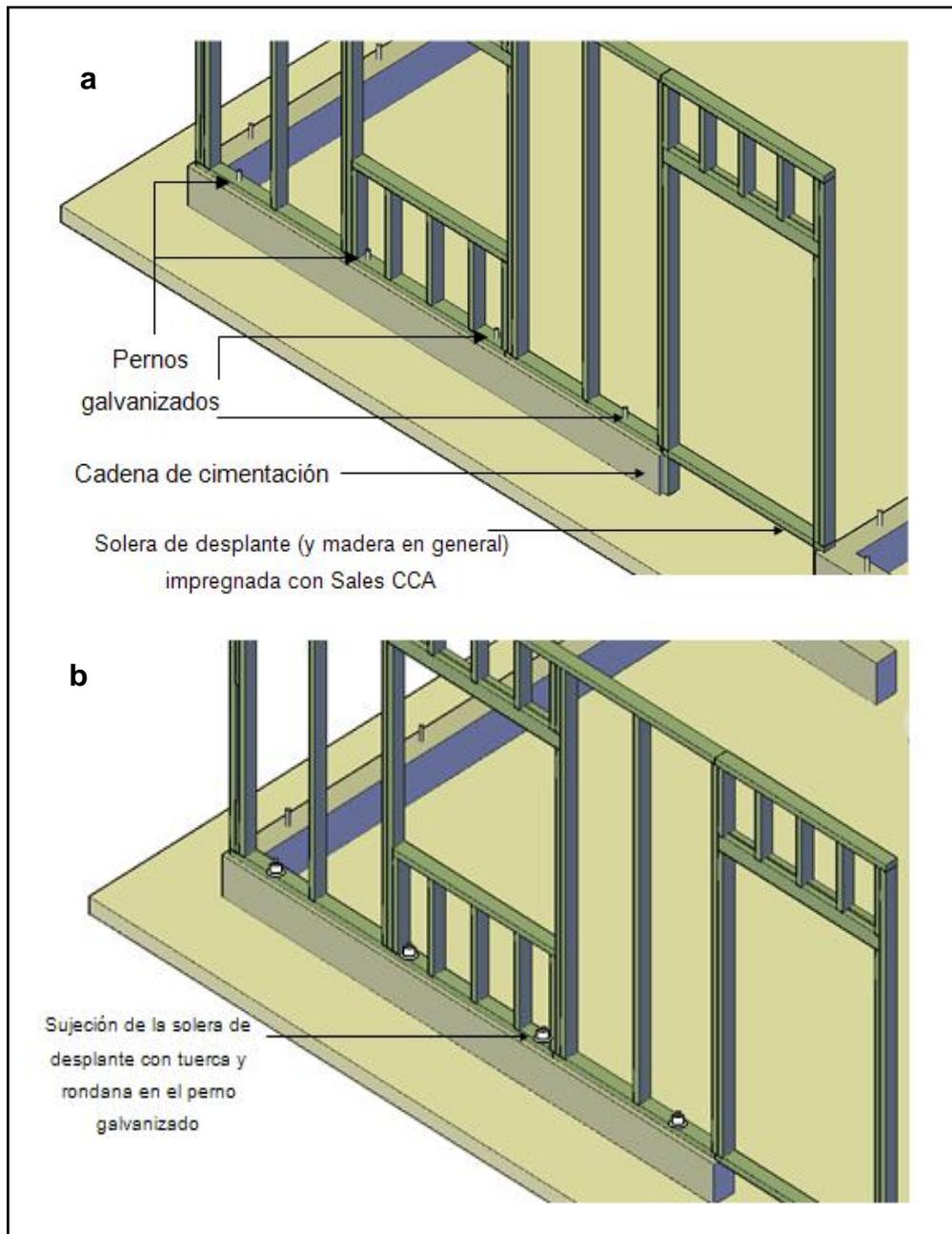


Figura 56. a) Colocación del panel sobre la cadena de sobrecimiento; b) Colocación de tuercas y rondanas en los pernos galvanizados.

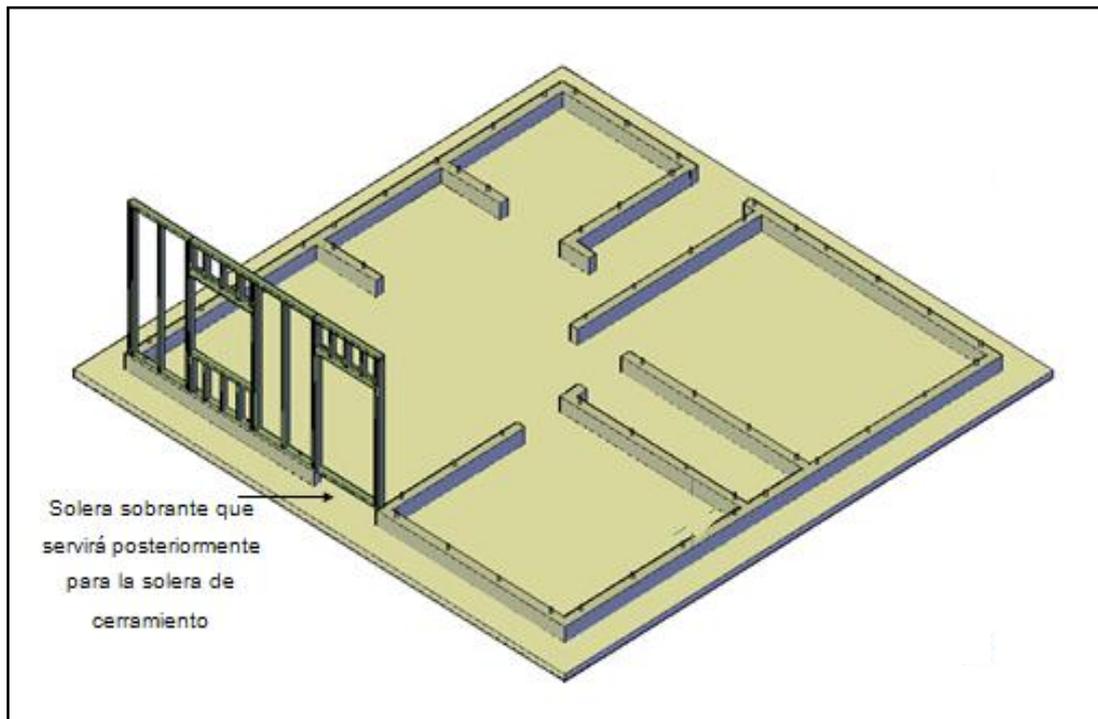


Figura 57. Panel colocado en su sitio de acuerdo a la ubicación del Anexo 1, 8 y 10.

5.4.4. Postes de esquina, uniones en “ELE” y “T”.

La unión de los paneles se realizará con postes de esquina; los paneles laterales externos e internos, deberán unirse en “ELE” o en “T” como se indica en la Figura 58, esto para cumplir con el objetivo de darle sustento y base óptima de clavado a los paneles en las uniones tanto en esquina como en las intersecciones.

Es importante mencionar que en el armado de las intersecciones se podrán utilizar clavos de 3”, o de acuerdo al Cuadro 27 del Código Uniforme de Construcción.

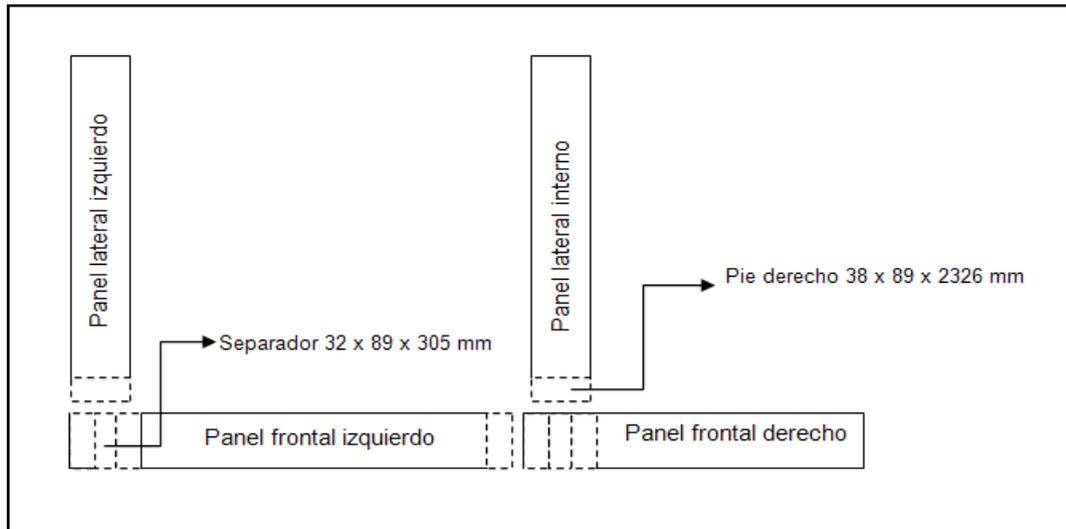


Figura 58. Vista superior del tipo de unión: Unión en “ELE” (izquierda); Unión en “T” (derecha).

En las Figuras 59 a 62, se indica el tipo de unión recomendado para los paneles tanto externos como internos así como la vista general de los paneles unidos en el proyecto de vivienda.

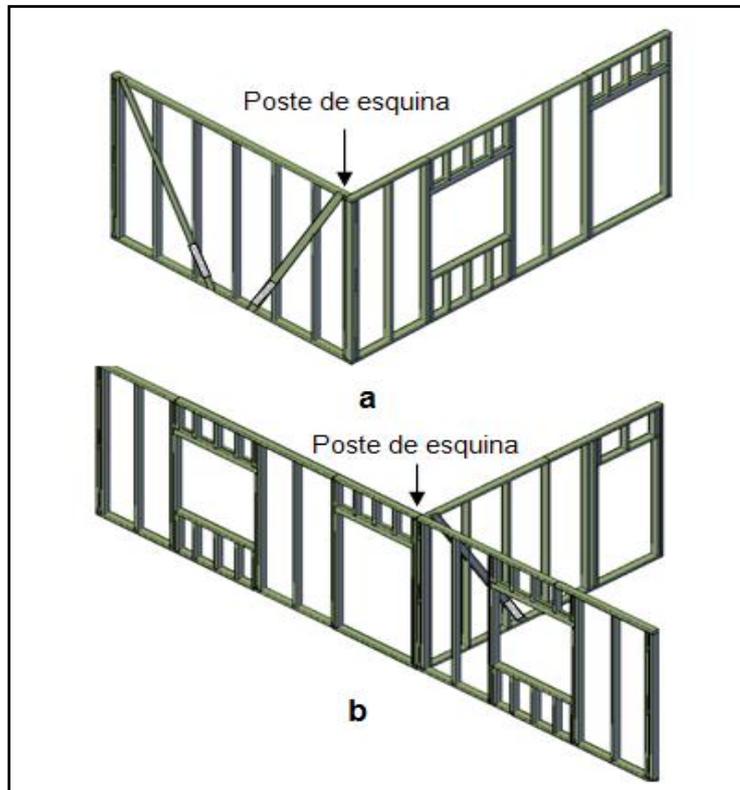


Figura 59. Tipo de unión entre paneles con postes de esquina: a) Encuentro en “ELE”; b) Encuentro en “T”.

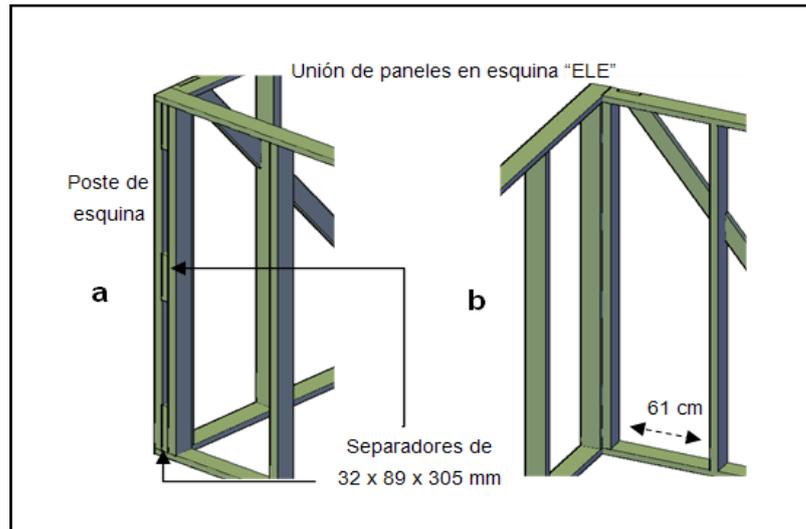


Figura 60. Encuentro de paneles en esquina "ELE".

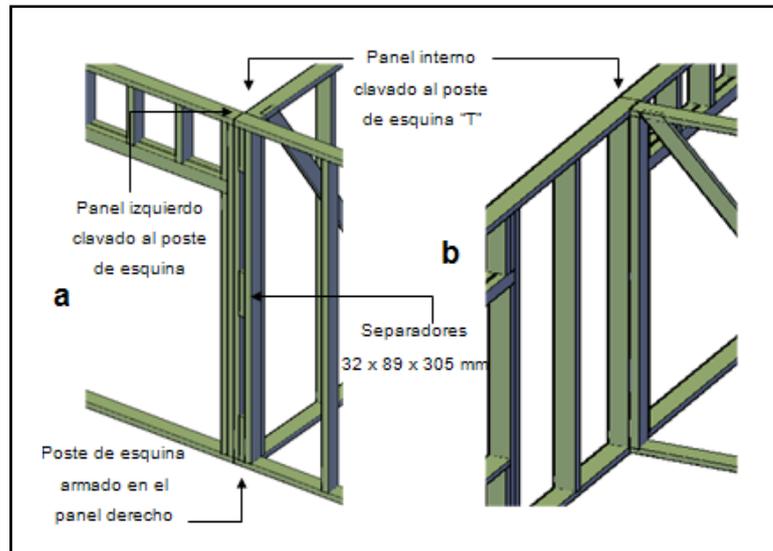


Figura 61. Encuentro de paneles en "T".

Barajas (2009), señala que una cuadrilla de 4 personas, dos oficiales carpinteros y dos peones, tardan una jornada de 8 horas para terminar de colocar todas las paredes de la planta baja de una casa, además de que se encargan de dejar a nivel verticalmente las paredes como se indica en la Figura 62.

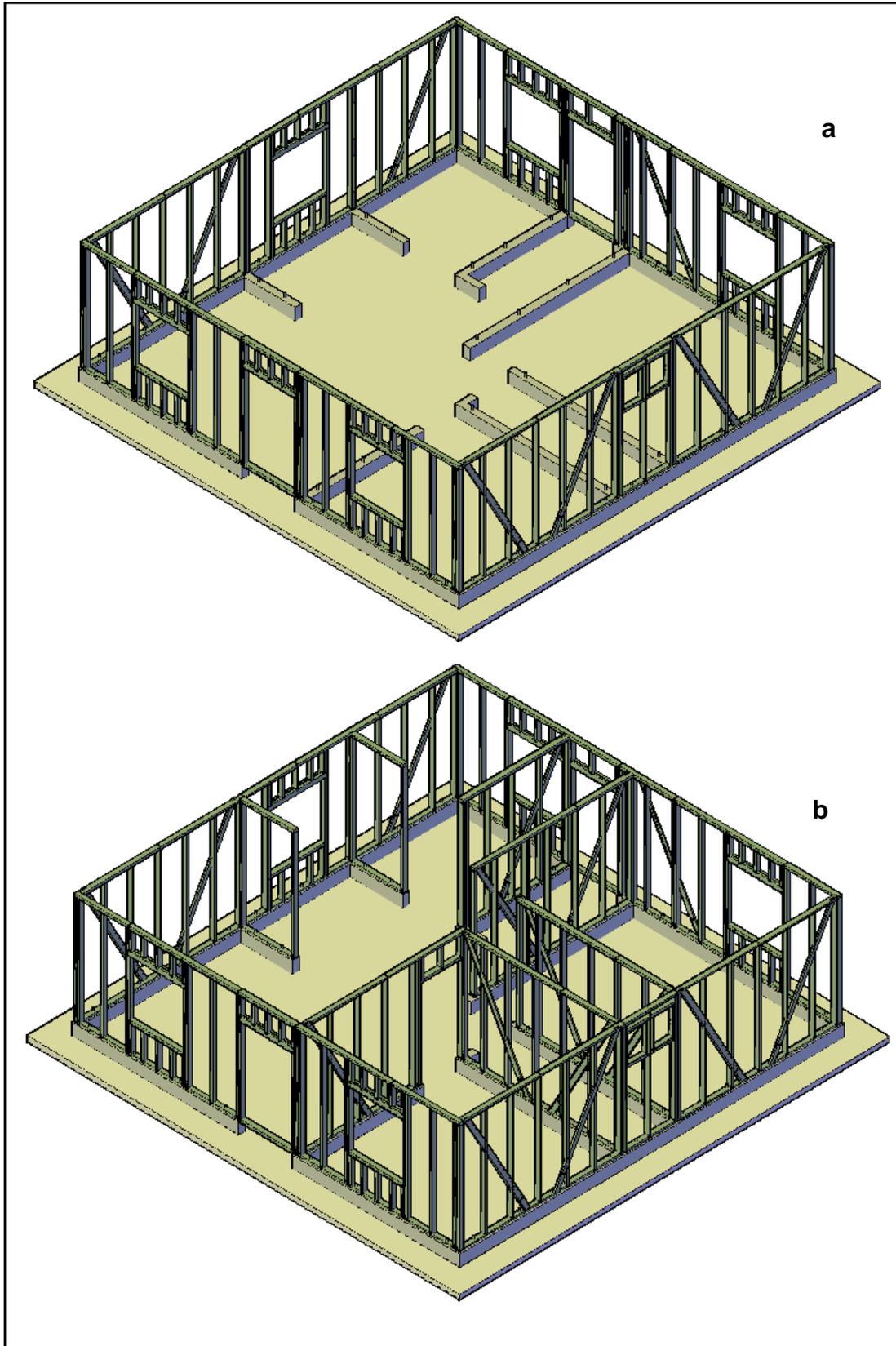


Figura 62. Colocación de los paneles encima de la cadena de cimentación. a) Colocación de paneles externos, uniones en “ELE” y en ejes continuos; b) Colocación de paneles internos, uniones en “T”.

5.4.5. Solera de cerramiento o de amarre

“Al clavar la solera de cerramiento a la solera superior del panel (Figura 63), se deberán utilizar clavos de 3” ó 3 ½” en tres bolillo espaciados a cada 40 cm ó 60 cm, mas dos clavos adicionales en los extremos de cada pieza que forma la solera” (CORMA, 2004; COFAN, 1999).

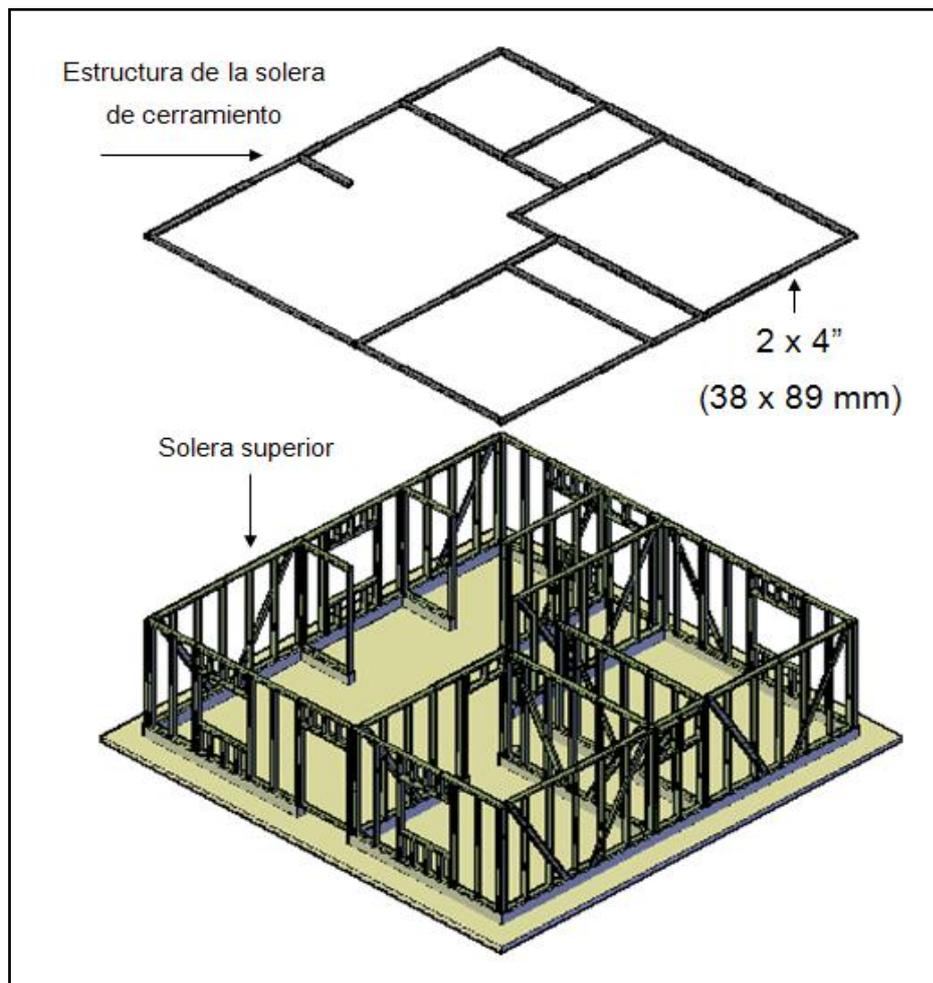


Figura 63. Solera de cerramiento.

“Las juntas entre los extremos de las soleras de amarre, ejes continuos, las juntas en uniones en “ELE” y “T”, deberán quedar desplazadas con respecto a las de las soleras superiores a una distancia cuando menos igual al espaciamiento de los pies derechos como se indica en las Figuras 64 a 66” (COFAN, 1999; Hanono, 2005).

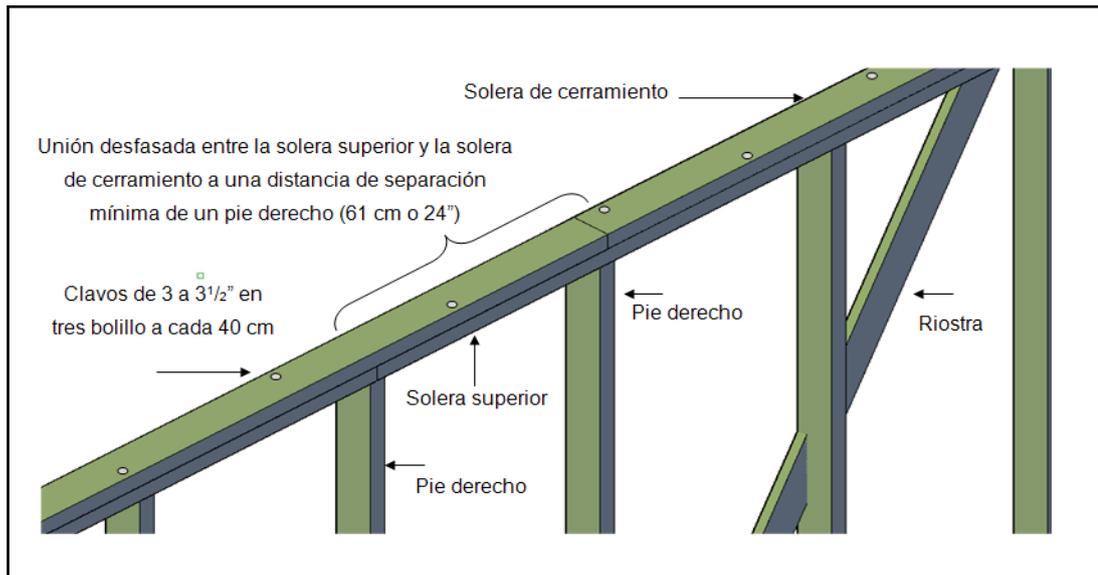


Figura 64. Desfase de la solera superior y de cerramiento en eje continuo.

Las soleras superiores (superior y de cerramiento) deberán ser de las mismas dimensiones (38 mm x 89 mm), cuya función será proporcionar una resistencia adecuada; además, asegurará una mayor resistencia a la flexión para recibir la carga de cualquier elemento que se apoye entre los pies derechos y facilitará el amarre de los diversos componentes de los muros como se muestra en la Figura 65 y 66.

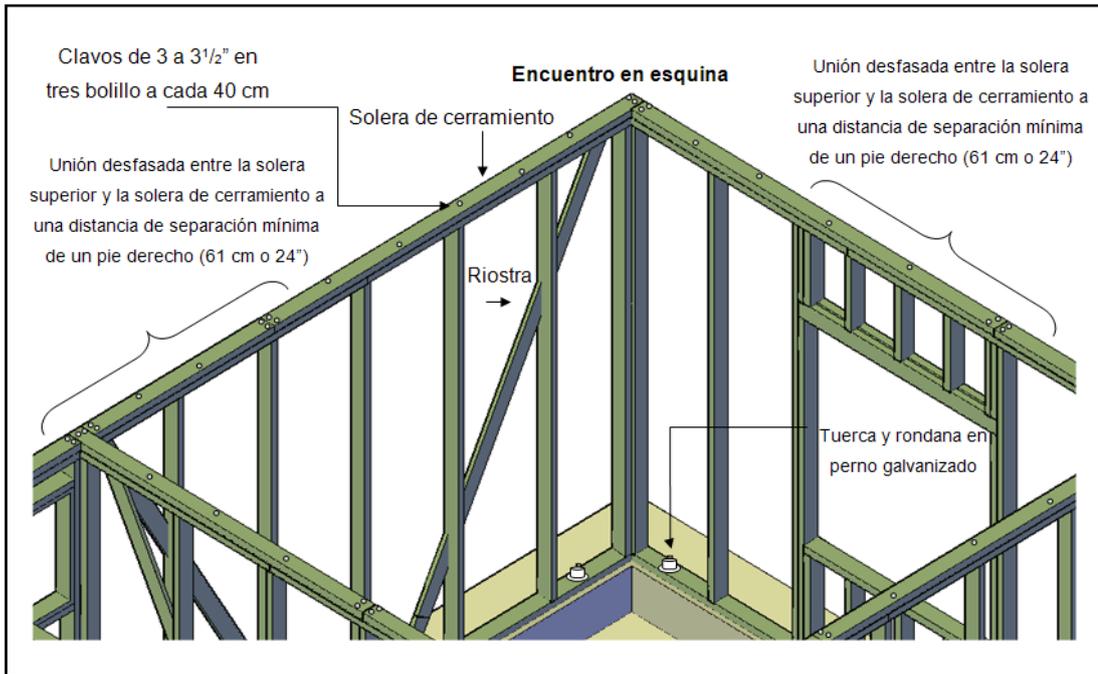


Figura 65. Colocación de la solera de cerramiento en encuentro en esquina "ELE" y desfase entre la solera superior y la solera de cerramiento por lo menos un pie derecho.

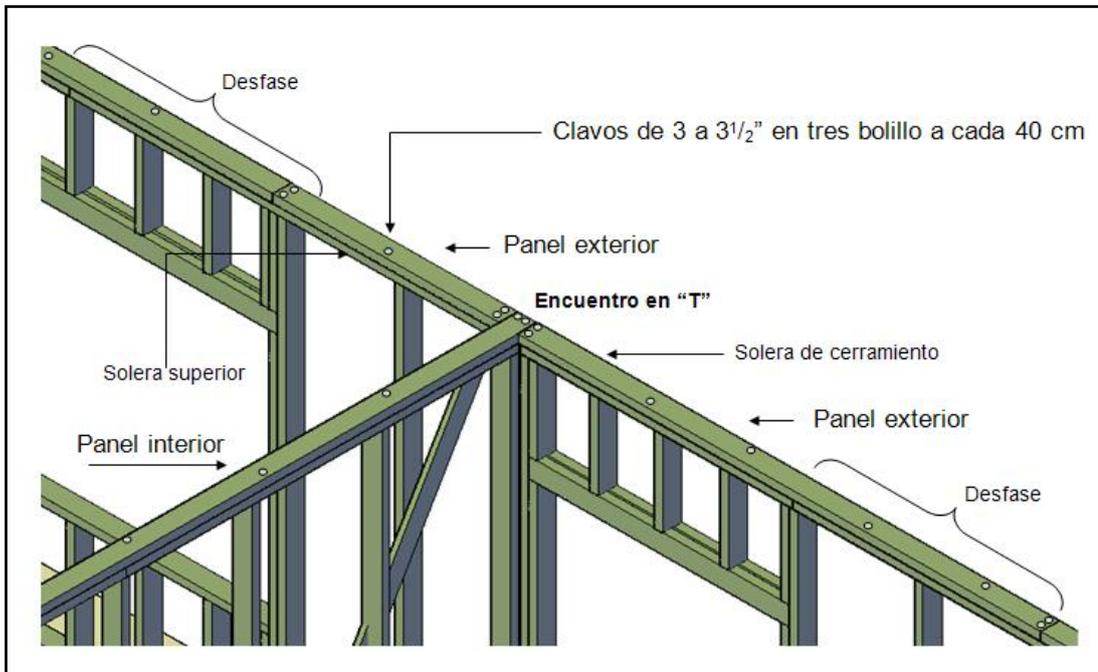


Figura 66. Colocación de la solera de cerramiento en encuentro en "T" y desfase entre la solera superior y la solera de cerramiento por lo menos un pie derecho.

5.4.6. Construcción del frontón triangular o tímpano

El Frontón triangular o tímpano tendrá una pendiente del 33%. El diseño del entramado del frontón triangular se presenta en la Figura 67, conforme lo indica American Softwoods (s/f a) y COFAN (1999).

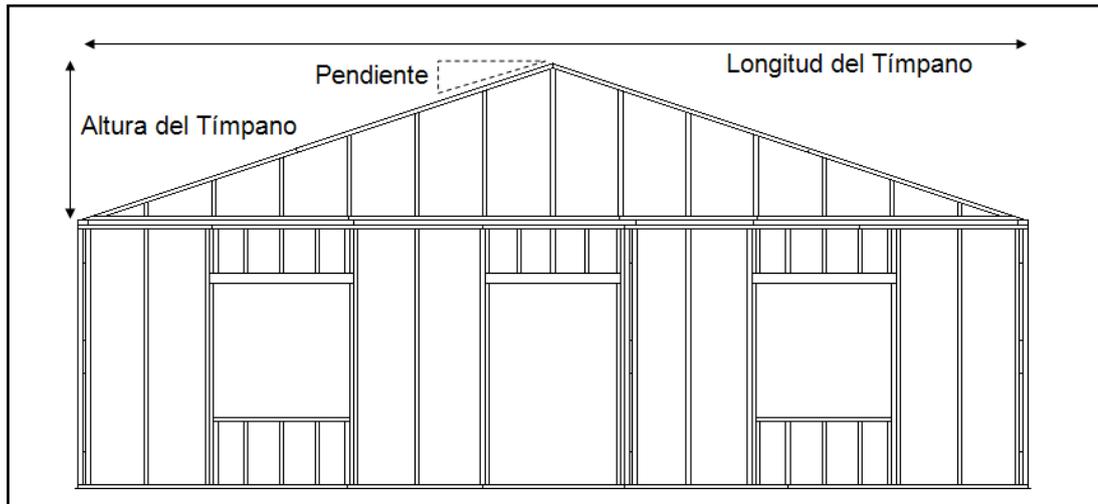


Figura 67. Vista frontal de la vivienda con el tímpano o frontón triangular en la parte superior del panel.

Las dimensiones del tímpano y su diseño, se presentan en la Figura 68 y 69, y Anexo 11. Se recomienda sujetarla con clavos lanceros de 3 a 4" sobre la solera de cerramiento que abarque hasta la solera superior, o como se indica en el Cuadro 27, del UBC.

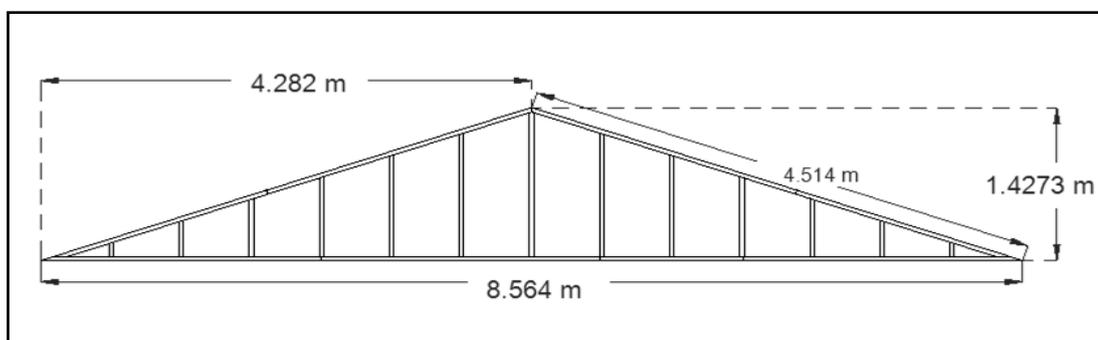


Figura 68. Dimensiones del frontón triangular o tímpano.

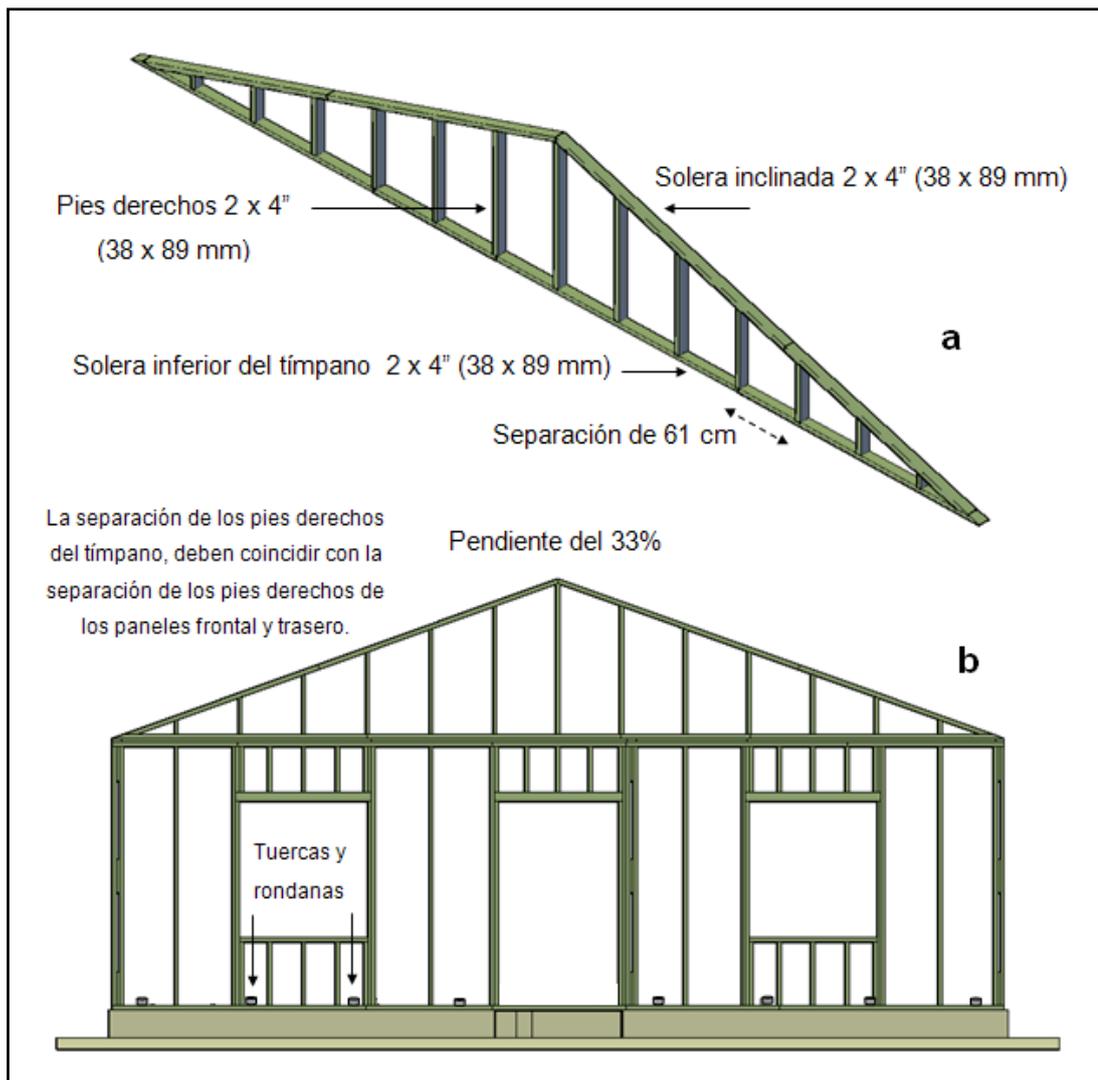


Figura 69. Estructura del frontón o tímpano: a) Dimensión y colocación de las piezas que forman el tímpano; b) Tímpano descansando en el panel frontal y adecuada separación de los pies derechos del tímpano.

Al momento de construir el tímpano, la separación de los pies derechos (24" ó 61 cm), deberá coincidir con la separación de los pies derechos de los paneles inferiores como se indica en la Figura 69 y 70.

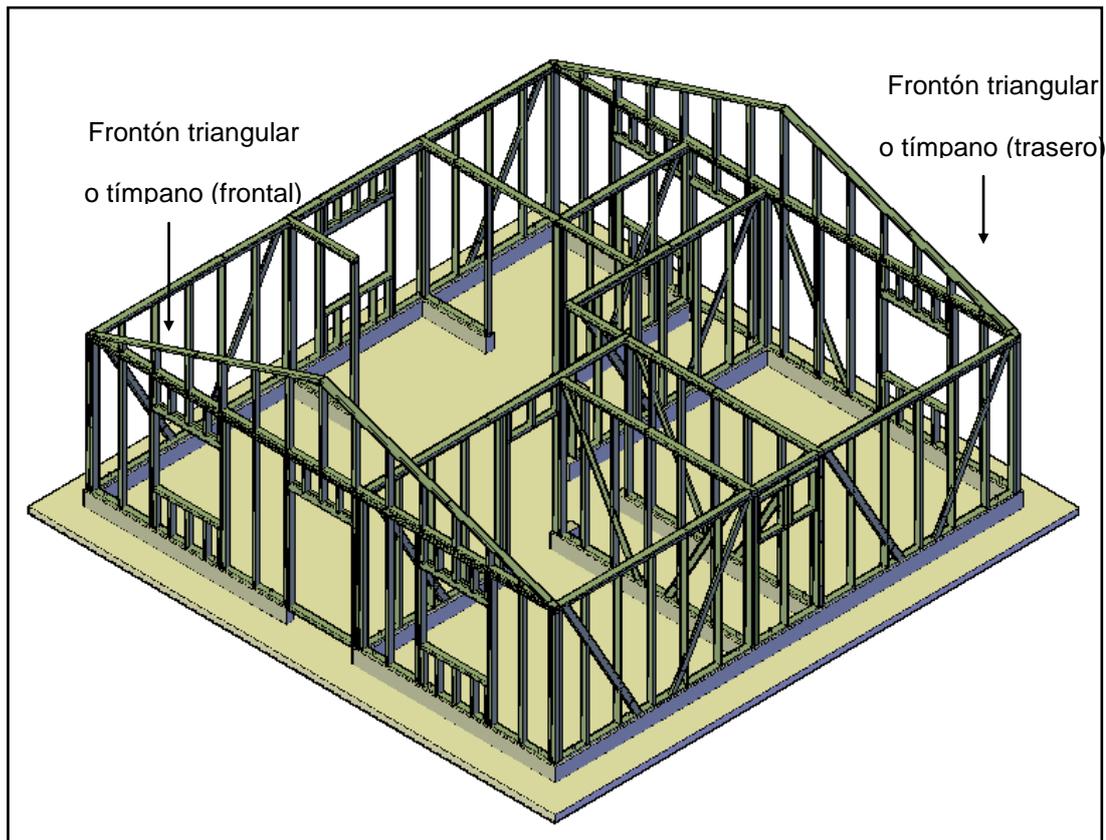


Figura 70. Ubicación de los tímpanos en la estructura de la vivienda de madera preservada con sales CCA.

5.4.7. Colocación de tableros en los muros

En seguida se mencionan las características que deben cumplir los tableros contrachapados de madera de pino para exteriores e interiores:

Para exteriores: tableros contrachapados de dimensiones 12 mm x 1220 mm x 2400 mm, para uso en exteriores fabricado con FF; con las combinaciones de chapas para tableros exteriores, no importando la calidad de su superficie ya que se utilizará mortero; su colocación será vertical (Figura 71); se requieren clavos de 2¹/₂" clavados a cada 15 cm en los bordes y en la parte

central (donde la separación de los pies derechos es de 61 cm) a cada 30 cm (Figura 72 y 73).

En el caso de utilizar tableros americanos para exteriores, se recomienda utilizar cualquiera de las siguientes clases: clase APA C-C forro exterior; APA C-D forro exposición 1 ó APA 303 recubrimiento exterior. Si se llegara a considerar el uso de tableros OSB (Oriented Strand Board), deberán estar fabricados con resinas de FF a un grosor de 12 mm.

Para tableros en interiores: tableros contrachapados de dimensiones de 12 mm x 1220 mm x 2400 mm (aunque se puede utilizar el de grosor de 9 mm), para uso en interiores fabricado con UF; con las combinaciones de chapas para tableros interiores de calidad A o B, en este caso si importando su superficie, ya que el acabado será para la vista interior; su colocación será vertical; se requieren clavos de 2¹/₂" si es para tableros de 12 mm, y 2" en el caso de tableros de 9 mm, clavados a cada 15 cm en los bordes y en la parte central (donde la separación de los pies derechos es de 61 cm) a cada 30 cm (Figura 72 y 73). En el caso de utilizar tableros americanos, se recomienda la clase APA 303 recubrimiento exterior.

En la Figura 74 y 75 se observa la colocación de tableros contrachapados en toda la envolvente de la vivienda.

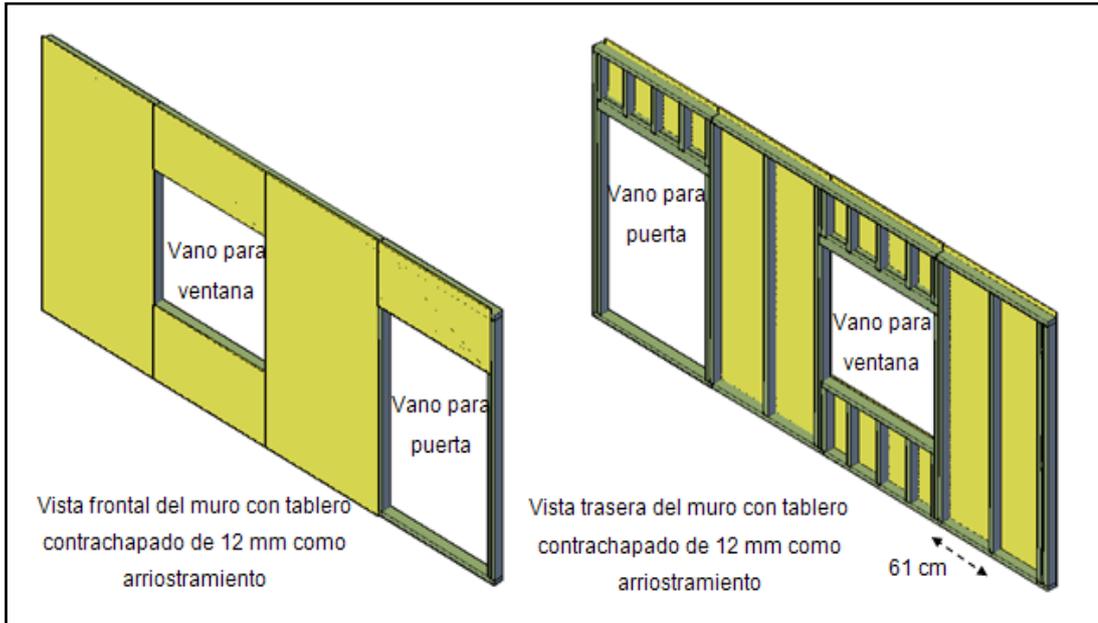


Figura 71. Bastidor con madera de 2" x 4" preservada, formando un panel y arriostrado con tableros contrachapados.

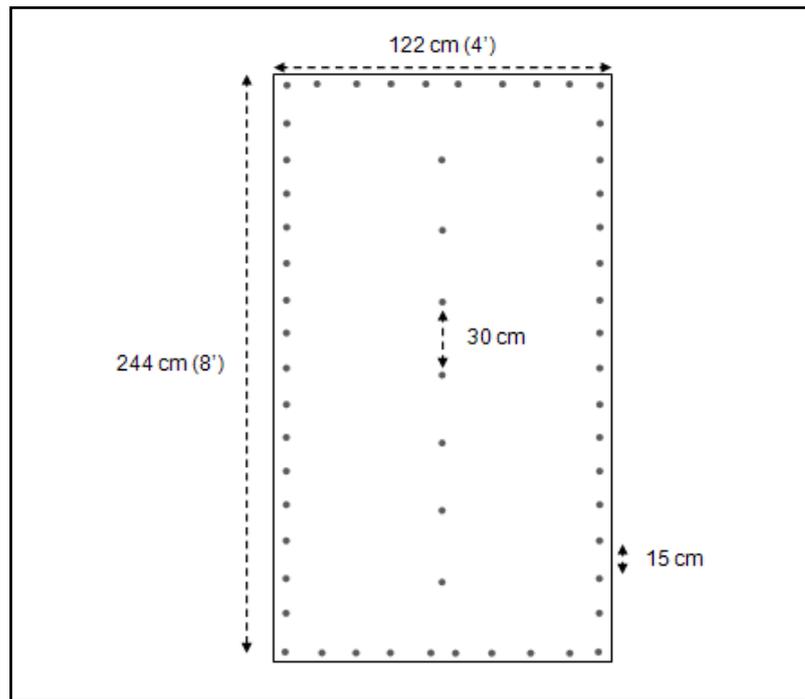


Figura 72. Fijación de tablero contrachapado de 12 mm, para exteriores (FF) con clavos de 2¹/₂" a cada 15 cm en el perímetro y a cada 30 cm en los bordes internos.

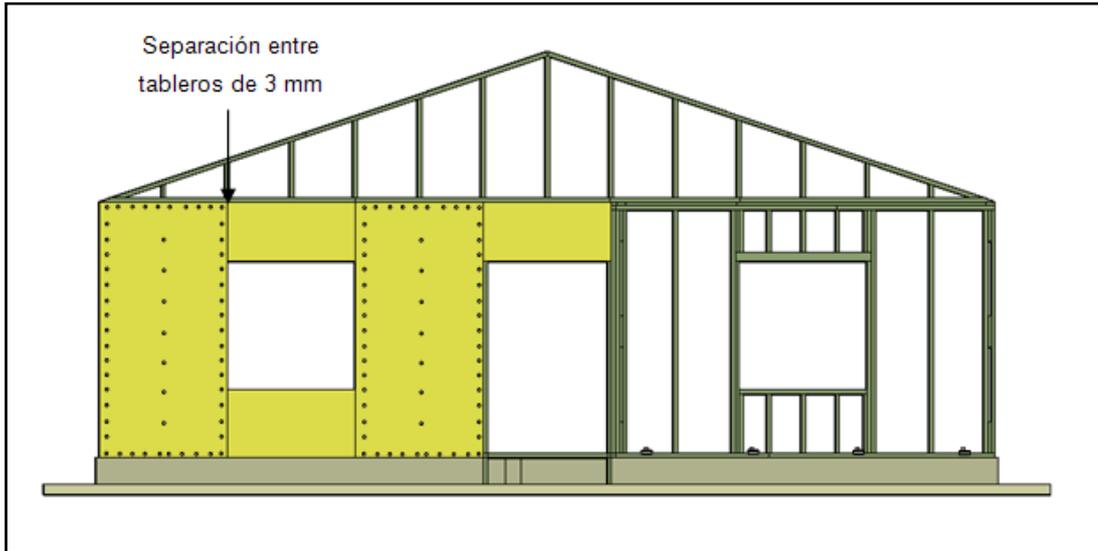


Figura 73. Colocación de tableros contrachapados para exteriores (FF) de 12 mm. Fijados con clavos de 2¹/₂" a cada 15 cm en los bordes y en la parte central a cada 30 cm.

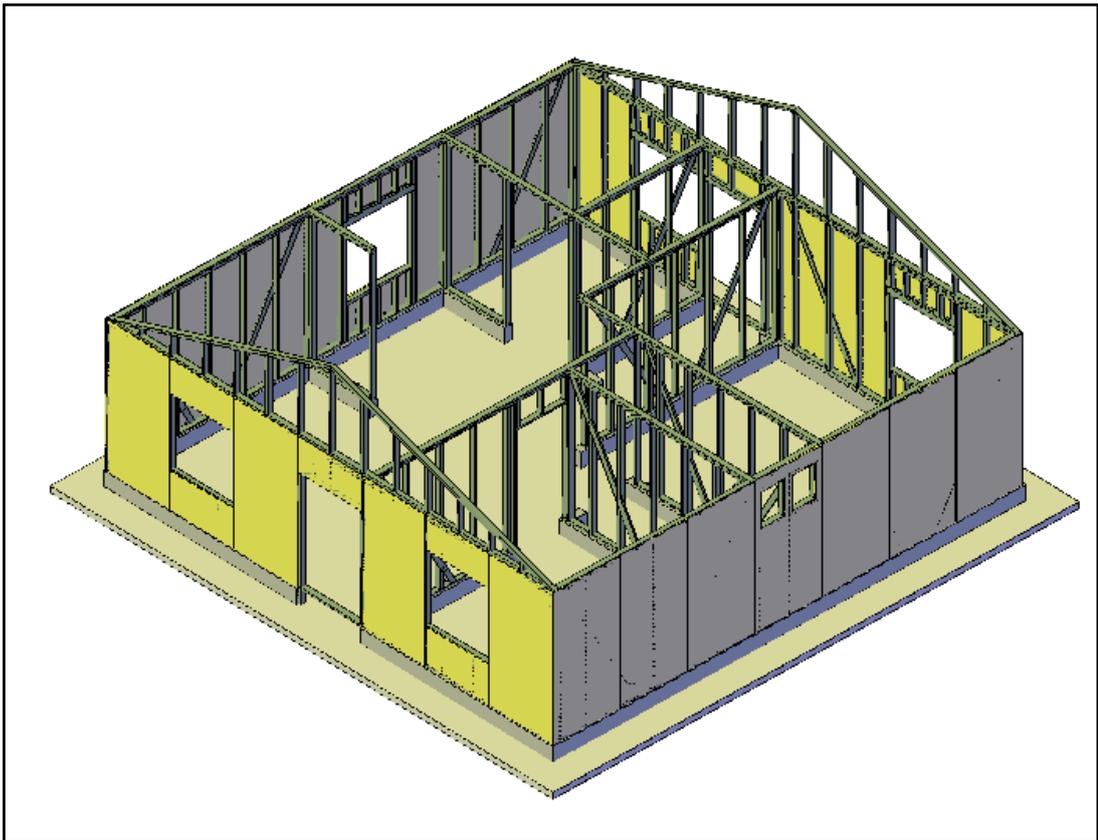


Figura 74. Colocación de tableros contrachapados de 12 mm para exteriores (FF) en los muros perimetrales.

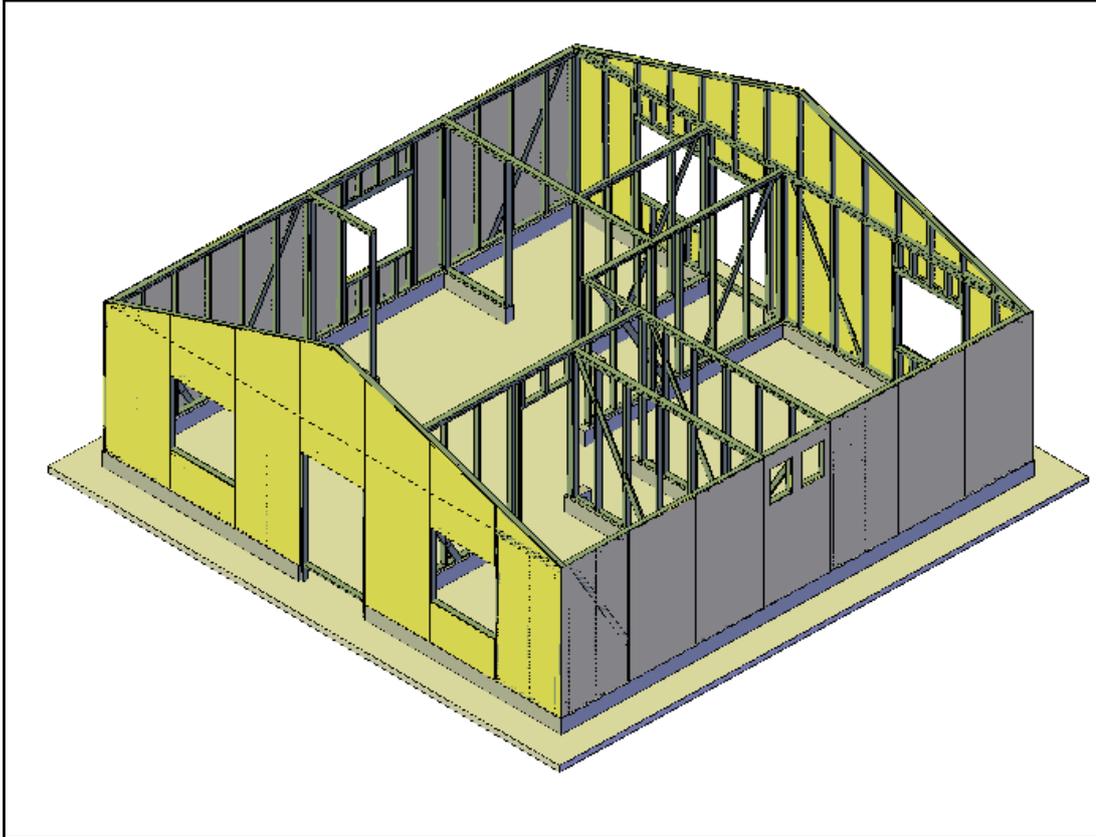


Figura 75. Colocación de tableros contrachapados de 12 mm (FF) en los frontones triangulares (típanos frontal y trasero).

El clavado de los tableros contrachapados en el frontón triangular son de las mismas características que para los paneles frontales de los muros (Figura 72 y 73), en este caso se recomienda revisar el Anexo 11, para comprobar las dimensiones y los cortes necesarios a los tableros para cubrir el tímpano.

5.5. Techo

Cada una de las piezas que conformará el techo cumple una función específica, por lo que durante su construcción, se deberán seguir los planos del Anexo 11 y 12 al pie de la letra junto con las recomendaciones mencionadas en apartados anteriores. Se debe tener especial cuidado en la construcción de la estructura ya que se considera fundamental el correcto acomodo de cada pieza.

5.5.1. Construcción de los aleros

Se construirán mayoritariamente con madera de 2" x 4" (38 mm x 89 mm). Para las fascias (uniones en la parte superior e inferior del alero), se utilizará madera de 24 mm x 102 mm; 1 1/4" de grosor nominal, (24 mm de acuerdo a la NMX-C-224-ONNCCE (2001)), las dimensiones y el acomodo de las piezas, se muestran en la Figura 76 y 77.

Se recomienda el uso de clavos de 3" ó 3 1/2" para su armado. Para su anclaje con el tímpano, se recomienda el uso de clavos lanceros de 4" y/o realizando una muesca cilíndrica e ingresando el clavo dentro del hueco (Figura 78); para mayor seguridad, se recomienda consultar el Cuadro 27 del UBC.

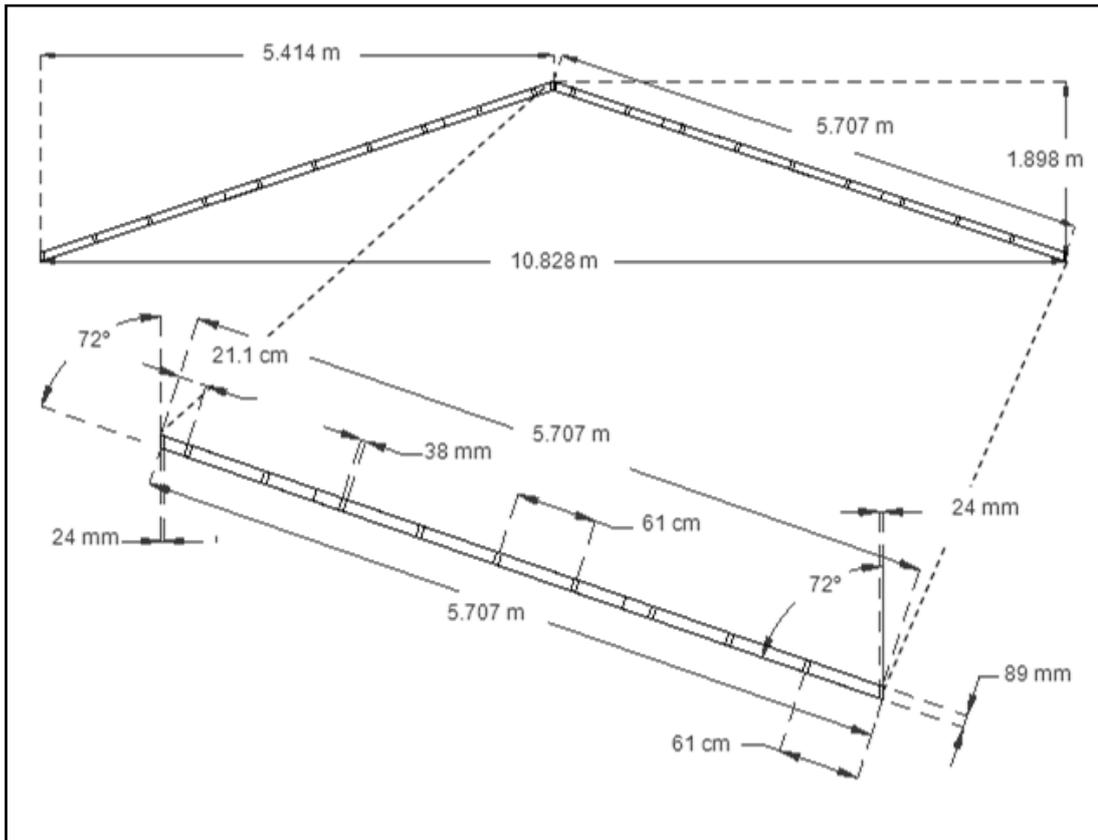


Figura 76. Vista frontal de las dimensiones del alero.

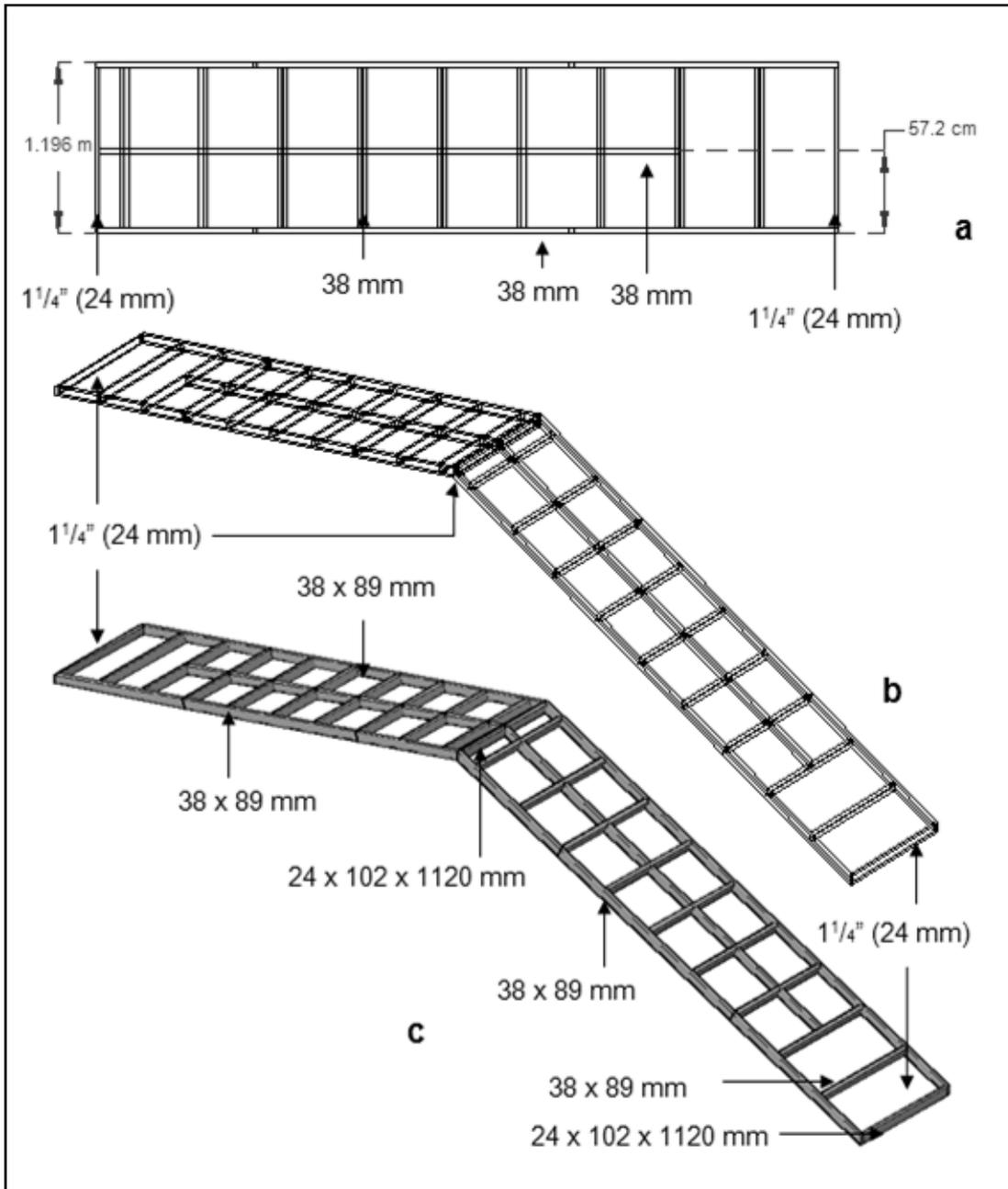


Figura 77. Dimensiones de los aleros: a) Vista superior; b) y c) Vista en isométrico.

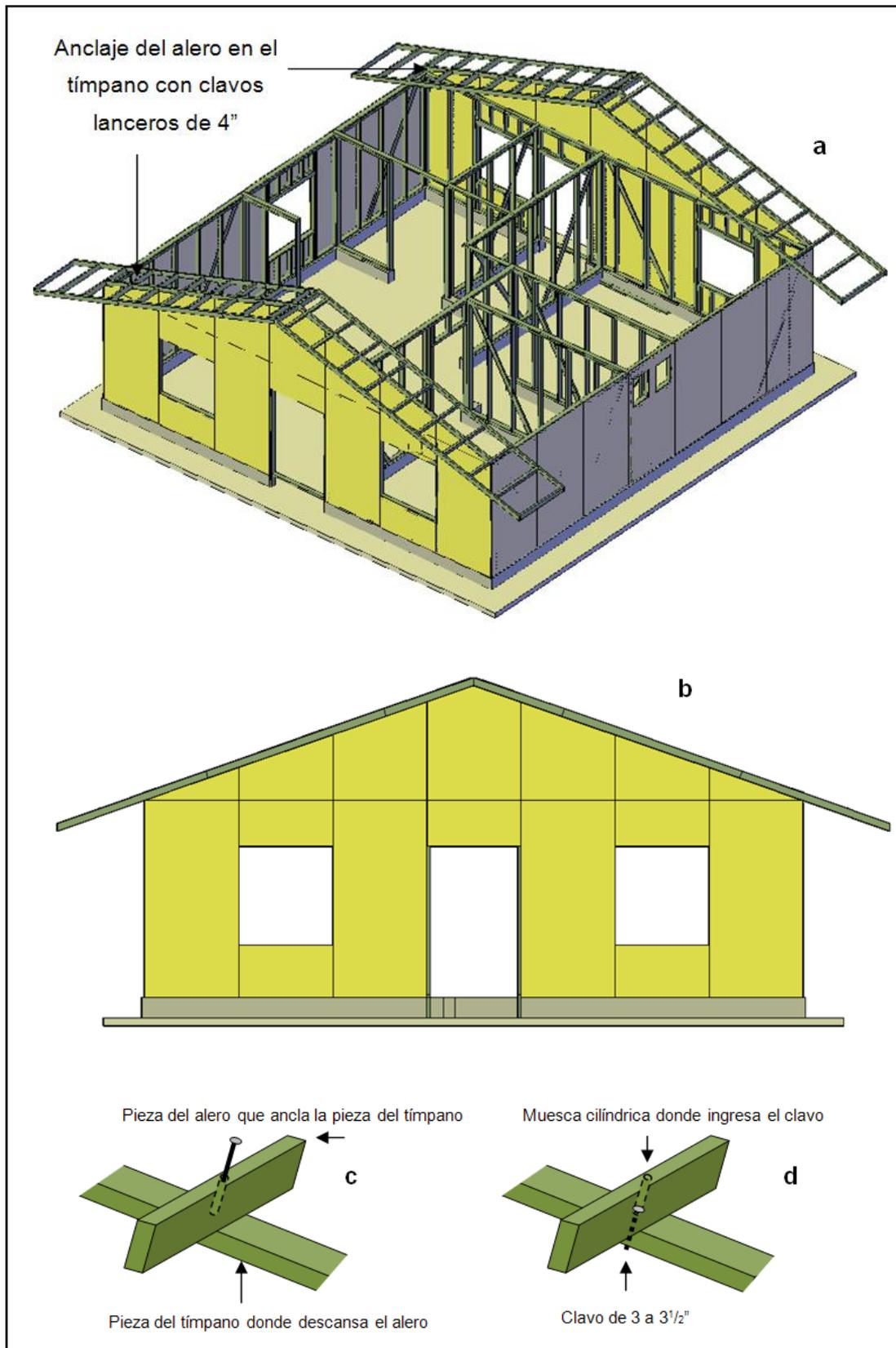


Figura 78. a) Colocación del alero frontal y trasero; b) Frente de la vivienda con la colocación del alero sobre el tímpano y panel; c) Muesca cilíndrica para insertar el clavo; d) Anclaje del clavo.

5.5.2. Construcción de las armaduras

De preferencia se recomiendan piezas lo más largas posible en las soleras superiores de las armaduras, es decir aproximadamente de 6 m, de no ser posible, las uniones entre los pies derechos deberán colocarse en cada nudo o articulación de la armadura como se indica en la Figura 79.

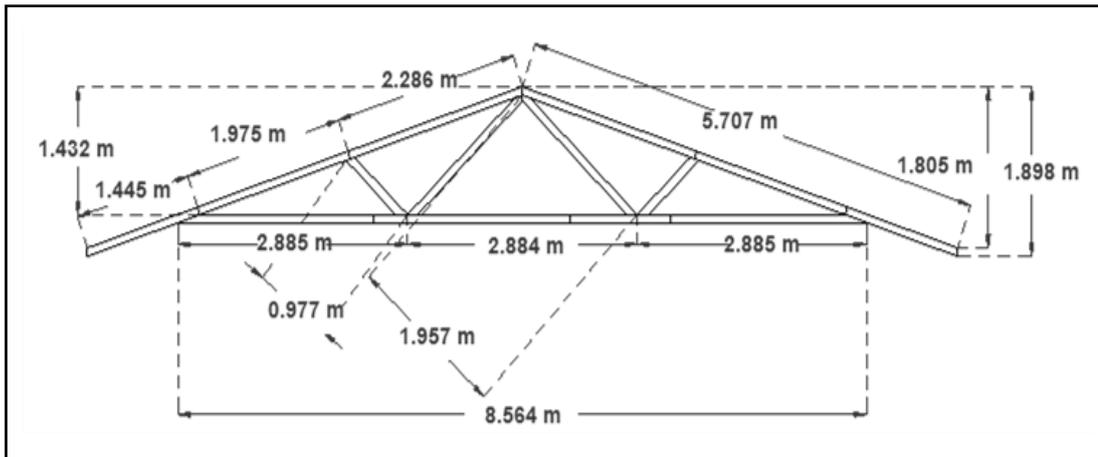


Figura 79. Dimensiones de la Armadura Fink.

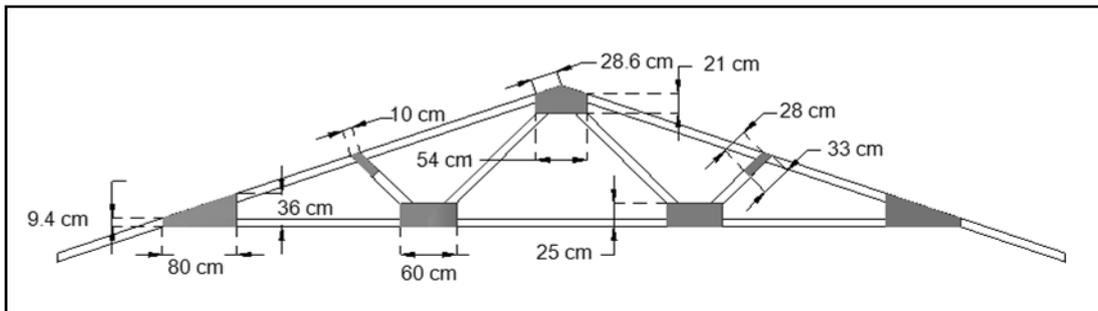


Figura 80. Dimensiones de las cartelas de tablero contrachapado de 12 mm (UF).

Durante el clavado de las cartelas de triplay (Figura 80), los clavos serán clavados en un lado y las puntas salientes se doblarán sobre la cartela trasera. Se utilizarán clavos de 3" o de acuerdo al Código Uniforme de Construcción del Cuadro 27. Se deberán clavar en tres bolillo (CONAFOR, s/f b).

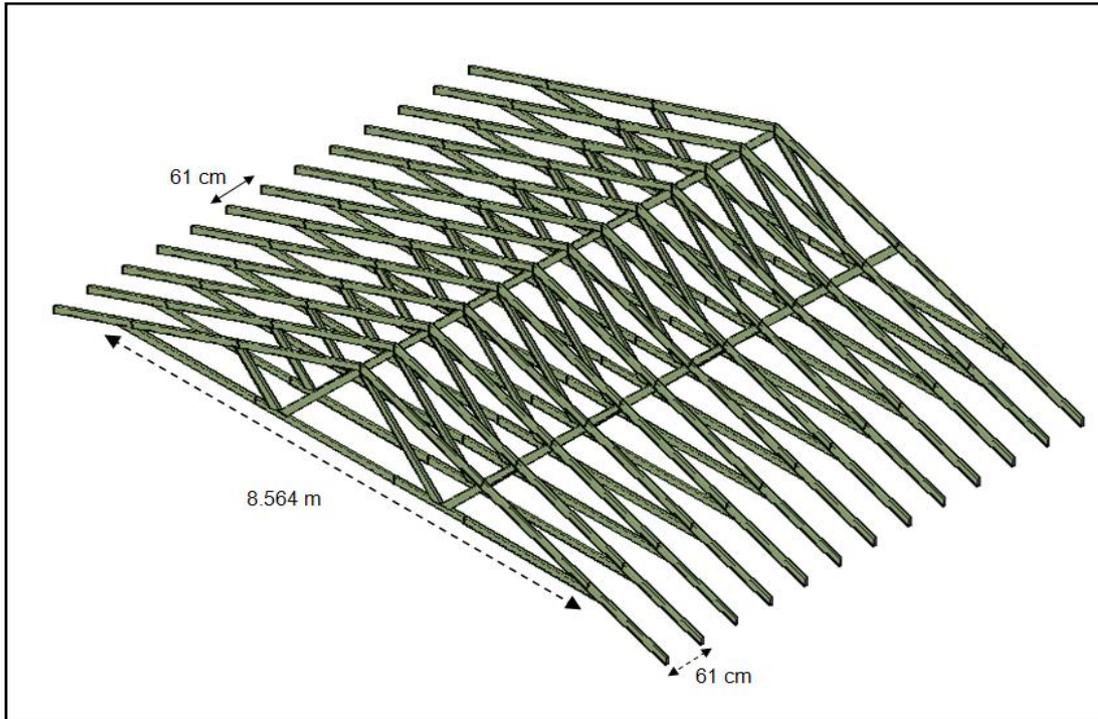


Figura 81. Vista en isométrico de las armaduras en el techo.

La Figura 81 es sólo para mostrar la estructura de la armadura Fink, la colocación y fijación se deberá realizar pieza por pieza sobre el techo; se deberán sujetar con las riostras longitudinales y diagonales como se indica en la Figura 82.

“Posterior al armado de las armaduras, al momento de montarlas, se deberá considerar la separación de 61 cm entre centros, apoyando los extremos de la cuerda inferior sobre los muros de las fachadas laterales (Figura 81). Al momento de colocarlas, se recomienda fijarlas con riostras de 1” x 4” (diagonales y longitudinales), las cuales servirán para mantenerlas en posición recta con su correcta separación como se ilustra en la Figura 82 y 83. Se fijarán a los paneles externos con clavos lanceros de 3”, o en su defecto el uso de conectores metálicos” (CONAFOR, s/f b; COFAN, 1999).

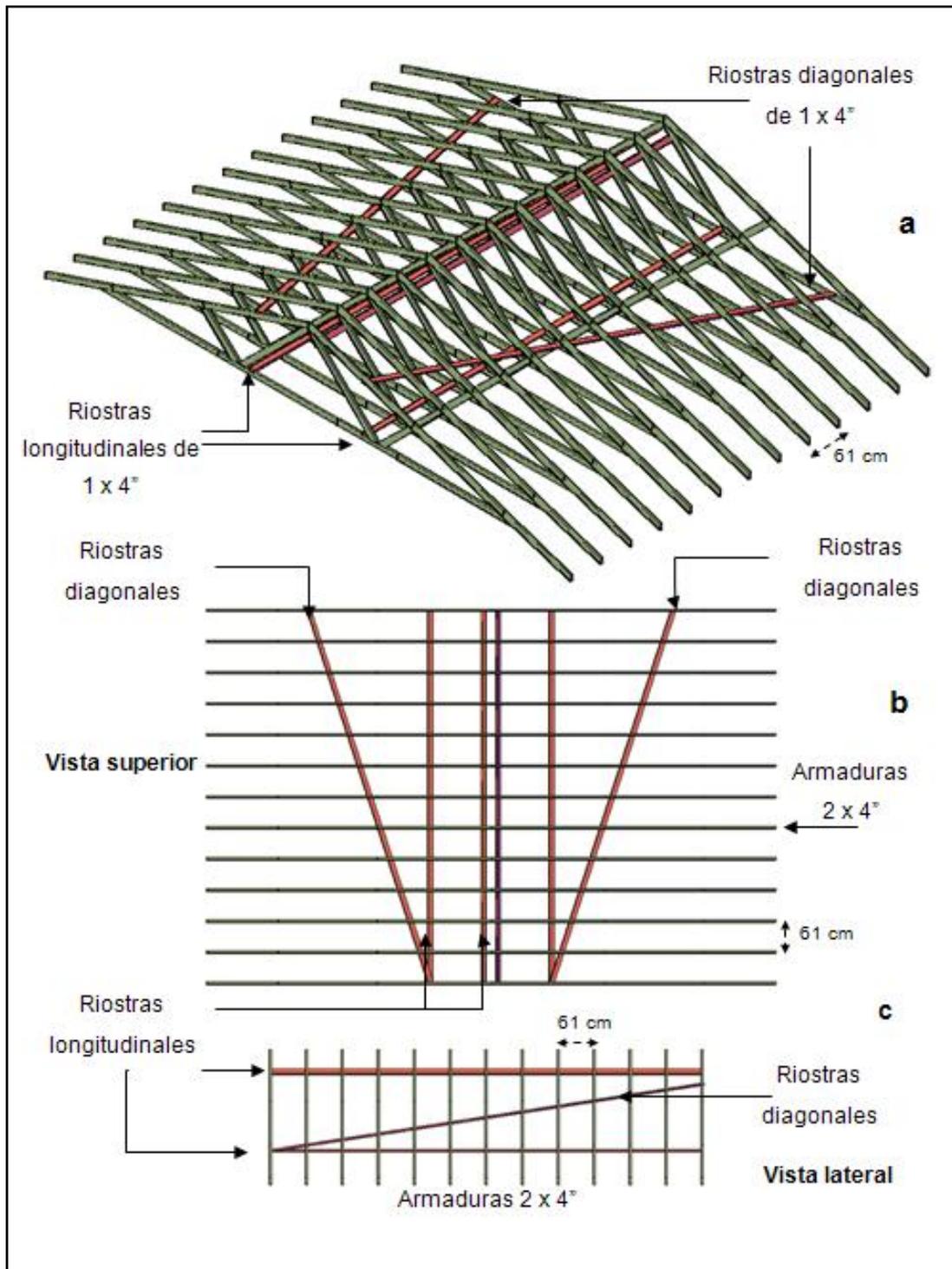


Figura 82. Colocación de las riostras durante el armado de las armaduras: a) Vista en isométrico; b) Vista superior; d) Vista lateral.

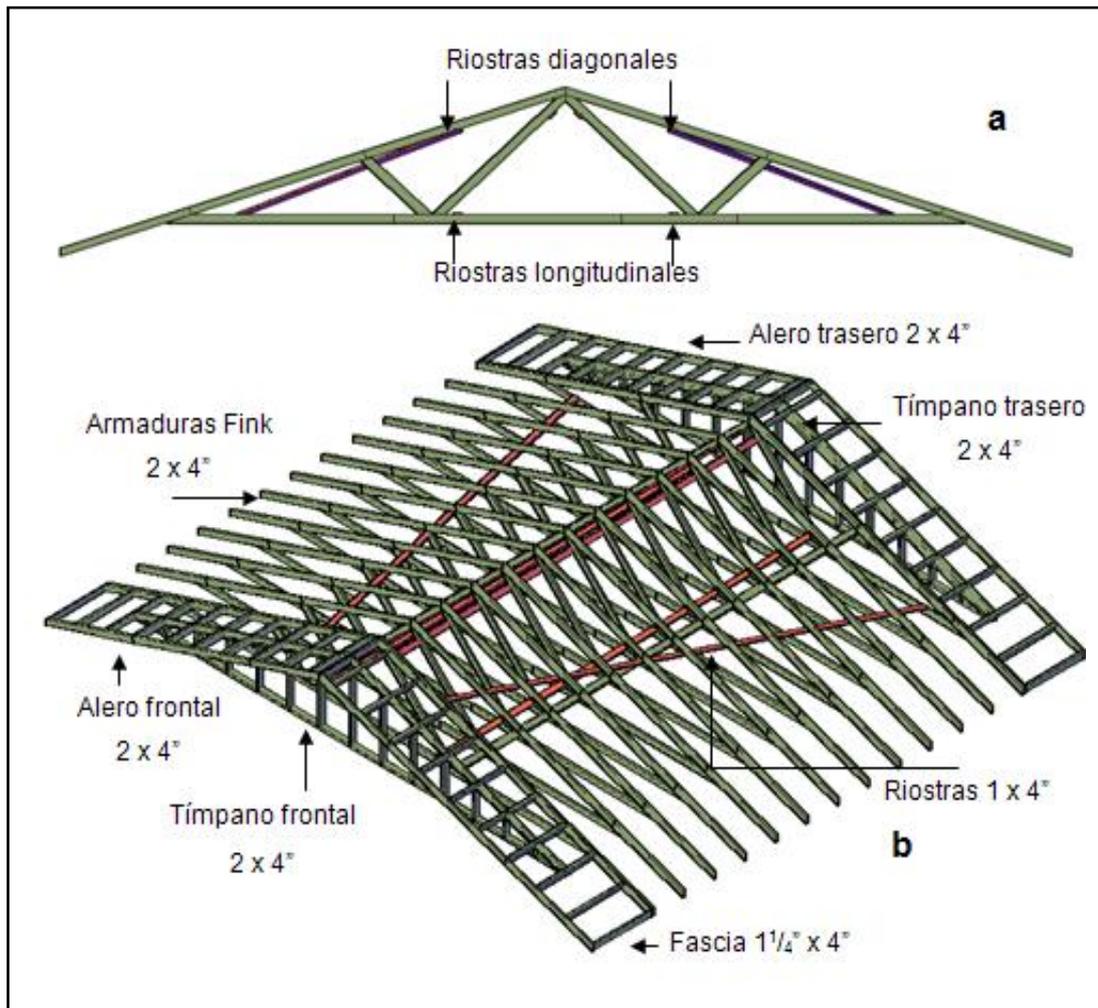


Figura 83. Ubicación de las riestras (diagonales y longitudinales) y dimensiones de las estructuras que componen el techo.

En el momento que se coloquen las armaduras, es recomendable construir un bastidor que servirá para sujetar los paneles de yeso que formará el bajo techo. Los tableros de yeso, se colocan posterior a la instalación hidráulica y la colocación de los tubos condulet de la instalación eléctrica.

5.5.3. Colocación de la fascia

Se utilizarán piezas de 1¹/₄" de grosor a diferentes anchos como se indica en la Figura 84 y 85, sujetadas con clavos de 2" en las soleras de las armaduras. Para proporcionar un mayor soporte a la fascia, se colocará una doble pieza colocada paralelamente a lo largo de la fascia externa como se indica en la Figura 84.

Un grave problema en el interior de la estructura, específicamente entre el bajo techo, es la mala ventilación, trayendo como consecuencia la proliferación de hongos cuyo efecto puede ser perjudicial a la estructura pero principalmente a los ocupantes, la solución que se consideró es colocar algunas fascias con tornillos y la colocación de rejillas metálicas.

Esto servirá para que, ante el incremento de temperatura en los meses calurosos, se podrán retirar algunas fascias y colocar las rejillas con tornillos. En tiempos de lluvia se recomienda se retiren si acaso la cantidad de humedad es suficiente como para considerarse de riesgo en el bajo techo.

En tiempos en que las temperaturas son bajas, conviene colocar las fascias pero dejando solo algunas rejillas metálicas para que no se filtre la humedad por encima del bajo techo; en zonas de climas calurosos, se recomienda retirarlas para que la ventilación pueda mantener la vivienda fresca y confortable.

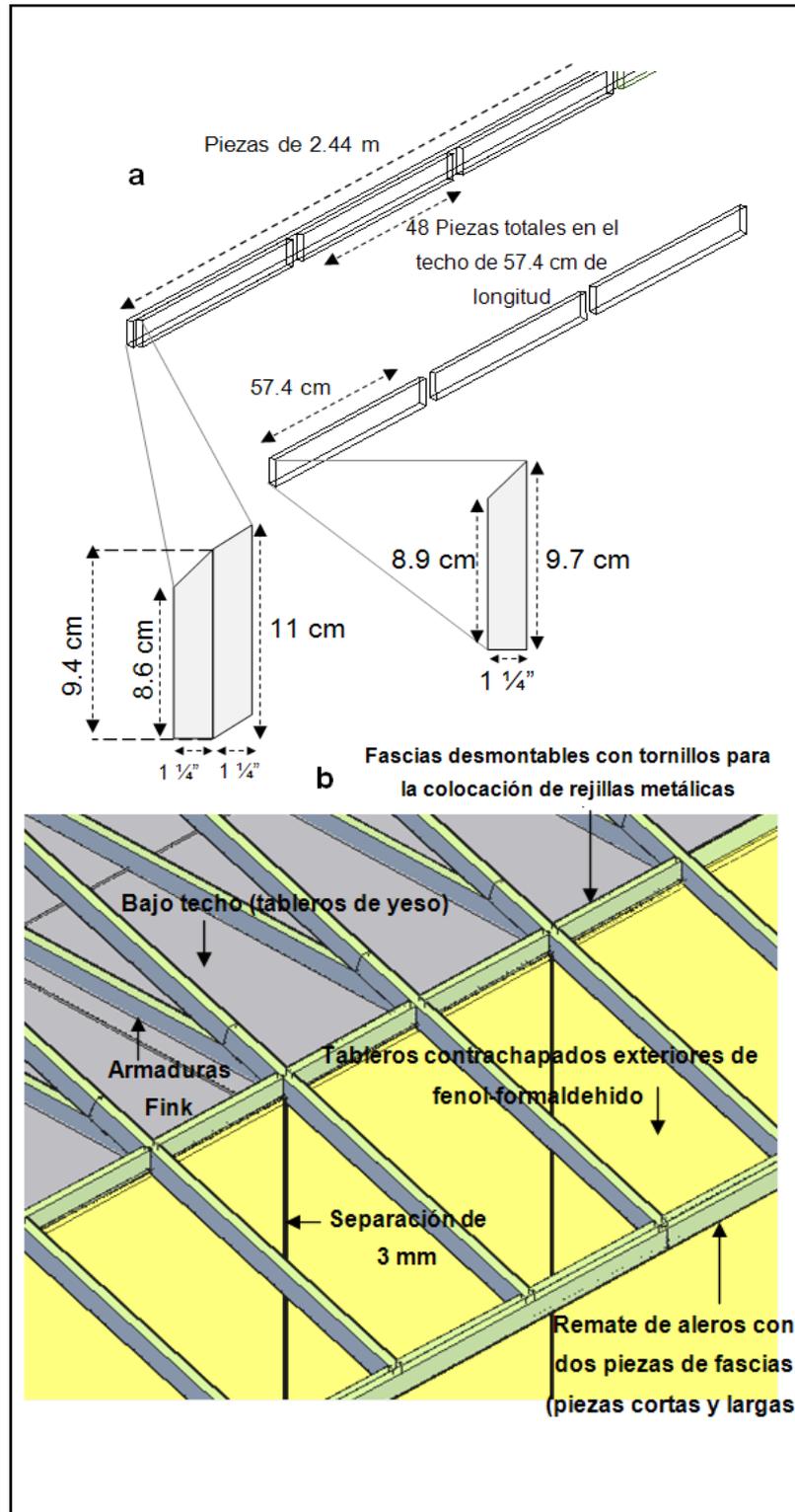


Figura 84. a) Dimensiones de las fascias internas y externas; b) Ubicación de las fascias para desmontarlas y colocar rejillas metálicas en tiempos de calor, frío o lluvia.

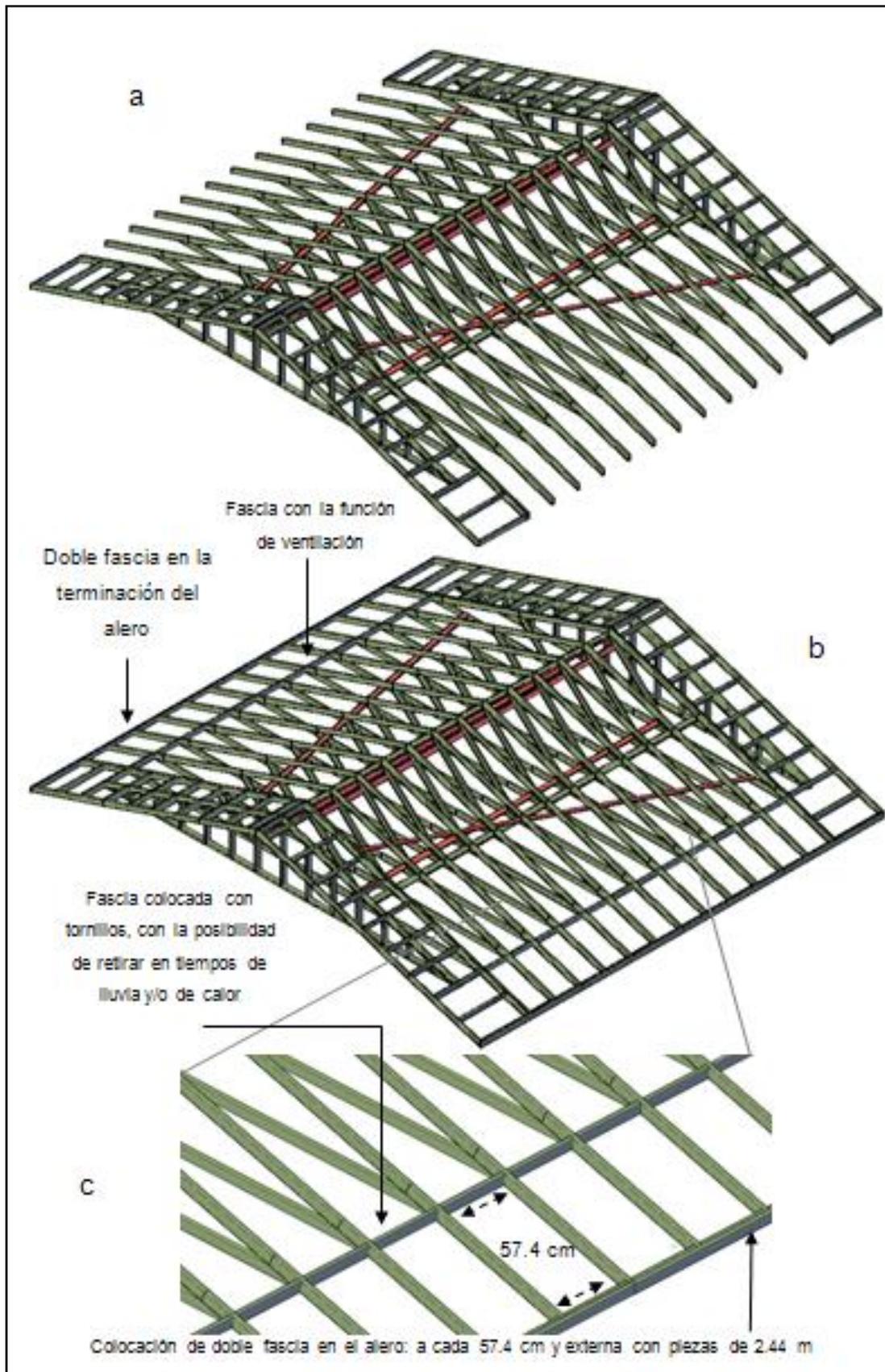


Figura 85. a) Estructura del techo previo a la colocación de las fascias; b) Colocación de las fascias; c) Dimensiones internas de las fascias.

5.5.4. Colocación de tableros en el techo

Se podrán utilizar tableros contrachapados de 12 mm preferentemente de producción nacional, o en su caso de OSB de igual forma de 12 mm, cuyas dimensiones sean de 1.22 m x 2.44 m (4 pies x 8 pies), ambos con resinas FF; o los tableros estadounidenses recomendados anteriormente para exteriores.

“Los tableros se colocarán sobre los apoyos (largueros o cuerdas superiores de las armaduras) y en sentido perpendicular a los apoyos (Figura 86). Se dejará una holgura de 3 mm entre los bordes para evitar daños por cambios volumétricos. Deben quedar cuatrapeados (Figura 86) y los bordes deberán unirse sobre el apoyo de la armadura” (CONAFOR, s/f b; COFAN, 1999).

Cuando la sección como diafragma no sea significativa, los tableros se fijarán con clavos de 2” ó 2¹/₂” espaciados a 15 cm en los bordes exteriores y a 30 cm, en los apoyos interiores. Cuando sea necesario prever acción como diafragma o la acción de vientos con velocidades altas, se usarán clavos de 2”, 2¹/₂” ó 3” con separaciones de 7 a 15 cm, tanto en los bordes como en los apoyos interiores de los paneles (COFAN, 1999).

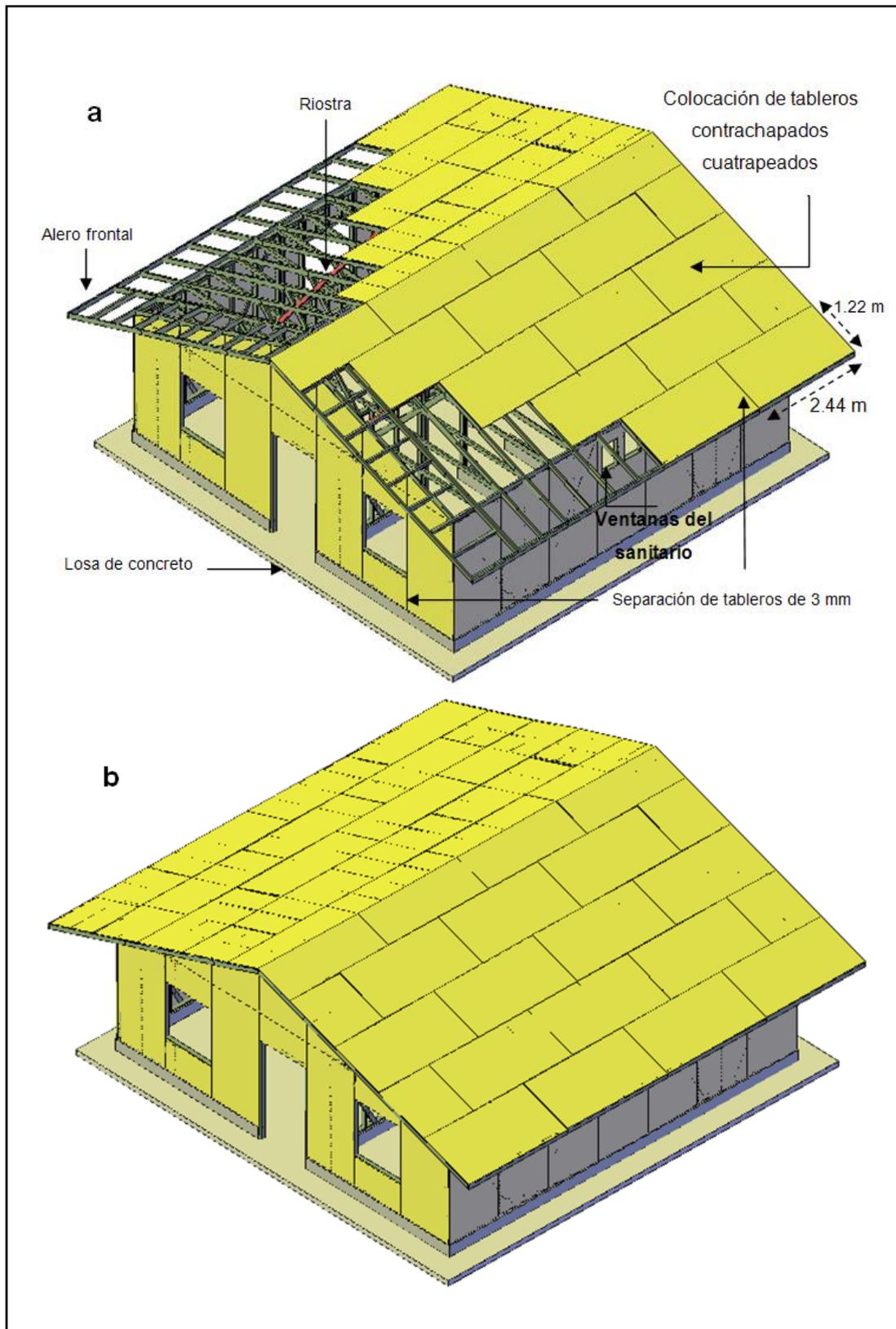


Figura 86. a) Colocación de tableros contrachapados en sentido perpendicular a los apoyos y cuatrapeados; b) Vista de la vivienda con la colocación de tableros exteriores (12 mm, FF) en las fachadas y en el techo.

5.5.5. Dimensiones de puertas y ventanas

Se construirán cuatro puertas internas: una puerta del cuarto de lavado, una puerta del sanitario y dos puertas para las recamaras (principal y secundaria). Para agilizar el armado de las puertas internas se consideró que todas tuvieran las mismas dimensiones en grueso (35 a 40 mm) ancho y largo, así como la de sus molduras. En la Figura 87, se muestran las dimensiones que tendrán las puertas internas. Cabe hacer la aclaración que las puertas internas serán de tambor con tableros contrachapados de 6 mm.

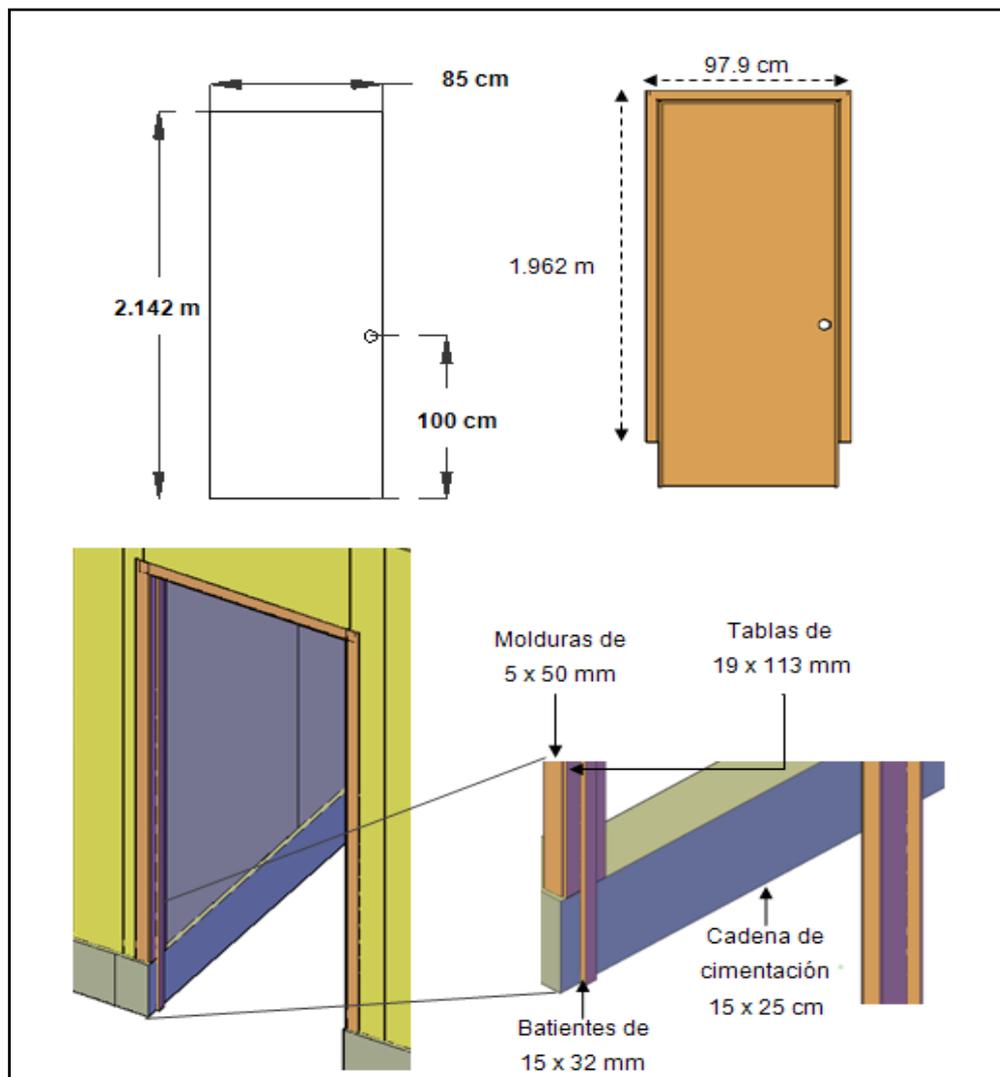


Figura 87. Dimensiones y ubicación de las partes que conformarán el marco y las puertas internas.

El tipo de puerta que se diseñó para exteriores, se armará con piezas de madera de 2" x 4", colocadas en forma vertical, ensambladas con caja y espiga y preservadas con sales CCA. Las dimensiones de las puertas (frontal y trasera tipo "dos hojas"), marcos y batientes, se presentan en la Figura 88 a 90.

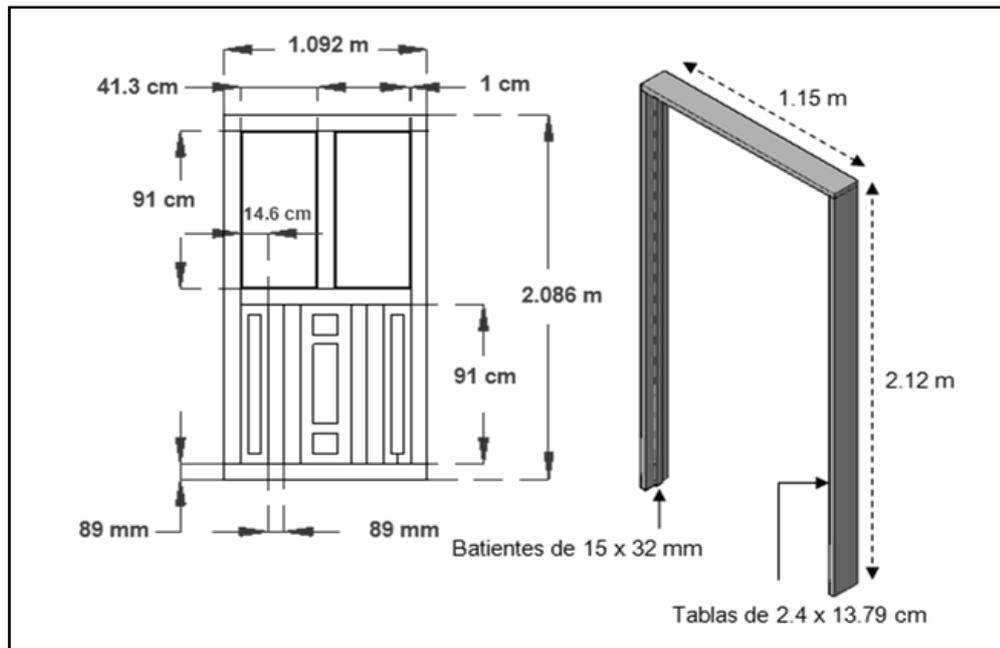


Figura 88. Dimensiones de la puerta principal.

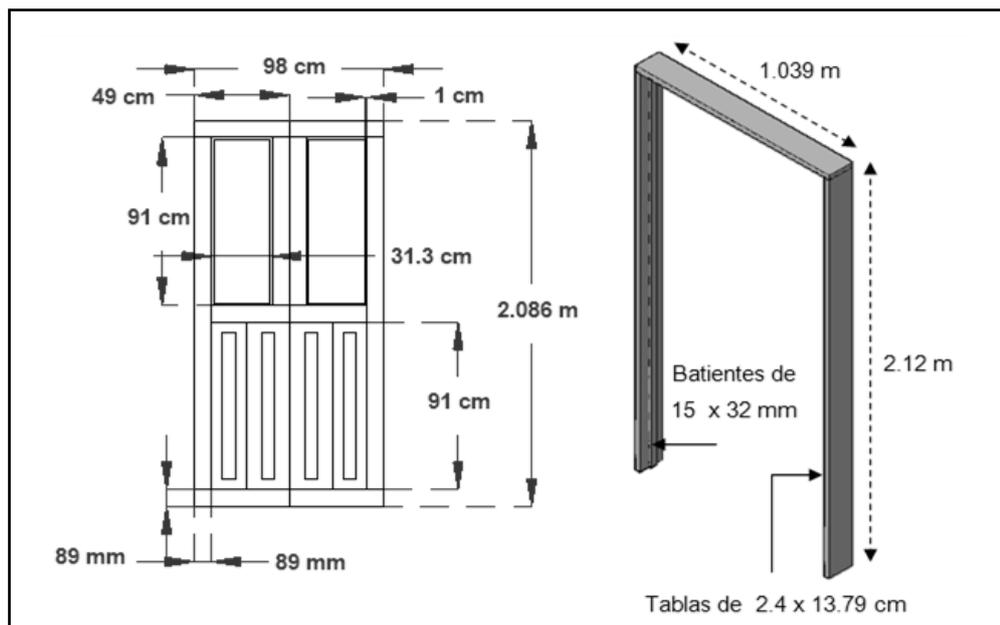


Figura 89. Dimensiones de la puerta trasera tipo "dos hojas".

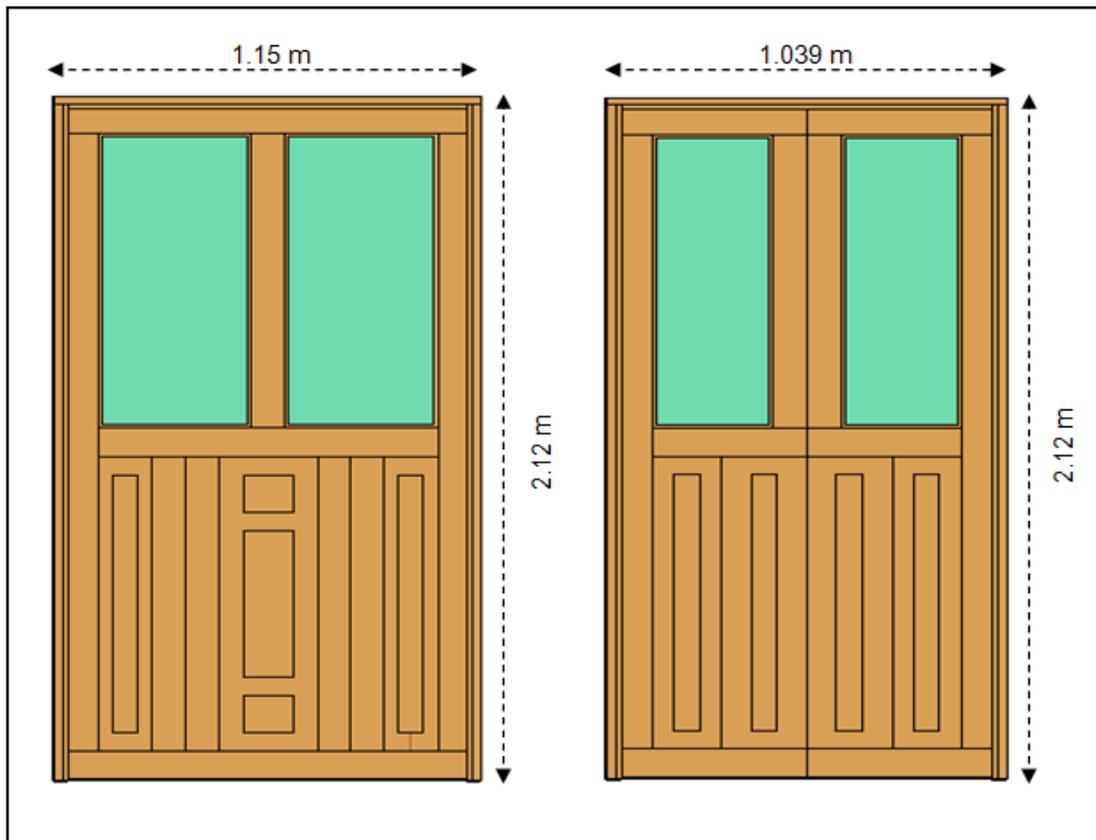


Figura 90. Vista frontal de la puerta principal (izquierda) y trasera tipo “dos hojas” (derecha).

Serán cinco ventanas corredizas en total (dos frontales, dos traseras y una lateral) y dos de “resbalón” en el baño (Figura 91 a 93). De igual forma que las puertas internas de tambor, las ventanas corredizas, se diseñaron todas a la misma medida utilizando madera de 38 mm x 89 mm y tablas para el marco de 1¹/₄” de grueso, cuyas dimensiones se presentan en la Figura 91.

Es importante mencionar que la guía donde correrán las ventanas, será de lámina galvanizada; para evitar el ingreso de agua en tiempo de lluvias hacia el interior de la vivienda, se deberá realizar el maquinado a la tabla inferior para que sirva de gotero.

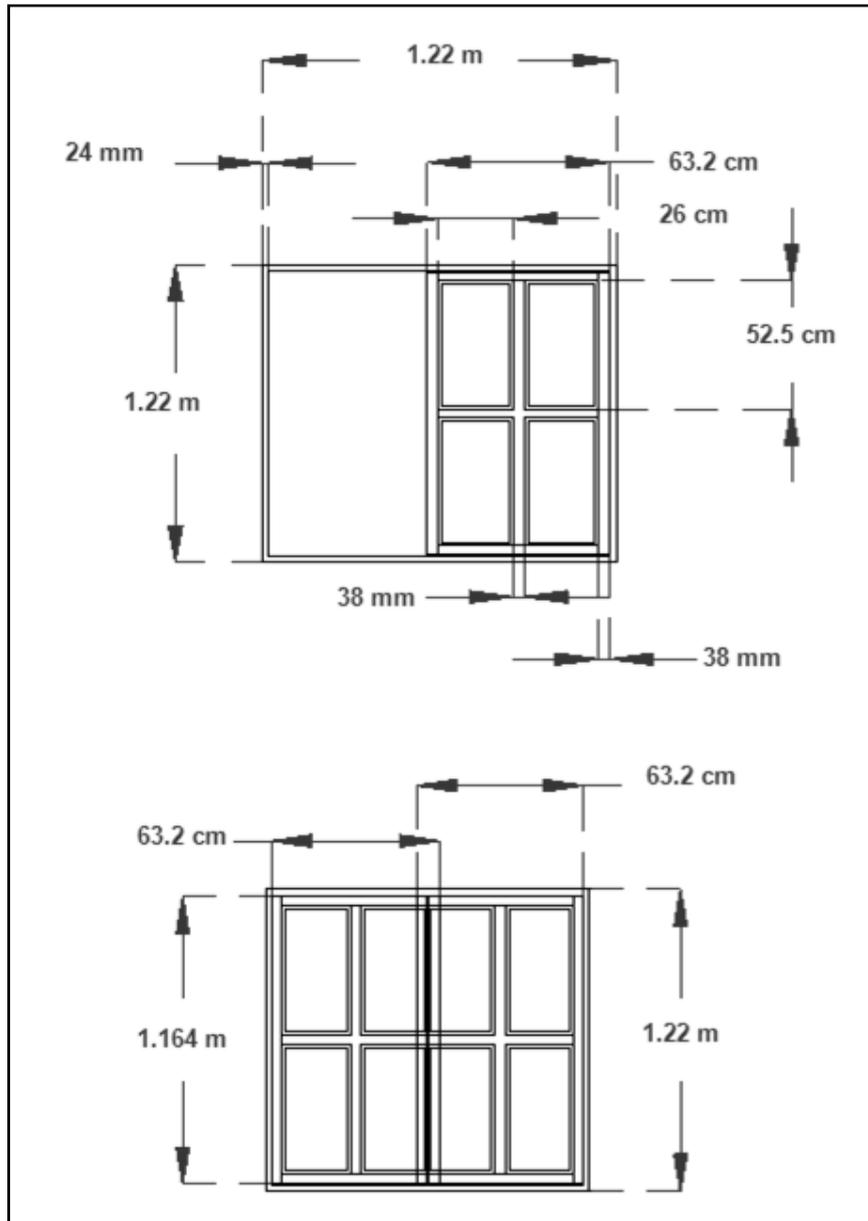


Figura 91. Dimensiones de las ventanas corredizas.

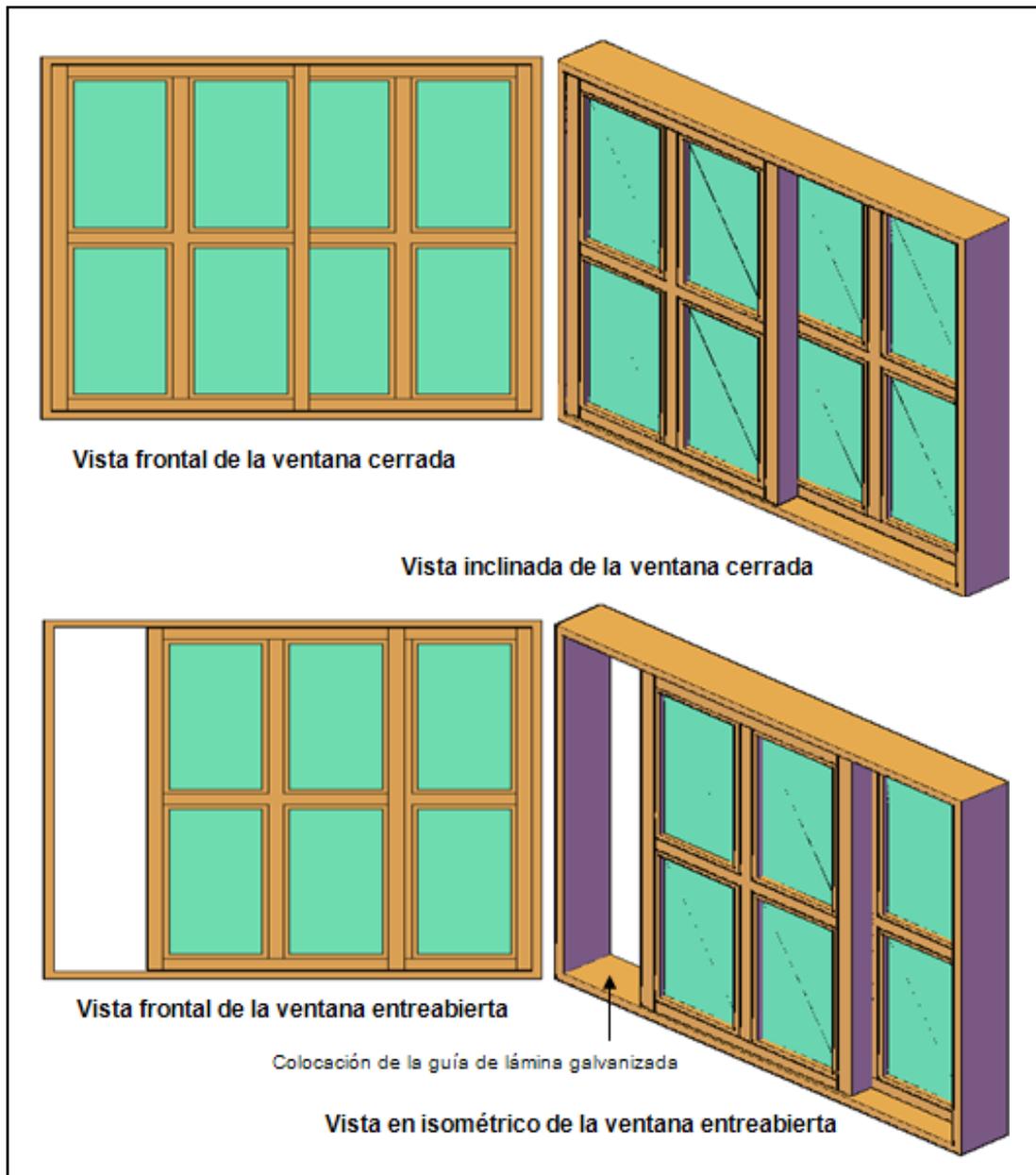


Figura 92. Vistas frontal y girada de las ventanas (cerrada y entreabierta).

Los marcos de las ventanas de “resbalón”, contarán con bisagras, pivotes o marcos de soporte. También deberán preverse mosquiteros en aquellos lugares que lo requieran. Para la colocación de las jambas se consideró madera de 38 mm de grosor preservada con sales CCA.

Para la instalación de las puertas y ventanas se recomienda consultar el MCELM de COFAN (1999:272) en la Sección N° 6.7 *Elementos diversos*; o en su caso a mayor detalle en el MAVM de CONAFOR (s/f a) en la Sección 8.6. *Puertas y ventanas*

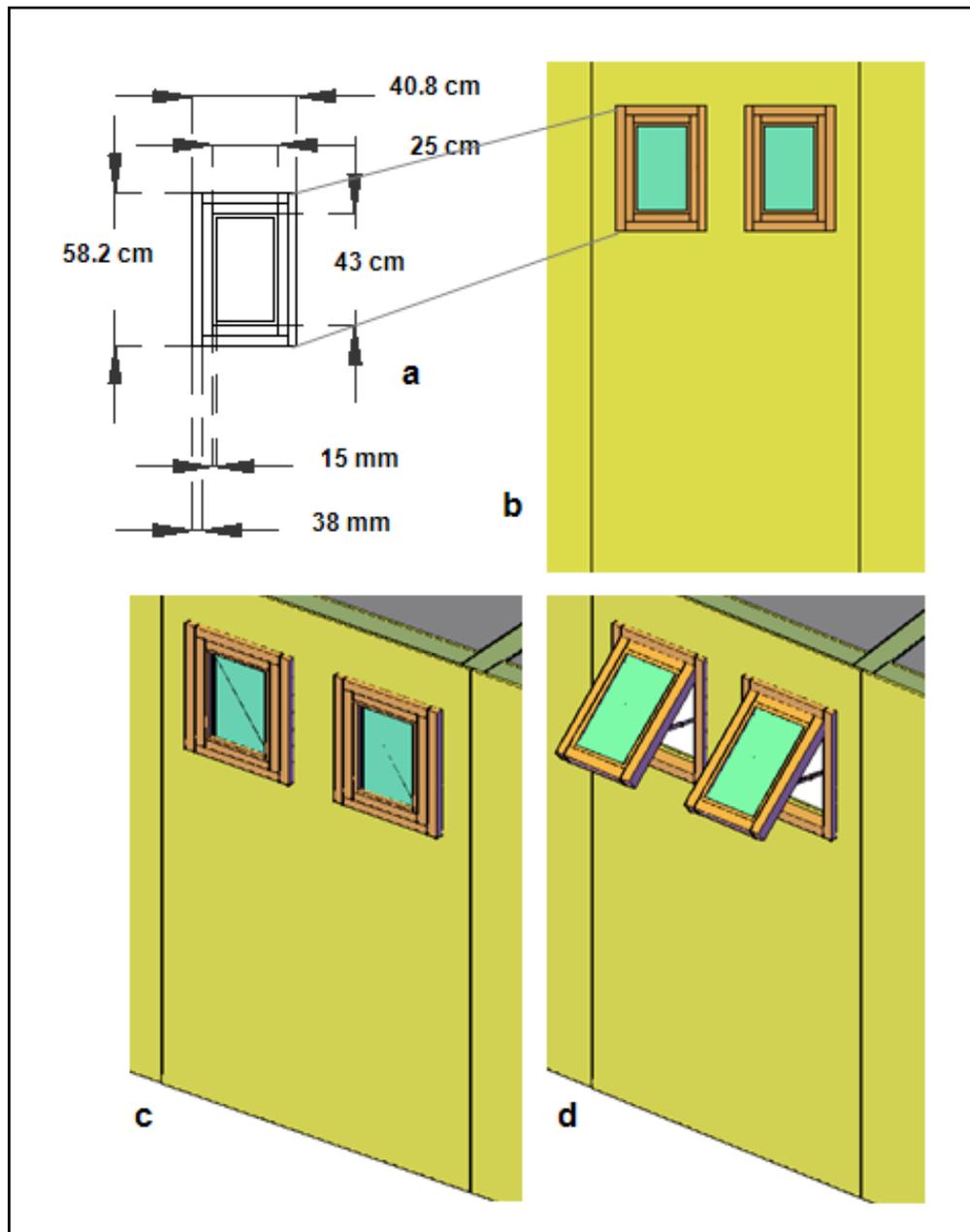


Figura 93. a) Dimensiones de las ventanas de “resbalón”; b) Vista lateral derecha; c) Ventanas cerradas; d) Ventanas abiertas.

Para la correcta ubicación de las instalaciones, se recomienda consultar el MCELM de COFAN (1999), en el apartado *6.8 Instalaciones hidráulicas, sanitarias, eléctricas y de gas*. La información proporcionada en los planos de los Anexos, son una guía fundamental para ubicar cada uno de los materiales y la distribución de los materiales en cada caso.

5.6. Materiales y Acabados Superficiales (techos y muros)

Los materiales mencionados a continuación se deberán colocar siempre, ya que aseguran la correcta protección a la vivienda de madera. El tipo de material a elegir dependerá del presupuesto del constructor, pero se debe considerar que el objetivo principal de estos materiales es el de proporcionar protección y aislamiento a la vivienda contra la intemperie.

5.6.1. Impermeabilización

La aplicación del impermeabilizante se podrá realizar con brocha, rodillo u otro método de dispersión en toda la vivienda sobre los tableros contrachapados; se considera como una la primera acción de protección (Figura 94). El impermeabilizante puede ser asfalto caliente, pintura vinílica u otro material de protección.

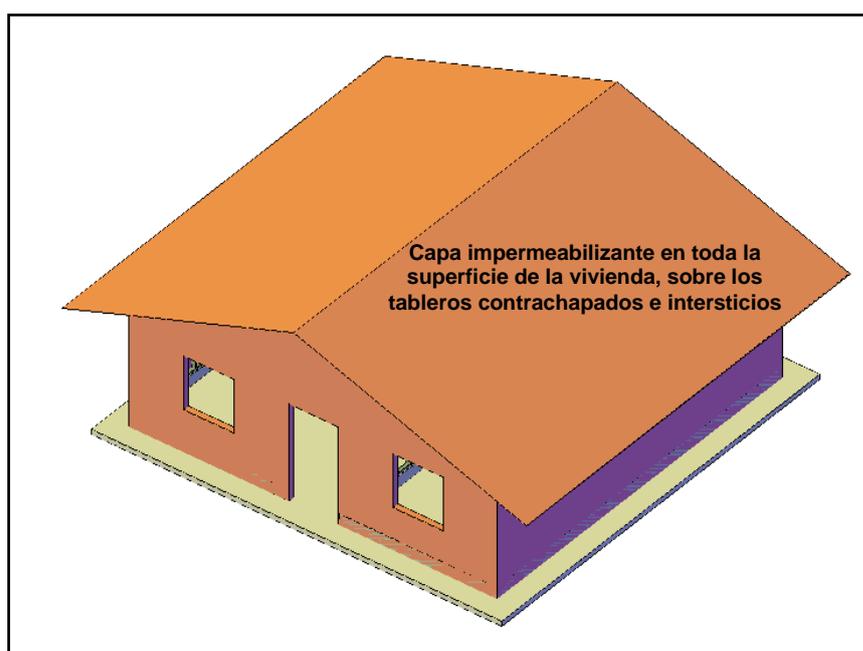


Figura 94. Capa impermeabilizante en toda la superficie de la vivienda.

5.6.2. Fieltro asfáltico

Previo a la colocación de la teja asfáltica, se deberá colocar una capa o base impermeable. Esta capa deberá proteger contra la intemperie y mantener seco el forro mientras se termina de colocar el recubrimiento final. Se colocará una capa de fieltro asfáltico en rollo y debe traslaparse por lo menos 10 cm en los bordes y fijarse al forro del techo con clavos (CONAFOR, s/f b).

Debido a que la pendiente del techo es mayor al 25%, se colocará sólo una capa de fieltro asfáltico. La forma como se comercializa el fieltro asfáltico es en rollo, la cantidad de metros cuadrados depende de la altura de la bobina así como su peso, aunque en el Anexo 18, se indica el total de materiales a utilizar en la obra.

Posterior a la colocación del fieltro asfáltico, se deberá instalar en el perímetro del techo un gotero metálico clavado con clavos de 1¹/₂ a 2" a cada 40 cm (o en su defecto podrá ir fijado con remaches).

El fieltro asfáltico también se colocará en la superficie de los muros (sobre los paneles) para brindar una mayor protección contra la humedad (Figura 95); se recomienda cubrir todos los espacios que forma el perímetro de las puertas y ventanas con una capa previo a la colocación de la malla electrosoldada y el mortero.

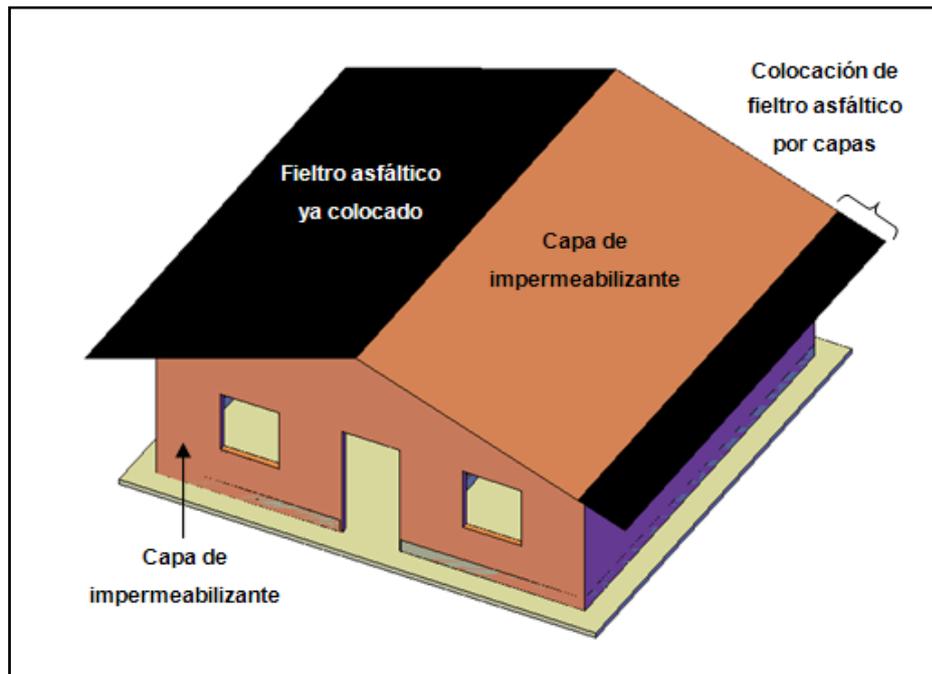


Figura 95. Colocación del fieltro asfáltico en el techo de la vivienda, iniciando desde la parte inferior, hasta llegar a la parte superior con traslapes mínimos de 10 cm.

5.6.3. Teja asfáltica

Se colocará inicialmente una capa de teja en todo el perímetro del techo (aleros) pero de forma invertida como se indica en la Figura 96, eso permitirá una mejor protección del agua proveniente de la parte superior del techo con el fin de evitar el ingreso hacia la parte de los tableros contrachapados; se sujetará con cuatro clavos inoxidable por teja de 25 mm (1") de acuerdo a la Figura 97.

Las dimensiones pueden variar dependiendo del fabricante. En este caso las dimensiones de la teja serán de 305 mm x 914 mm.

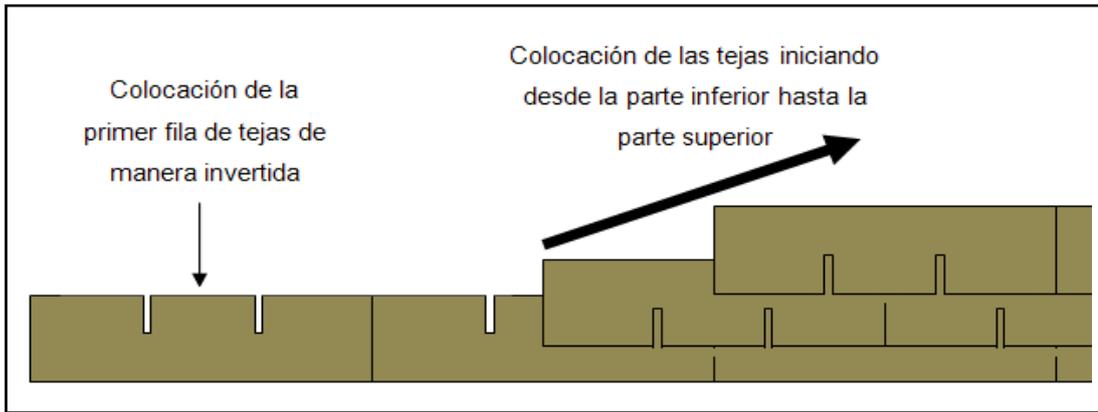


Figura 96. Colocación de la teja asfáltica en traslapes, iniciando desde la parte inferior hasta la parte superior del techo.

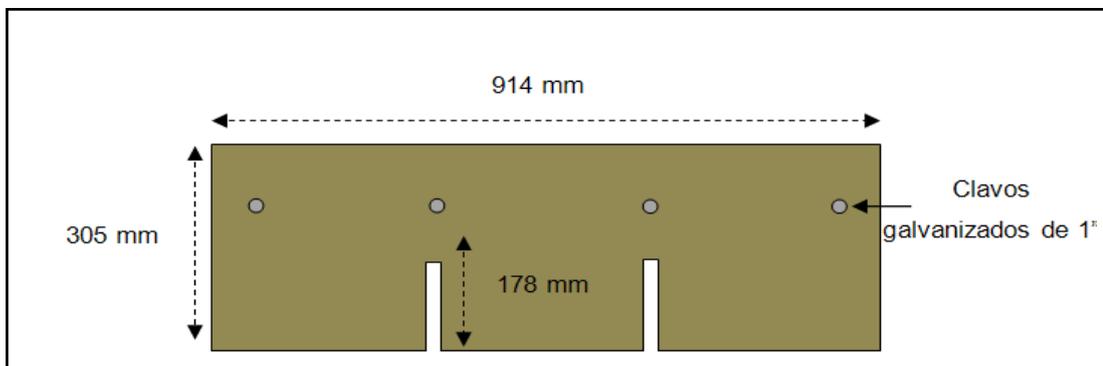


Figura 97. Dimensiones de la teja asfáltica; longitud de exposición; tamaño y número de clavos por teja.

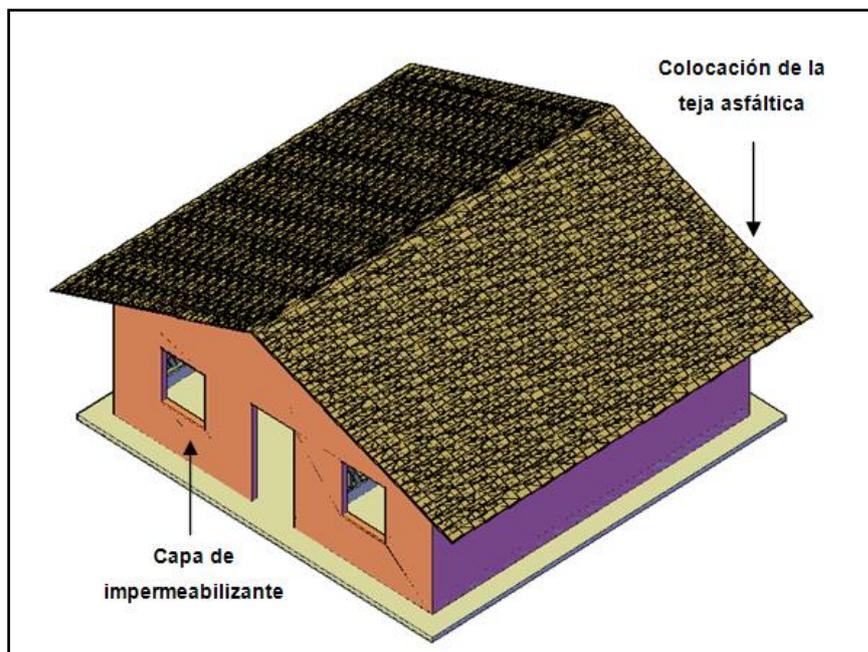


Figura 98. Colocación de la teja asfáltica en el techo.

5.6.4. Mortero

“Antes de iniciar con la lechada, se colocará una malla de metal o en caso extremo, malla de gallinero uniéndola a la madera con grapas o clavos galvanizados a cada 150 mm por lo menos 20 uniones por metro cuadrado. Se hará un aplanado de 2 cm de espesor (Figura 99), y cuando truene, se colocará un fino para dar el acabado final” (CONAFOR, s/f b; COFAN, 1999; JUNAC, 1982).

Se colocará malla electrosoldada con cuadrícula de 6” x 6” con un diámetro del alambre de 3.53 mm y en presentación por rollo de 2.5 m x 40 m o por hoja de 2.5 m x 6 m. Las especificaciones de la malla electrosoldada, se presentan en el Cuadro 49. En el interior de la vivienda, se podrá aplicar mortero de las mismas características que para exteriores. Si se llegara a utilizar este tipo de acabados en el interior, la clase de las vistas de las chapas de los tableros contrachapados para interiores será C o D.

En todo el sanitario, se recomienda colocar tableros OSB de 12 mm con resinas FF para darle mayor protección contra la humedad, o también se podrán utilizar tableros contrachapados fenólicos no importando la calidad de las chapas.

Se colocará impermeabilizante y fieltro asfáltico en toda la superficie; posteriormente se podrá colocar malla de espesor menor o con malla de gallinero, y se aplicará mortero de las mismas características que para exteriores. El acabado podrá ser con mosaico o azulejo y pintura vinílica.

En el techo se deberán colocar tableros de yeso contra la humedad o en su defecto tableros fenólicos de OSB. La recomendación general es que el sanitario siempre deba estar ventilado e instalar un extractor para retirar el exceso de humedad donde se encuentre la regadera.

Cuadro 49. Especificaciones de la malla electrosoldada (muros) con base en la NMX-B-290-CANACERO. Fuente: Vigas Trefilados (s/f).

Producto	Ø alambre (mm)	Peso/ m ² (kg)	Peso /rollo (kg)	Peso/ hoja (kg)	Presentación	Dimensiones (m)
R-6 x 6 -10/10	3.53	0.97	97	---	100 m ²	2.5 x 40
R-6 x 6 -10/10	3.53	0.97	---	14.55	15 m ²	2.5 x 6

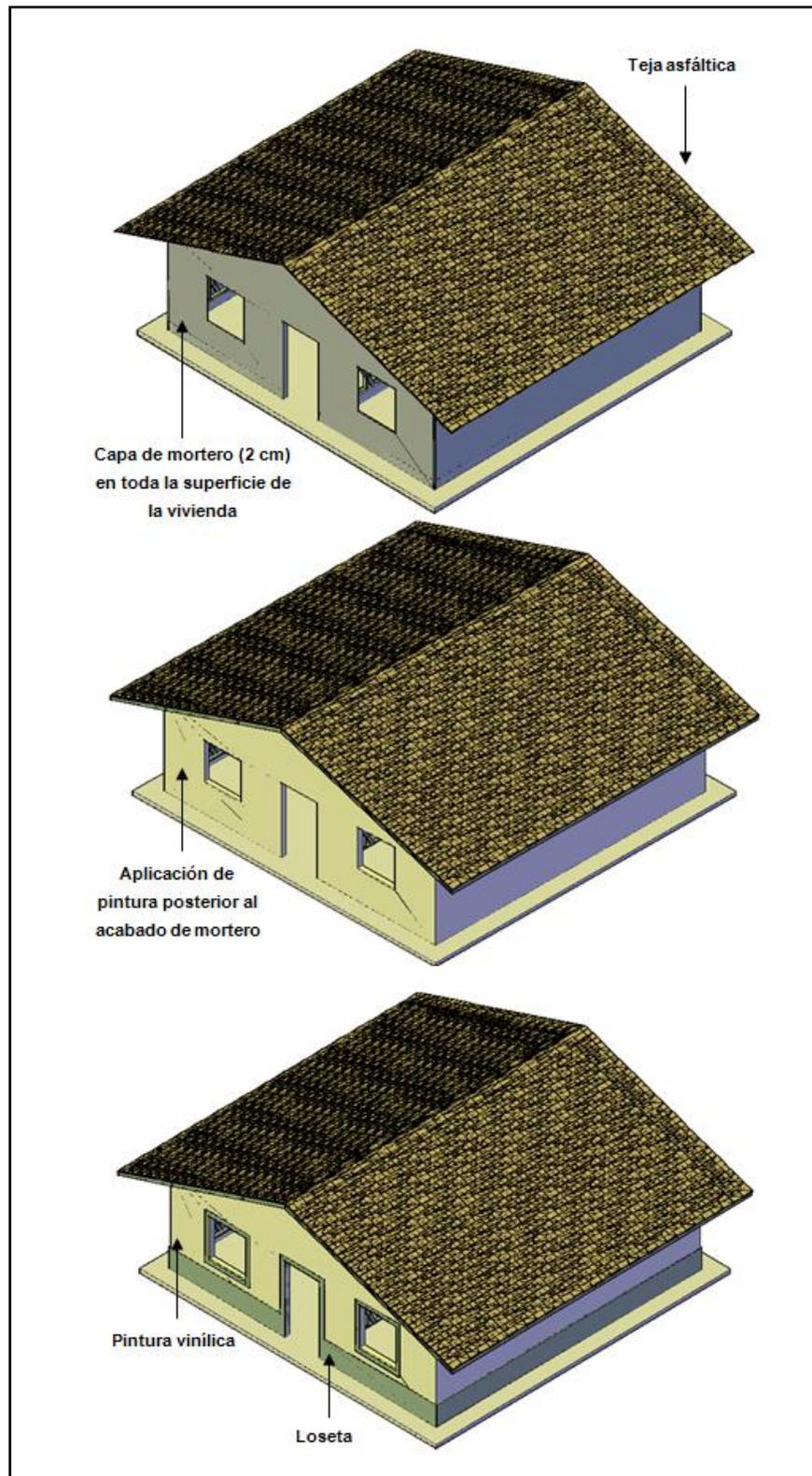


Figura 99. Aplicación de acabados en la superficie de la vivienda.

5.6.5. Acabados superficiales de protección

Para piezas en exteriores o piezas que estén en el sanitario, cocina, cuarto de lavado, entre otros en contacto con la humedad, y que puedan ser atacadas por diferentes agentes de deterioro, y no estén preservadas con métodos de presión y/o vacío, se podrán utilizar impregnantes con sales CCA, mezclados con pigmentos, colorantes, lacas o pinturas.

Para piezas en interiores, se podrán aplicar tintas, barnices, pinturas o en su caso lacas, ya que no serán degradadas por la intemperie ni los rayos UV. En el caso de contar con piezas impregnadas a presión o vacío con sales CCA, se podrán aplicar pinturas en su superficie como lo son las puertas exteriores, las molduras, fascias, entre otras.

Para realizar el mantenimiento a la vivienda, se recomienda consultar diferentes manuales de construcción con madera, ya que la mayoría proporciona la información necesaria. En caso particular, se recomienda revisar el apartado 7. *Recomendaciones de mantenimiento* de COFAN (1999).

5.7. Materiales Aislantes

La colocación de materiales aislantes dependerá en gran medida de la ubicación de la vivienda y del presupuesto del constructor. En el caso de los tableros de yeso que estarán colocados en el bajo techo, deberán ser del tipo RF (resistente al fuego) y algunos resistentes a la humedad como el caso del sanitario y cuarto de lavado, ambos deberán ser de 12 mm.

En la Figura 100, se puede observar la terminación de los detalles constructivos y acabados de la vivienda. En el Anexo 15, se presenta la secuencia constructiva de la vivienda de madera iniciando con la colocación de las zapatas de concreto.

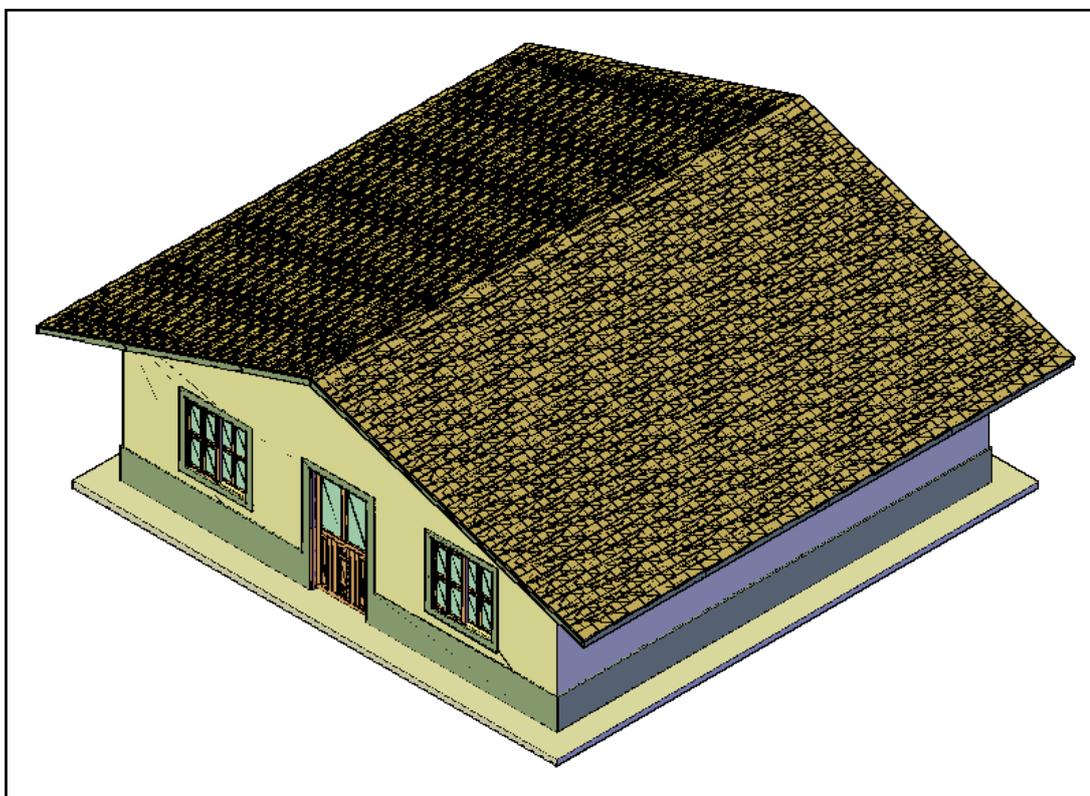


Figura 100. Vivienda terminada.

6. CONCLUSIONES

Los concursos de vivienda con madera que ha realizado COMACO, apoyado por varias instituciones, de entre ellas CONAFOR, han puesto énfasis en la promoción de la vivienda rural y vivienda sustentable. La vivienda debe cumplir con una serie de requisitos como el costo máximo de construcción, el mayor porcentaje de madera en comparación con los demás materiales de la vivienda y que ésta sea sustentable.

Para diseñar, y posteriormente construir una casa de madera, existen diferentes estilos de vivienda que van desde los más económicos como una vivienda rural, hasta los del tipo residencial. La diferencia entre ambos es la cantidad de material involucrado en su construcción, no obstante la calidad de la madera debe ser la misma no importando el estilo de la vivienda.

Actualmente los trabajos de ingeniería en la construcción, están enfocados en edificaciones sustentables, esto quiere decir que sus procesos de construcción, residuos y colectores deben ser amigables con el medio ambiente, y además deben aprovechar al máximo las condiciones ambientales del lugar donde se ubique la edificación.

La razón por la cual se eligió en el proyecto el sistema constructivo pies derechos, es porque se puede diseñar para cualquier estilo de vivienda; además, es un sistema fácilmente adaptable a las condiciones ambientales y es posible construir en cualquier estado de la República Mexicana.

La creencia al construir con madera en lugares con humedades relativas altas, como por ejemplo, Tabasco o Veracruz, es que la madera será más susceptible y su resistencia se verá seriamente afectada; ese razonamiento será acertado siempre y cuando la madera no esté protegida y preservada con sustancias químicas como las sales CCA.

Si una madera está preservada adecuadamente se reduce el ataque significativamente por parte de los agentes que degradan la madera, por lo tanto, una madera preservada podrá utilizarse en zonas con humedades relativas altas, en contacto permanente con el agua o el suelo, en cualquier región del país.

Un temor generalizado al construir con madera, dado que la madera es un material combustible, es que la vivienda se incendiará ante el primer indicio de flama como un corto circuito, un flamazo, entre otros, y que la inversión de la vivienda se perderá; realmente lo que acelera la combustión en una vivienda son los materiales comunes como cortinas, ropa, manteles, toallas, y otros.

Este tipo de riesgo también se encuentra en edificaciones comunes construidas con concreto y acero; en el caso de la madera, existen materiales llamados ignífugos para que la madera presente una mayor resistencia al fuego; cabe destacar que se ha comprobado científicamente que durante un incendio, el acero, fallará estructuralmente más rápidamente que la madera.

Uno de los errores frecuentes al construir con madera, es que se coloca la madera en contacto directo con el suelo sin preservar, ya sean soleras de desplante o pilotes (ver anexo 18), o por el contrario, se menciona que la madera será tratada con sales CCA pero no se indica el riesgo esperado, tipo y condiciones de uso ni retención mínima recomendada.

A pesar de que la información de las normas para la madera es precisa, y están basadas en investigaciones científicas realizadas por diferentes centros de investigación reconocidos en México, éstas desafortunadamente no se examinan correctamente a detalle por los constructores, causa de ello, es que se han cometido graves errores durante el diseño y construcción con madera (ver anexo 18).

La vivienda del proyecto (estilo rural con techo a dos aguas) contará con una superficie habitable de 74 m² (sin considerar la banqueta de la losa de cimentación). Está diseñada para una familia de cuatro personas; con instalaciones hidráulica, eléctrica y sanitaria; los espacios habitables se diseñaron de manera funcional.

En la secuencia constructiva del proyecto de vivienda, se previeron los aspectos más significativos con relación a la madera y se realizaron las debidas consideraciones y especificaciones en cada proceso y para cada material como se indica en seguida:

Se utilizará madera de pino a una $Db = 450 \text{ m}^3$; el sistema constructivo se realizará con pies derechos de 2" x 4" nominal (38 mm x 89 mm) a un $CH \leq 18\%$, de preferencia de cortes radiales; colocados a cada 24" (61 cm). Como arriostramiento, se utilizarán tableros contrachapados de 4 pies x 8 pies (1.22 m x 2.44 m), grosor de 12 mm fabricados con adhesivo de FF para exteriores (muros y techo), y 9 mm ó 12 mm para interiores (de preferencia 12 mm) fabricados con adhesivos UF; se recomienda el uso de tableros de producción nacional para fomentar el uso de los productos que se producen en el país.

Se utilizarán pies derechos clasificados de acuerdo a la regla industrial "madera Clase A" o la regla especial "madera Clase B". Para la preservación de los pies derechos se utilizarán sales CCA a diferentes niveles de riesgo debido a la ubicación de las piezas de madera en la vivienda (bajo, medio y alto, cuya retención mínima recomendada será 4.00, 6.40, y 9.60 kg/m^3 , respectivamente).

La primera acción de protección de la madera en la vivienda ante el ataque de los agentes destructores como las termitas, fue diseñar la cimentación de tal forma que la madera estará retirada del nivel del suelo 35 cm (10 cm de la losa y 25 cm de la cadena de cimentación donde descansarán los paneles).

La cimentación consistirá en losa, cadena y zapatas de concreto, toda estará protegida con fieltro asfáltico y en su defecto, las zapatas y bases de concreto sólo con impermeabilizante. Este tipo de cimentación prevendrá los movimientos y deformaciones originados en la cimentación como hundimientos, volcamientos y desplazamientos. Para la seguridad ante los empujes verticales y levantamientos horizontales de la acción del viento (además en caso de sismo) se colocarán pernos galvanizados incrustados en la cadena de cemento.

Existen diferentes soluciones para la unión entre paneles, dependiendo de la función estructural de los muros; en este caso se diseñaron postes de esquina con separadores de 32 mm x 89 mm x 305 mm para uniones de paneles continuos, en esquina "ELE" e intersecciones en "T"; las soleras superior y de cerramiento estarán desfasadas mínimo un pie derecho (61 cm, 24"), esto garantizará que los paneles realizarán correctamente su función estructural de transmitir las fuerzas verticales provenientes del techo.

Una ventaja del uso de la madera en la construcción es que la estructura con este material se considera ligera, esto se verificó con la NTC-DCC (2004) la cual establece un rango del peso unitario medio $<4 \text{ t/m}^2$ para clasificar a las edificaciones como ligeras.

El peso unitario medio calculado de la vivienda fue de 0.15 t/m^2 , lo anterior indica que ese valor, representa el 3.7% dentro del rango para estructuras ligeras (valores superiores indican el límite de estructuras ligeras).

El diseño de la longitud de los aleros, se realizó con información de estudios de la lluvia conducida por viento, con el fin de minimizar el contacto de lluvia en los muros perimetrales.

Para construir la estructura del techo, se realizó el diseño de la armadura Fink a una pendiente del 33%, se arriostrará durante su colocación con piezas de madera de 1" x 4" nominal (19 mm x 89 mm). Para la ventilación del bajo techo, se diseñó que algunas fascias se deberán retirar o colocar dependiendo de las condiciones climáticas donde se ubique la vivienda. El clavado de la estructura se realizará de acuerdo al Código Uniforme de Construcción.

Se diseñaron cinco ventanas corredizas con dimensiones de 1.22 m x 1.22 m; y funcionarán como medio de escape en caso de fuego (a excepción de la cocina), y dos ventanas de tipo "resbalón" para el sanitario. Se siguieron las recomendaciones climáticas de área ocupada por vanos menor al 20.0% del área total del muro envolvente. Se construirán cuatro puertas internas de tambor con tableros contrachapados de 6 mm. Las puertas (frontal, y trasera tipo "dos hojas") serán de madera sólida de 2" x 4" ensambladas a caja y espiga.

Se aplicará una capa de impermeabilizante y una capa de fieltro asfáltico en la superficie de los tableros contrachapados que cubrirán los muros y techo; se utilizará teja asfáltica clavada, y goteros metálicos en el perímetro del techo. Se colocará malla electrosoldada en la losa de concreto y en los muros previo a la aplicación de mortero de 2 cm.

No se consideraron materiales aislantes debido a que ese factor depende de la ubicación de la vivienda y de los costos principalmente. Tampoco se consideró piso de madera, ya que el piso firme de la losa de cimentación será adecuado para la colocación de materiales como vinil, loseta, mosaico, entre otros, sin embargo, la estructura de la cimentación con la cadena de sobrecimiento está diseñada para que se pueda colocar sin problemas el piso de madera, se recomienda revisar la NMX-C-434-ONNCCE (2006).

“Pisos de Madera Sólida – Clasificación y Especificaciones”.

Para construir la vivienda se necesitará un volumen de $\pm 9 \text{ m}^3$ de madera de pino (pies derechos, fascias, riostras, soleras, tableros contrachapados, entre otros); de ese volumen, aproximadamente el 50% corresponde a tableros contrachapados de pino, cuyas chapas son obtenidas en la industria de tableros contrachapados durante el proceso de desenrollado, para madera de pino principalmente.

El volumen de madera aserrada para construir la vivienda será de $\pm 4.5 \text{ m}^3$ (1.9 mpt), de ese volumen, 2 m^3 (847 pt) será destinado para construir los

muros, y 1.87 m^3 (792 pt) para construir el techo; el volumen restante de madera se destinará a puertas y ventanas.

Se necesitarán ± 486 pies derechos (4 m^3 , 1.7 mpt), con dimensiones de 2" x 4" x 8' para construir la estructura, puertas y ventanas:

- a) 235 pies derechos para construir los muros
- b) 202 pies derechos para construir el techo
- c) 49 pies derechos para construir las puertas externas y ventanas
- d) La cantidad de madera restante ($\pm 0.5 \text{ m}^3$, 212 pt) corresponde a riostras, fascias, molduras, entre otras, cuyas dimensiones son diferentes a los pies derechos, pero están indicadas en los anexos.

Otra de las ventajas del uso de la madera, es que es un material renovable a comparación de los materiales tradicionales como el cemento y el acero. En países como Estados Unidos está garantizada la demanda de madera debido a que se reforesta más de lo que se cosecha; en este sentido en México es posible fomentar la reforestación a gran escala para abastecer de materia prima al sector de la construcción con madera.

Flores (2005), menciona que en promedio, el coeficiente de aserrío (CA) en México, corresponde al 50%; esto indica que sólo se está aprovechando la mitad de madera aserrada que ingresa a la industria; paralelamente, el coeficiente de aprovechamiento para la fabricación de tableros

contrachapados, se considera la mitad o hasta menor la transformación de la madera que ingresa a la industria.

De acuerdo con lo indicado anteriormente, para construir la vivienda de madera del proyecto, se necesitarán 18 m³ de madera, los que al ingresar 9 m³ al aserradero y 9 m³ a la industria de tableros contrachapados, la cantidad de madera que formará la estructura (madera aserrada) y la envolvente (tableros contrachapados) exterior e interior de la vivienda, será finalmente 9 m³ aproximadamente.

De acuerdo a Sánchez (2008), la producción de los aserraderos en México se divide en aserraderos pequeños (producción de 1 a 10 mpt, 2.36 a 23.6 m³); aserraderos medianos (producción de 10 a 25 mpt, 23.6 m³ a 59 m³) y aserraderos grandes (producción superior a los 25 mpt, >59 m³). Es importante indicar que durante el procesamiento de la madera, el gasto de energía es menor que con los materiales tradicionales como el cemento y el acero.

En el supuesto, si un aserradero pequeño tiene una producción diaria promedio de 10 mpt (23.6 m³ a un CA del 50%), y su tecnología permite obtener pies derechos de cortes radiales (más estables dimensionalmente) basado en la correcta utilización de los diagramas de corte, esto indica que la producción de un día proporcionará madera aserrada para construir la estructura de 5 viviendas; no obstante el volumen real necesario de madera

para construir la estructura de 5 viviendas, será de 47,2 m³ debido al CA del 50%.

Esto mismo se puede inferir en la producción de tableros contrachapados, en el que su coeficiente de aprovechamiento se encuentra al 50% o menor. Se calculó que se necesitarán aproximadamente para una vivienda 4.5 m³ de madera que corresponde a tableros contrachapados de pino (2.39 y 2.10 m³ de tableros UF y FF, respectivamente), esto indica que, de forma similar al párrafo anterior para el ejemplo de 5 viviendas, se necesitarán 47,2 m³ de madera para producir 630 tableros para la envolvente de la vivienda (23.6 m³ de volumen de madera final).

En realidad se necesita considerar un volumen de 90 m³ de madera (aserrada y tableros contrachapados) para construir 5 viviendas a un CA del 50% en ambos casos ($90 \text{ m}^3/5 \text{ viviendas} = 18 \text{ m}^3/\text{vivienda}$; $18 * 0.5 = 9 \text{ m}^3/\text{vivienda}$).

Suponiendo una demanda constante de madera para el sector de la construcción, en una jornada, dependiendo de la capacidad del aserradero y de la tecnología de los diagramas de corte, es posible producir la materia prima necesaria para construir 5 viviendas en aserraderos pequeños, hasta 13 viviendas en aserraderos medianos y más de 13 viviendas en aserraderos grandes, con las características antes mencionadas.

El peso total de la estructura de madera (madera aserrada y tableros contrachapados) será de ± 5 toneladas; la densidad de la estructura peso/volumen (madera aserrada y tableros contrachapados) es de 555 kg/m^3 ; cabe indicar que la densidad de la estructura, representa un valor mayor que la densidad básica de la madera ($D_b = 450 \text{ kg/m}^3$), debido a que se está considerando la densidad de los tableros contrachapados de 600 kg/m^3 ; la densidad de los tableros contrachapados es mayor debido a que durante su fabricación, se somete a un proceso de prensado.

Para comprobar la densidad de la madera, el peso de la madera aserrada a un CH del 18% es de 2450.12 kg , con un volumen de 4.61 m^3 , por lo que su densidad al 18% es de 531 kg/m^3 ; en ese sentido, restando el peso del agua a un CH del 18%, el peso anhidro de la madera será de 2076.39 kg para un mismo volumen, cuya densidad básica será de 450 kg/m^3 .

En el proyecto no se consideraron los costos unitarios, ya que es una variable que depende del tiempo, de la ubicación de la vivienda y del lugar de los proveedores del material; no obstante, en los anexos, se indica el total de materiales, para que el interesado pueda realizar los cálculos necesarios.

A continuación se mencionan los presupuestos de varias viviendas, dependiendo del año, materiales involucrados y estilo de la vivienda:

COFAN (1994):

Presupuesto vivienda "Chiapas", 1 piso 45 m² = \$80, 954.90

Presupuesto vivienda "Habana", 1 piso 63.24 m² = \$105, 032.49

Presupuesto "Taxco", 1 piso 193 m² = \$248, 875.11

COFAN (1999):

Presupuesto vivienda "Chiapas", 1 piso 44.93 m² = \$60, 416.79

BARAJAS (2009):

Presupuesto vivienda "Tipo Residencial", 2 pisos

Planta baja = 188.28 m²; Planta alta = 150.55 m²

338.83 m² = \$1, 485, 637.05

ÁNGELES (2010):

Presupuesto "Vivienda rural a base de materiales derivados de la madera y bagazo de coco", 1 piso

65 m² total; 36 m² habitables = \$36, 233.06

FITECMA (2011):

Presupuesto "Vivienda Rural Sustentable", 1 piso

45.12 m² = \$105, 559.17

En síntesis, se concluye que es posible diseñar correctamente una vivienda de madera paso a paso, siguiendo las recomendaciones y especificaciones técnicas de reglamentos, normas y manuales, para considerarla como una alternativa en la construcción de viviendas.

7. RECOMENDACIONES

Al momento de realizar un proyecto de construcción con madera, se deberá dar prioridad a revisar a detalle las normas mexicanas aplicables a la madera (ONNCCE), y posteriormente toda la información relevante como los reglamentos, las normas técnicas complementarias y los manuales de construcción.

Existen manuales de varios países que proporcionan información muy importante acerca de cómo se debe construir una vivienda; no obstante, la mayoría de la información se rige de acuerdo con la normatividad del país de origen; es por ello que se recomienda considerar como base, el Manual de Construcción de Estructuras Ligeras de Madera de COFAN (1999), ya que la información que proporciona está cimentada en los reglamentos y normas en México.

Una recomendación dirigida a los editores del MCELM es la posibilidad que se realice una tercera edición, debido a la creciente incorporación de diferentes sistemas y materiales en la construcción, como el glulam, paralam, entre otros.

Se recomienda al interesado en la construcción, revise a detalle la literatura que se encuentra en los bancos de información de diferentes centros de investigación; por ejemplo, en la Universidad Autónoma Chapingo, y particularmente en la División de Ciencias Forestales, se encuentra

información detallada acerca de las propiedades y características anatómicas, físicas y mecánicas de la madera, cuya información permitirá entender el comportamiento de la madera ante diferentes factores como el CH, la HR, temperatura, entre otros.

Además en la DiCiFo, se cuenta con diferentes plantas piloto para realizar investigación con relación a la madera, por ejemplo, la planta piloto de impregnación con sales CCA, la planta piloto para secar la madera en estufa, entre otras. Inclusive se cuenta con el equipo para realizar pruebas mecánicas, así como el laboratorio donde se pueden realizar diferentes métodos para obtener el contenido de humedad, por pesadas, destilación u otros.

Se recomienda que los futuros proyectos contemplen la tendencia que indica Sánchez (2012), los llamados “prefabricados”, ya que es una muy buena alternativa para construir una vivienda, desmontarla, trasladar el material y posteriormente volverla a construir en otra zona en donde se planea establecer la vivienda.

Este tipo de tecnología se puede aplicar cuando se presentan los desastres naturales; las personas afectadas, tienen que ser transportadas a albergues en los que pueden pasar semanas e inclusive meses antes de que se pueda resolver su problema de vivienda.

Se pueden otorgar algunas concesiones a particulares, o mismo CONAFOR y COMACO, recomendar en sus convocatorias que no solo se diseñe este tipo de tecnología, sino llevar a la práctica construir una vivienda temporal, es decir el modelo llave en mano, y durante la construcción, señalarles cuáles son los errores frecuentes y comunes al construir con madera.

Los prefabricados pueden ser muy útiles para diferentes estratos sociales, no solo para un sector en particular; por ejemplo, con relación al turismo, los prefabricados, pueden aprovecharse para disminuir los costos de mantenimiento de cabañas o casas de madera en las que no son utilizadas, es decir en temporadas bajas; en este caso al momento que lleguen los visitantes a los destinos turísticos (sea temporada baja o alta), se tengan listos los paquetes para construir la vivienda y desmontarlas cuando se haya terminado la temporada de visitantes.

8. LITERATURA CITADA

AMERICAN FOREST & PAPER ASSOCIATION (AF&PA). 2005. Workbook Wood Frame Construction Manual. Washington D.C. 151 p.

AMERICAN SOFTWOODS. (s/f a). Muros con bastidores de madera estructural de las coníferas de los Estados Unidos. Centro de información sobre la madera de coníferas en los Estados Unidos. s/e. 43 p.

AMERICAN SOFTWOODS. (s/f b). Cubiertas ligeras con madera estructural de las coníferas de los Estados Unidos. Centro de información sobre la madera de coníferas en los Estados Unidos. s/e. 28 p.

ÁNGELES V., J. A. 2010. Prototipo de vivienda rural sustentable y confortable a base de materiales derivados de la madera y bagazo de coco. Tesis de Maestría. Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura. Sección de estudios de posgrado e investigación. Instituto Politécnico Nacional. México D.F. 195 p.

ARAUCO. (s/f). Ingeniería y Construcción en Madera. 2da Edición. Chile, 158 p.

ARROYO P., J. 2003. Propiedades Madera. Edición: Darío Garay. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Mérida, Venezuela. 158 p.

BARAJAS M., F.J. 2009. Proceso constructivo de una casa de madera como alternativa de construcción de casas habitación en México. Tesis de licenciatura. Facultad de Ingeniería civil. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Michoacán, México. 120 p.

BLACKBURN G. 1974. Illustrated Housebuilding. s/e New York. 155 p.

- COMISIÓN FORESTAL DE AMÉRICA DEL NORTE (COFAN). 1994. Manual de estructuras ligeras de madera. 1a. Edición. COMACO A.C. México D.F. 472 p.
- COMISIÓN FORESTAL DE AMÉRICA DEL NORTE (COFAN). 1999. Manual de estructuras ligeras de madera. 2a. Edición. COMACO A.C. y UACH. México D.F. 476 p.
- COMISIÓN NACIONAL FORESTAL (CONAFOR). (s/f a). Consideraciones Tecnológicas en la protección de la madera. s/e Jalisco, México. 50 p.
- CORPORACIÓN CHILENA DE LA MADERA (CORMA). 2004. La construcción de viviendas en madera. s/e. Santiago, Chile. 626 p.
- CURSO-TALLER: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON MADERA. 2014. Colegio de Arquitectos del Estado de México, A.C. Toluca, Edo. de México.
- ECHENIQUE M. R. y ROBLES F. F. 1993. Ciencia y tecnología de la madera 1. Editado por: Andrea Ramírez y Magdalena Cabrera. Xalapa, Veracruz. 137 p.
- ELIZONDO B., J.E. 2009. La lluvia Conducida por Viento en las edificaciones. Tesis de Maestría. Arq. Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Unidad Tecamachalco, Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Politécnico Nacional. México D.F., 145 p.
- ELORZA W., M. E. 1984a. Actividades que se realizan para promover el uso de la madera en la construcción. Revista Ciencia Forestal (México) 49(9): 37- 41.

- ESPINOSA Z., S. *et al.* 2010. Secado de la madera aserrada. Universidad Autónoma de Chiapas. s/e Chiapas, México. 132 p.
- FAHN A. 1978. Anatomía de la madera. 2da Edición. Madrid, España. 643 p.
- FITECMA. 2011. Sistema constructivo Fitecma. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Investigación e Ingeniería de la Madera 7(3): 3-19.
- FLORES V., R. 2005. Competitividad de la cadena productiva de madera aserrada en México: el caso de la región Chignahuapan-Zacatlán, Puebla. Tesis de Doctorado. CIESTAAM. Universidad Autónoma Chapingo. Edo de México. 153 p.
- FUENTES S., M. 2010. Acervo de imágenes de la industria forestal. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. *s/p*.
- GARCÍA *et al.* (2003). La Madera y su anatomía. Primera edición. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España, 327 p.
- HANONO, B. M. 2005. Construcción en madera. Editorial CIMA. Río negro, Argentina. 152 p.
- INAT S., T. 2011. Sistema de plataforma con entramado ligero de madera. Puesta en obra y aceptación en España. Universidad Politécnica de Cataluña, España. 129 p.
- INSTITUTO FORESTAL (INFOR). 1991. Manual de construcciones en madera. Manual N° 10. Vol. 2. 2da Edición. Santiago, Chile. *s.p*.
- JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA (JUNAC). 1980. Cartilla de construcción con madera. Lima, Perú. *s.p*.

- JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA (JUNAC). 1982. Manual de diseño para maderas del Grupo Andino. 3ra Edición. Editado por PhD. Javier Piqué. Lima, Perú. s.p.
- JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA (JUNAC). 1988. Manual del grupo andino para la preservación de maderas. Editorial PRID-MADERA. Lima, Perú. s.p.
- MUÑIZ R., J.G. 2006. Caracterización de concretos de baja resistencia en viviendas de interés social. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería. Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F. 159 p.
- NMX-C-239-ONNCCE-1985. Clasificación visual para madera de pino de uso estructural. México. 15 p.
- NMX-C-411-ONNCCE-1999. Industria de la construcción – Vivienda de madera – Especificaciones de comportamiento para tableros a base de madera de uso estructural, publicado en el diario oficial de la federación el día 24 de noviembre de 1999. México. 23 p.
- NMX-C-410-ONNCCE-1999. Industria de la construcción – Vivienda de madera – Retención y penetración de sustancias preservadoras en madera – métodos de prueba, publicado en el diario oficial de la federación el día 17 de junio de 1999. México. 25 p.
- NMX-C-224-ONNCCE-2001. Industria de la construcción – Vivienda de madera y equipamiento urbano – Dimensiones de la madera aserrada para su uso en la construcción, publicado en el diario oficial de la federación el día 29 de enero de 2002. México. 5 p.
- NMX-C-434-ONNCCE-2006. Industria de la construcción – Pisos de Madera sólida – Clasificación y especificaciones, publicado en el diario oficial de la federación el día 22 de junio de 2006. 1 México. 9 p.

- NMX-C-443-ONNCCE-2006. Industria de la construcción – Madera – Contenido de humedad de la madera – Métodos de ensayo, publicado en el diario oficial de la federación el día 15 de diciembre de 2006. México. 9 p.
- NMX-C-439-ONNCCE-2006. Industria de la construcción – Tableros contrachapados de madera de pino y otras coníferas – Propiedades físicas – métodos de ensayo, publicado en el diario oficial de la federación el día 15 de diciembre de 2006. México. 11 p.
- NMX-C-440-ONNCCE-2006. Industria de la construcción – Tableros de contrachapados de madera de pino y otras coníferas – Propiedades mecánicas – Métodos de ensayo, publicado en el diario oficial de la federación el día 15 de diciembre de 2006. México. 26 p.
- NMX-C-443-ONNCCE-2006. Industria de la construcción – Madera – Contenido de humedad de la madera – Métodos de ensayo, publicado en el diario oficial de la federación el día 16 de octubre de 2006. México. 23 p.
- NMX-C-446-ONNCCE-2006. Industria de la construcción – Vivienda de madera y equipamiento urbano – Métodos de ensayo para determinar las propiedades mecánicas de la madera de tamaño estructural, publicado en el diario oficial de la federación el día 15 de diciembre de 2006. México. 25 p.
- NMX-C-460-ONNCCE-2009. Industria de la construcción – Aislamiento térmico – Valor “R” para las envolventes de vivienda por zona térmica para la República Mexicana – Especificaciones y verificación, publicado en el diario oficial de la federación el día 18 de agosto de 2009. México. 32 p.

NMX-C-307/1-ONNCCE-2009. Industria de la construcción – Edificaciones – resistencia al fuego de elementos y componentes, especificaciones y métodos de ensayo, publicado en el diario oficial de la federación el día 21 de enero de 2010. México. 20 p.

NMX-C-461-ONNCCE-2010. Industria de la construcción – Tableros de partículas de madera – Denominación, clasificación y especificaciones, publicado en el diario oficial de la federación el día 25 de octubre de 2010. México. 8 p.

NMX-C-462-ONNCCE-2010. Industria de la construcción – Tableros de partículas de madera – Propiedades físicas y mecánicas, tasa de emisión y contenido de formaldehído – Métodos de ensayo, publicado en el diario oficial de la federación el día 07 de abril de 2011. México. 38 p.

NMX-C-178-ONNCCE-2014. Industria de la construcción – Preservadores para madera – Clasificación y requisitos, publicado en el diario oficial de la federación el día 07 de noviembre de 2014. México. 11 p.

NMX-C-322-ONNCCE-2014. Industria de la construcción – Madera preservada a presión – Clasificación y requisitos, publicado en el diario oficial de la federación el día 07 de noviembre de 2014. México. 5 p.

NMX-C-419-ONNCCE-2014. Industria de la construcción – Preservación de maderas – Terminología, publicado en el diario oficial de la federación el día 01 de diciembre de 2014. México. 16 p.

NMX-C-438-ONNCCE-2014. Industria de la construcción – Tableros contrachapados de madera de pino y otras coníferas – Clasificación y especificaciones, publicado en el diario oficial de la federación el día 07 de noviembre de 2014. México. 13 p.

- ORDOÑEZ C., R. 1995. Muros de cortante en estructuras de madera. *Madera y Bosques (México)* 1(2), 37-50.
- PARKER H. y AMBROSE J. 2012. Diseño simplificado de estructuras de madera. Traducción de la 2da Edición: Raúl Arrijo Juárez. Editorial Limusa Wiley. México. 338 p.
- PERAZA S., F. 2001. Protección preventiva de la madera. s/e Madrid, España, 439 p.
- PÉREZ H., M. S. 2005. La deficiencia del control de calidad en las obras de ingeniería civil, originada por el desconocimiento de las normas y la mala calidad de los sistemas de calidad. Tesis de Maestría. Administración de la Construcción. Instituto Tecnológico de la Construcción. Veracruz, México. 79 p.
- SÁNCHEZ C., J. 2012. La vivienda “social” en México; Pasado – presente – futuro? s/e. México D.F. 327 p.
- SÁNCHEZ R., L. 2008. Diplomado en aprovechamiento, conservación y restauración de recursos forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Estado de México, México. 402 p.
- SECRETARÍA DE OBRAS Y SERVICIOS. 2004. Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal. México. 284 p.
- SECRETARÍA DE OBRAS Y SERVICIOS. 2004. Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal. México. 43 p.
- TAMARIT U., J.C. y López T., J.L. 2007. Xilotecología de los principales árboles tropicales de México. Libro Técnico No 3. INIFAP-CIR Golfo Centro, Campo Experimental San Martinito. Tlahuapan, Puebla. México. 264 p.

Fuentes electrónicas:

CEMENTOS CRUZ AZUL (s/f). Cemento Cruz Azul Tipo II Compuesto (CPC 30R RS). Resistencia a la compresión (kg/m^2). Disponible en: <http://www.cruzazul.com.mx>productos>. México D.F. Consultado el 31/03/2016.

CEMEX. (s/f). Manual del constructor. Disponible en: <http://www.cemex.com>. Consultado el 31/03/2016. 102 p.

CONAFOR. (s/f b). Manual de Autoconstrucción de Vivienda con madera. Comisión Nacional Forestal. Disponible en: <http://www.conafor.gob.mx>. Jalisco, México. Consultado el 31/03/2016. 64 p.

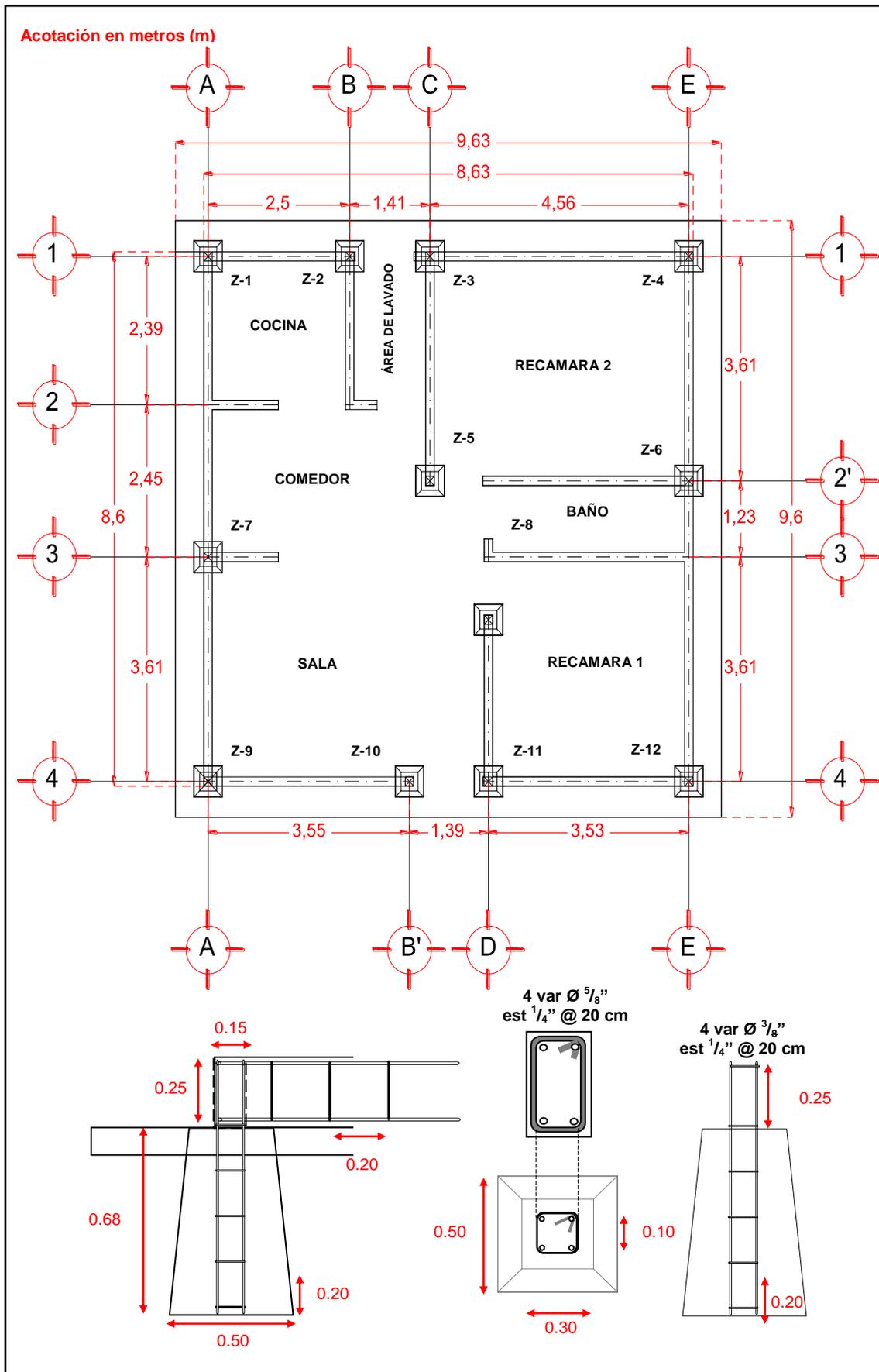
OWENS CORNING. 2009. Teja Asfáltica. Disponible en: <http://www.owenscorning.com>. Consultado el 31/03/2016. 4 p.

VIGA TREFILADOS S.A. de C.V. (s/f). Malla electrosoldada. Información técnica. Disponible en <http://www.villacero.com>. Consultado el 12/11/2015. 4 p.

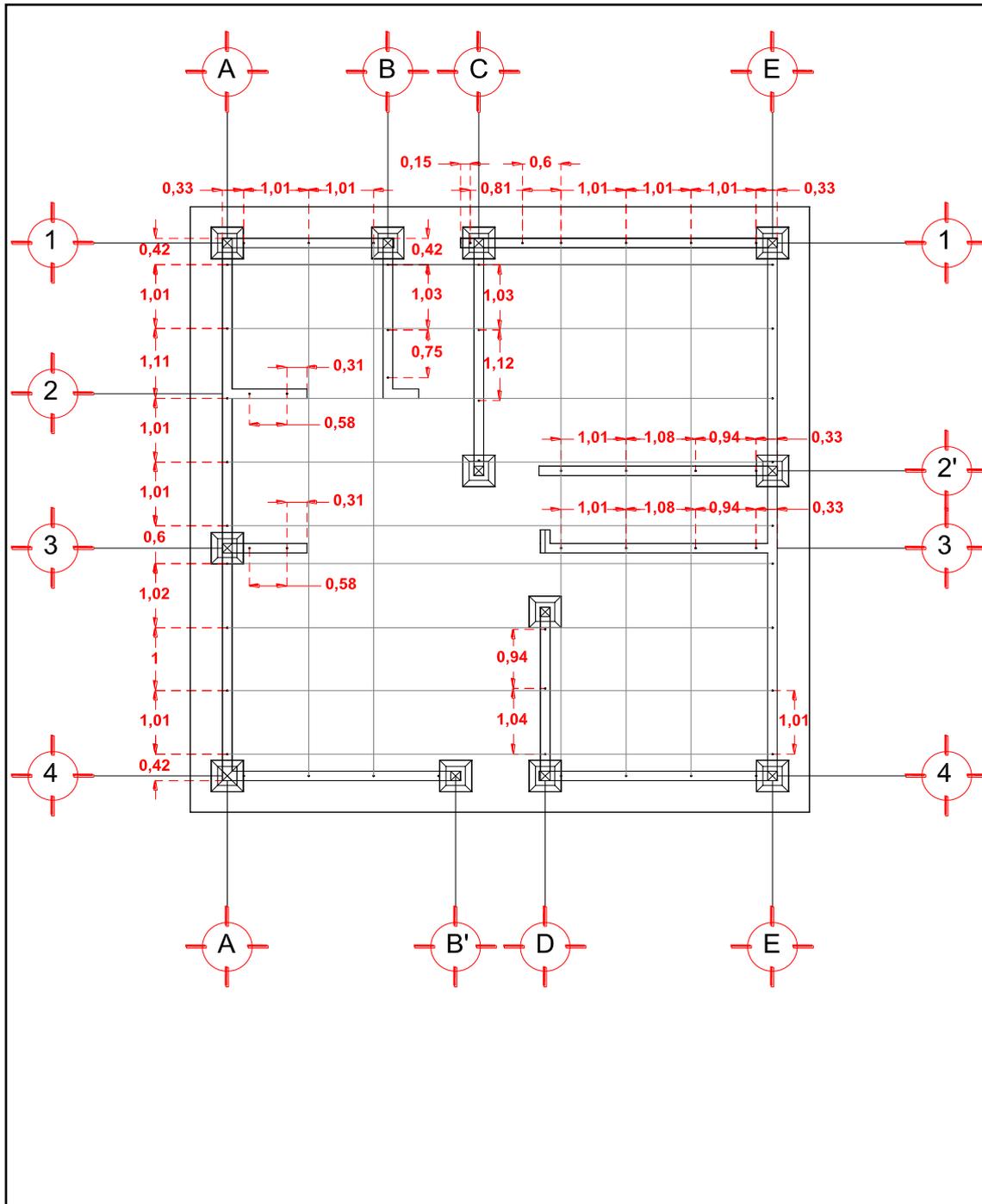
ALCALÁ C. y CAMACHO W. (s/f). EJERCICIOS DE ESTÁTICA. Disponible en <http://www.docs.engine.com>. Consultado el 15/02/2016. 26 p.

9. ANEXOS

Anexo 1. Cimentación (losa, cadena y zapatas de concreto).

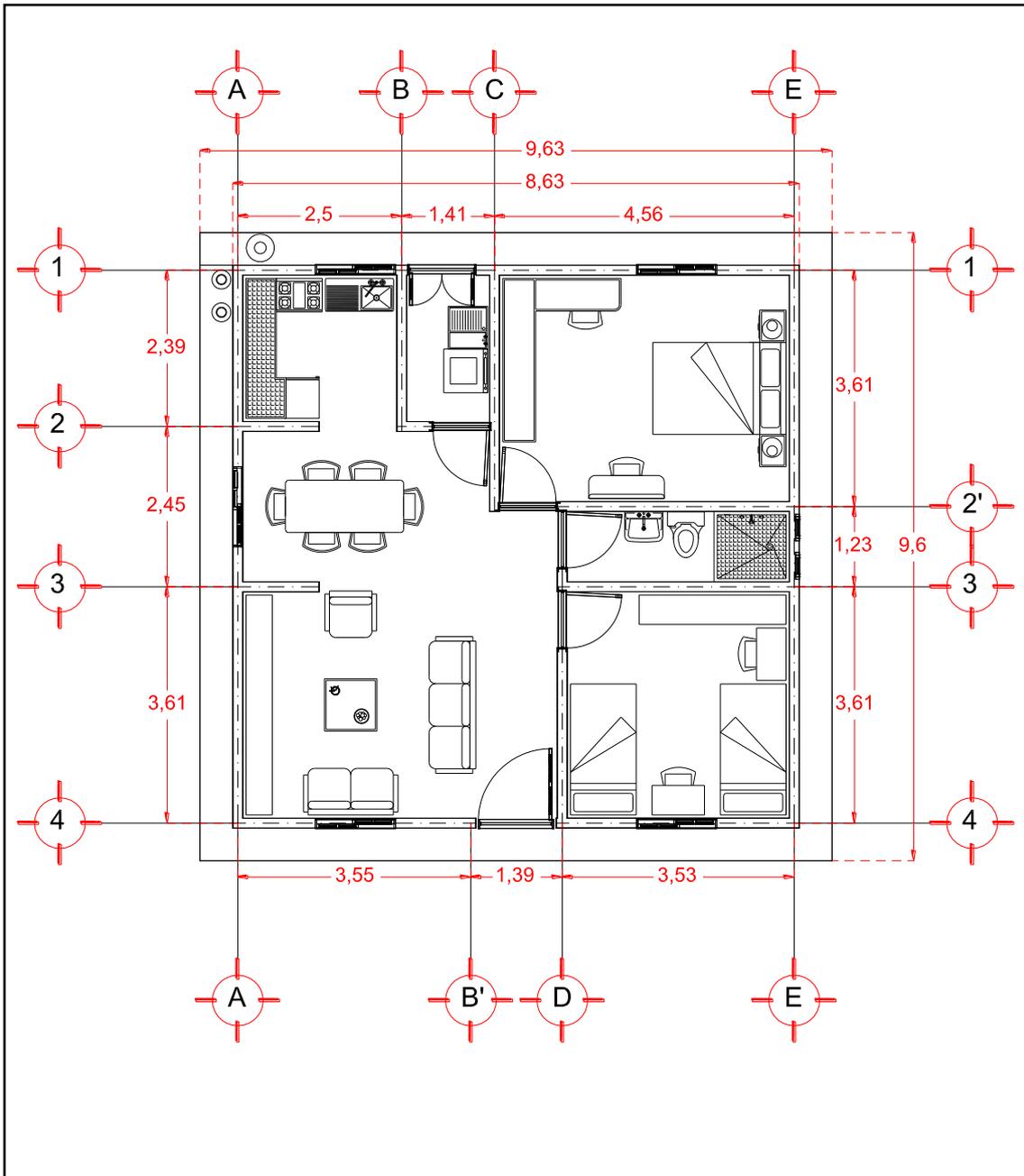


Anexo 2. Distancia para la colocación de pernos.



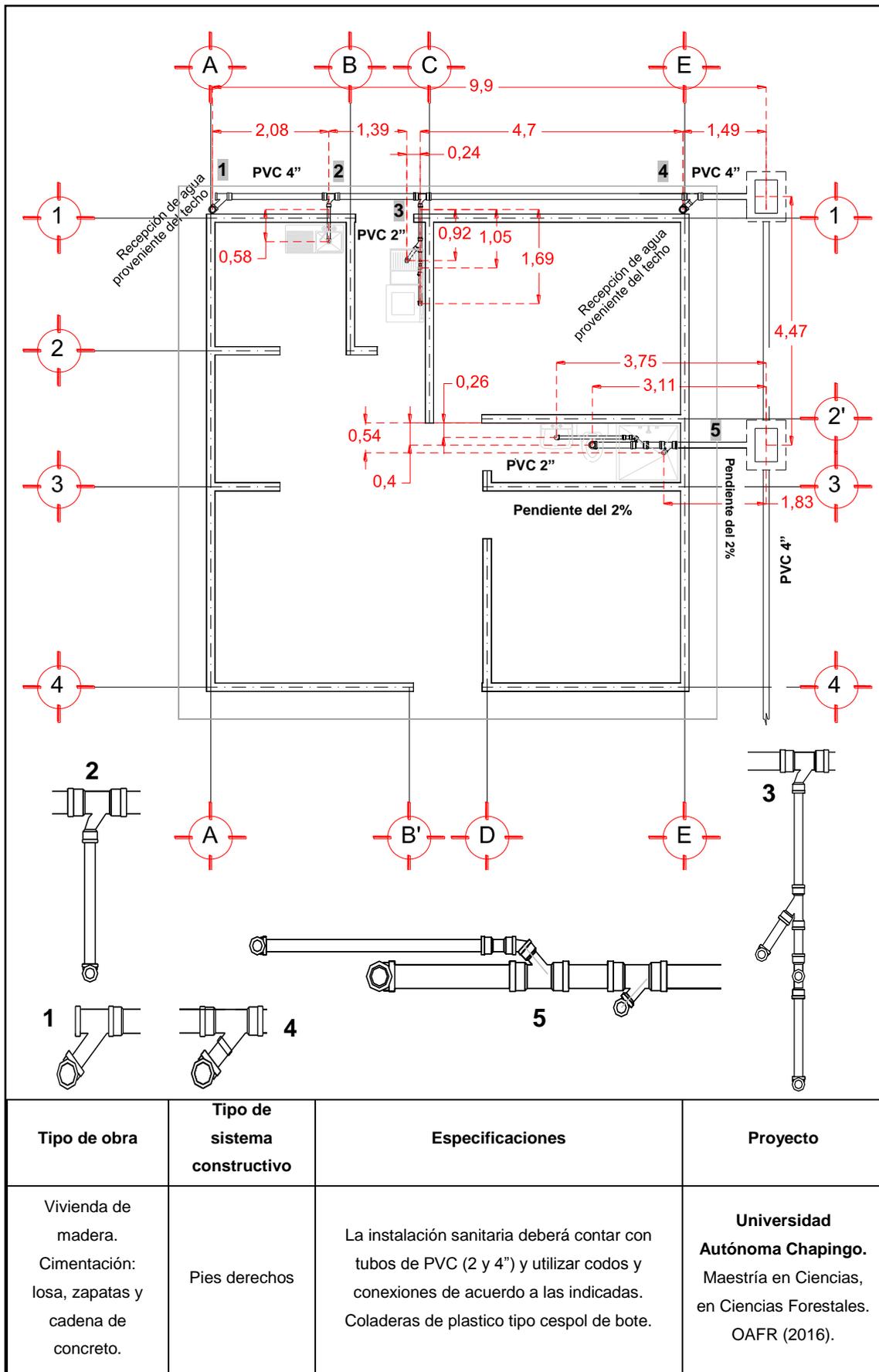
Tipo de obra	Tipo de sistema constructivo	Especificaciones	Proyecto
Vivienda de madera. Cimentación: losa, zapatas y cadena de concreto.	Pies derechos	Cadena de cimentación. $f'_c = 150$. Losa de cimentación y zapatas. $f'_c = 200$. 18 anclas de acero galvanizado de 10 mm (3/8") o 13 mm (1/2") de diámetro y 30 cm de longitud. (Figura 55 Pernos galvanizados de 13 mm (1/2") y una longitud de 30 cm, ambos con tuerca y rondana en la parte superior.	Universidad Autónoma Chapingo. Maestría en Ciencias, en Ciencias Forestales. OAFR (2016).

Anexo 3. Distribución de espacios.

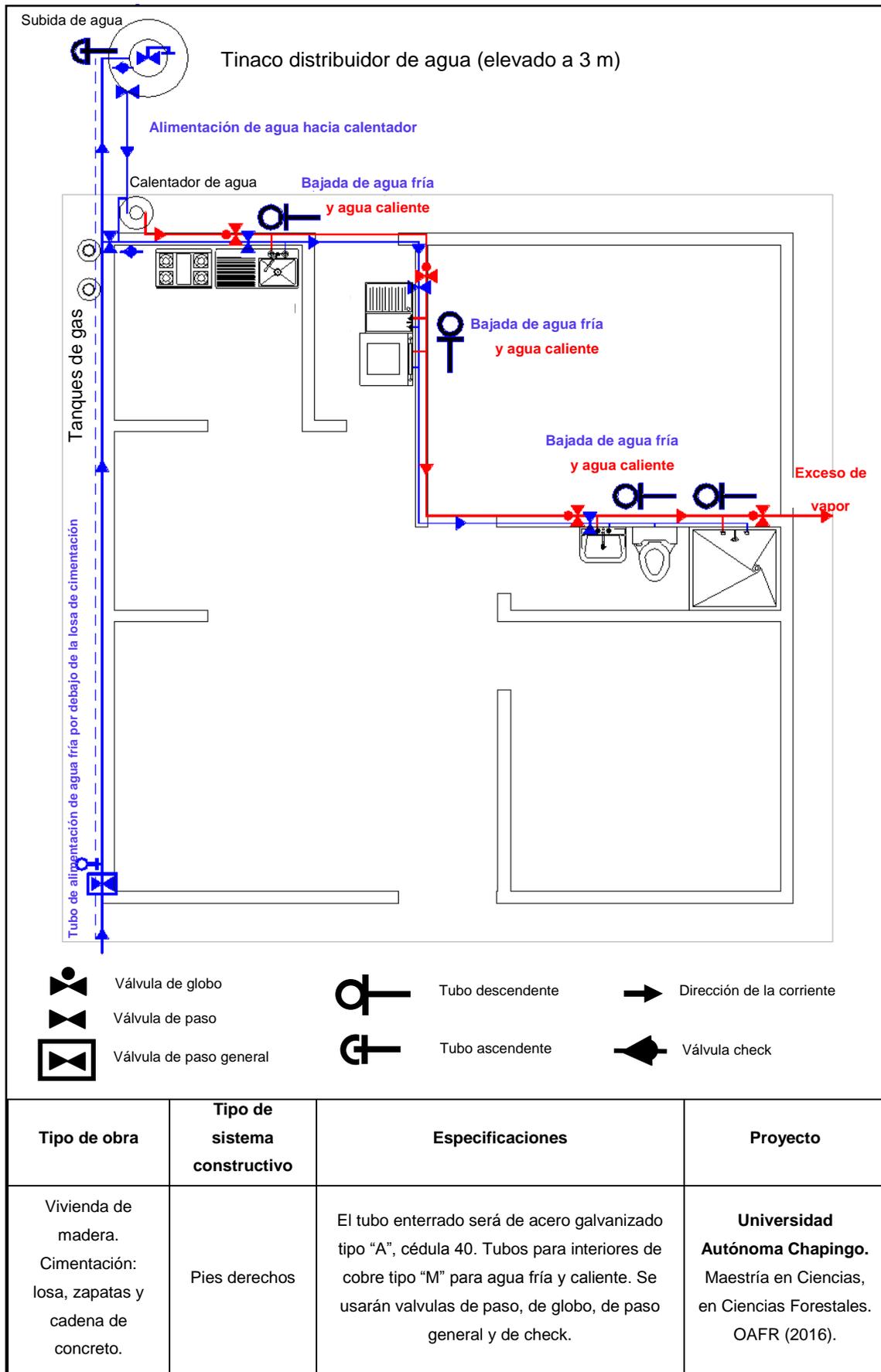


Tipo de obra	Tipo de sistema constructivo	Características de la vivienda de madera	Proyecto
Vivienda de madera. Cimentación: losa, zapatas y cadena de concreto.	Pies derechos	Vivienda diseñada para 4 personas de una sola planta (74.2 m ² , habitables), con los siguientes espacios: dos recamaras (una principal para adultos y una para los menores), sala, comedor, cuarto de lavado y sanitario con regadera. Puerta principal y puerta trasera (ambas de madera maciza y preservadas), cinco ventanas corredizas y dos ventanas de "resbalón" (también preservadas); cuatro puertas internas de tambor.	Universidad Autónoma Chapingo. Maestría en Ciencias, en Ciencias Forestales. OAFR (2016).

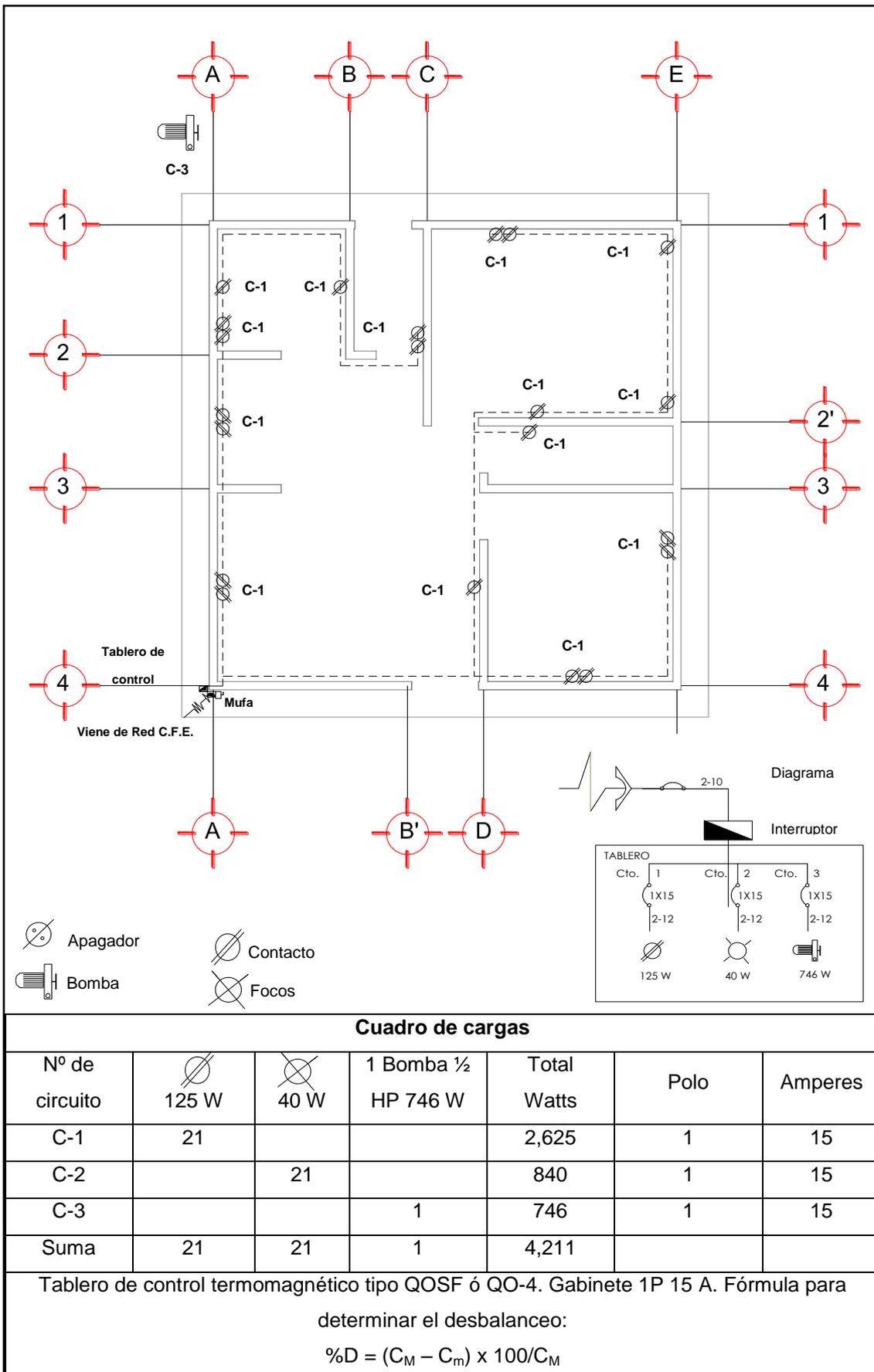
Anexo 4. Instalación sanitaria.



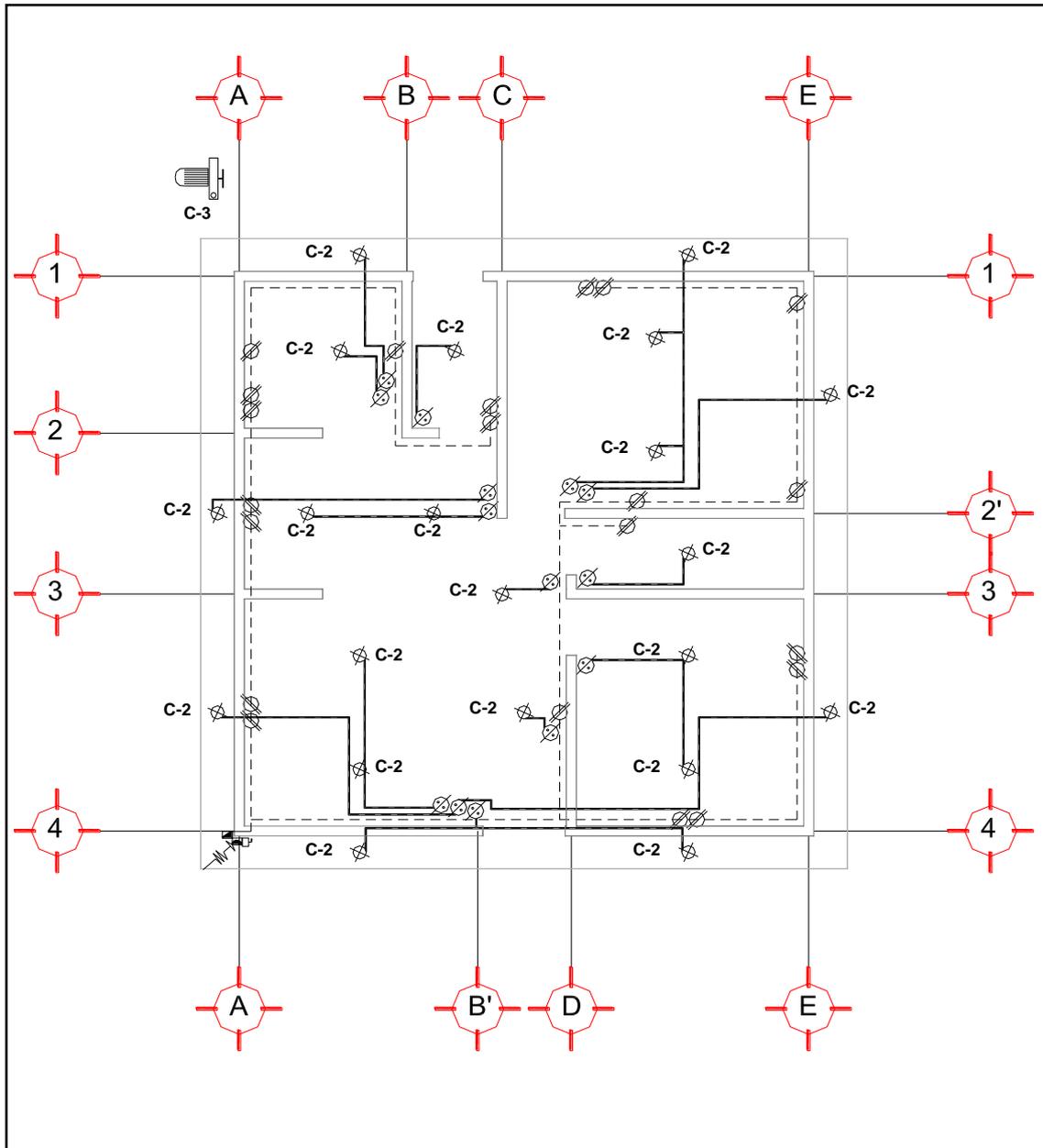
Anexo 5. Instalación hidráulica.



Anexo 6. Instalación eléctrica (contactos).

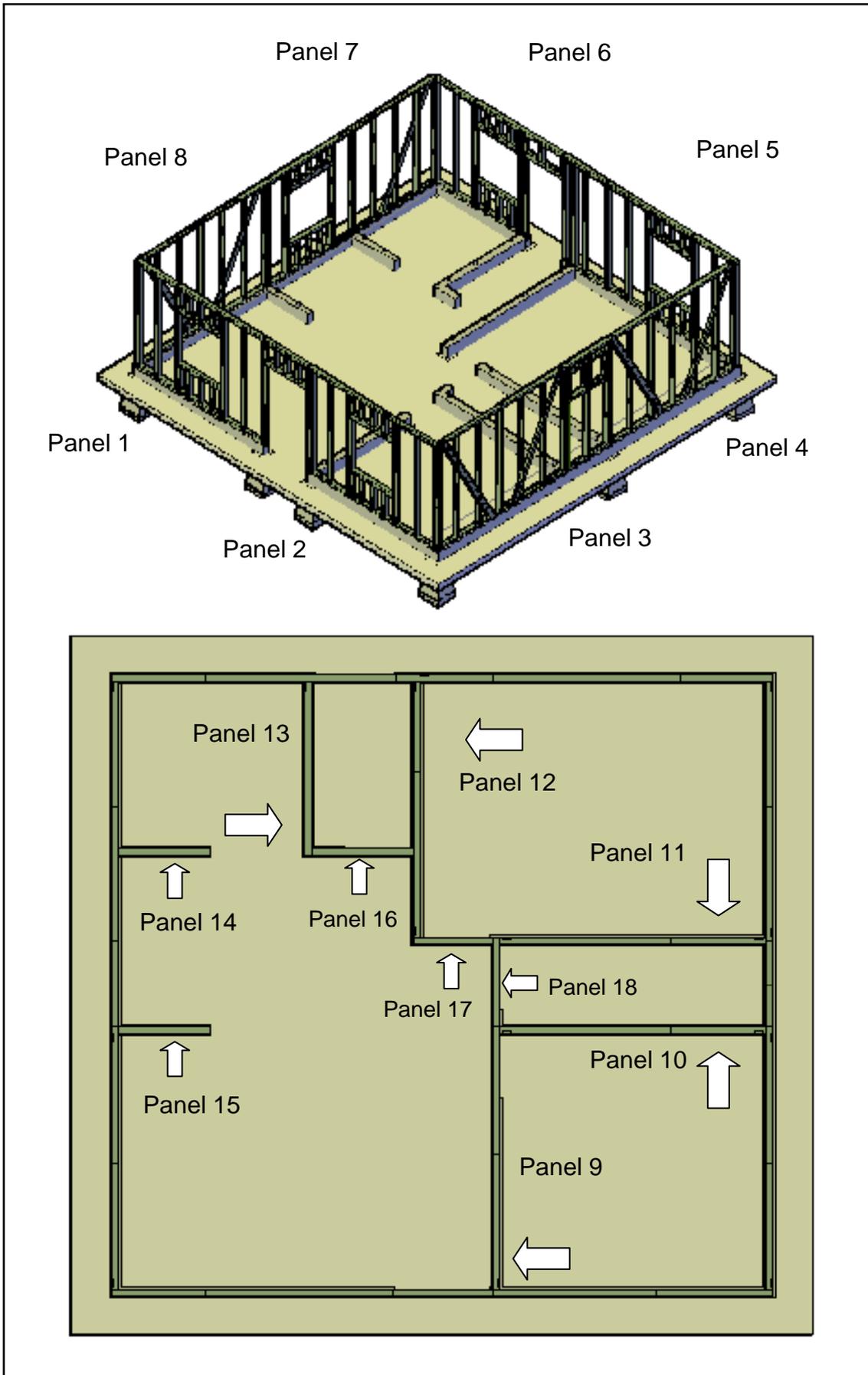


Anexo 7. Instalación eléctrica (focos y apagadores).

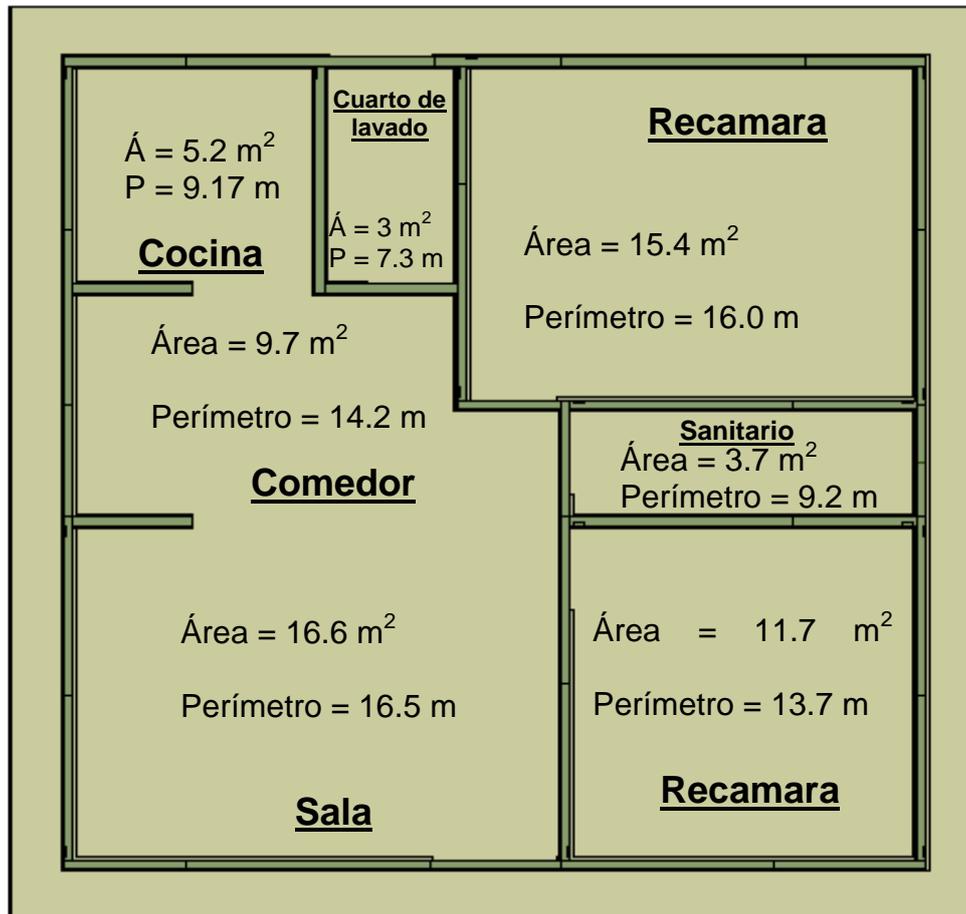


Tipo de obra	Tipo de sistema constructivo	Especificaciones	Proyecto
Vivienda de madera. Cimentación: losa, zapatas y cadena de concreto.	Pies derechos	La altura de los tableros, apagadores y contactos será de 1.70, 1.20 y 0.35 m, respectivamente. Todos los cables deberán estar instalados dentro de tubos condulet. Se recomienda el uso de cables THW (Thermoplastic Heat and Water Resistant) N°. 2 calibre 12 a 10 o en su caso AWG (American Wire Gauge) N°. 10 a 8. Los contactos y apagadores serán de 125 v, 10 A. El balanceo o equilibrio de cargas lo realizará un ingeniero electricista.	Universidad Autónoma Chapingo. Maestría en Ciencias, en Ciencias Forestales. OAFR (2016).

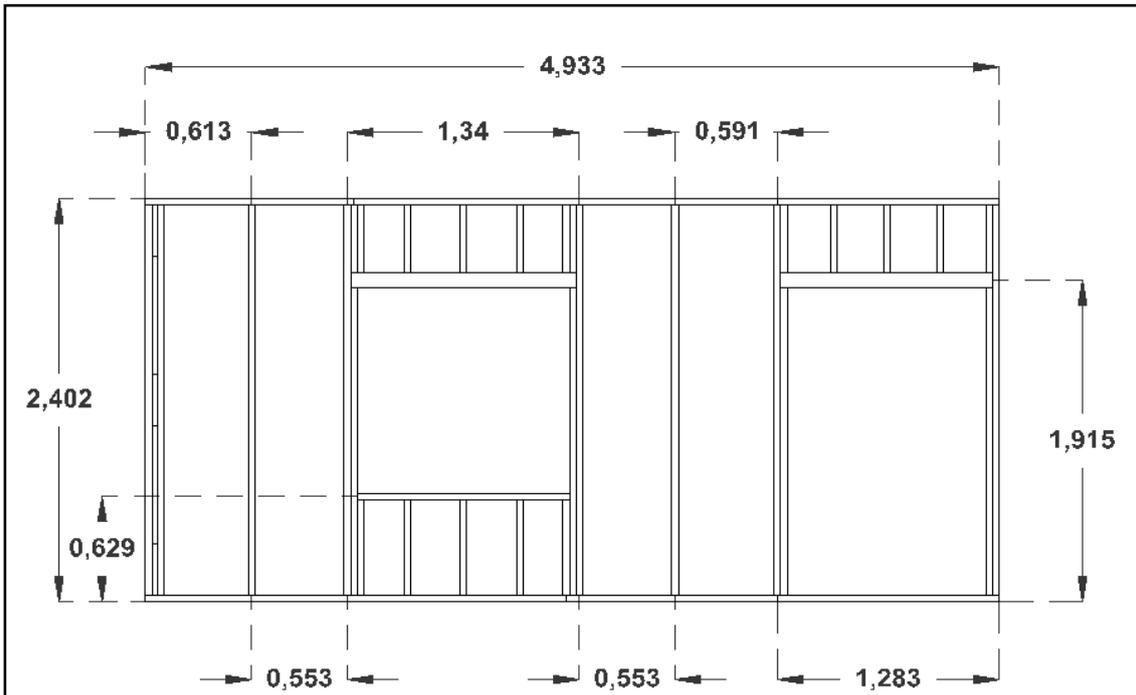
Anexo 8. Ubicación de los paneles perimetrales e internos.



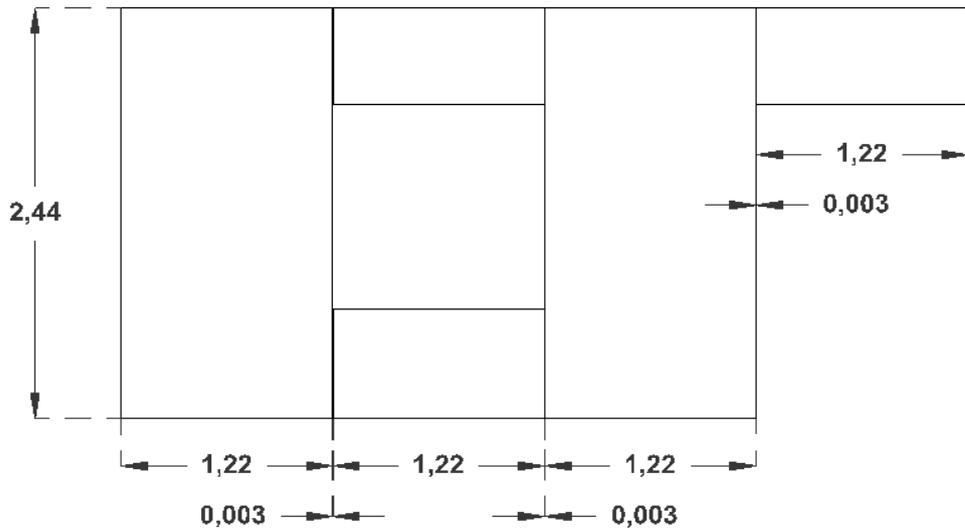
Anexo 9. Áreas de los espacios habitables de la vivienda.



Anexo 10. Dimensiones del Panel 1.

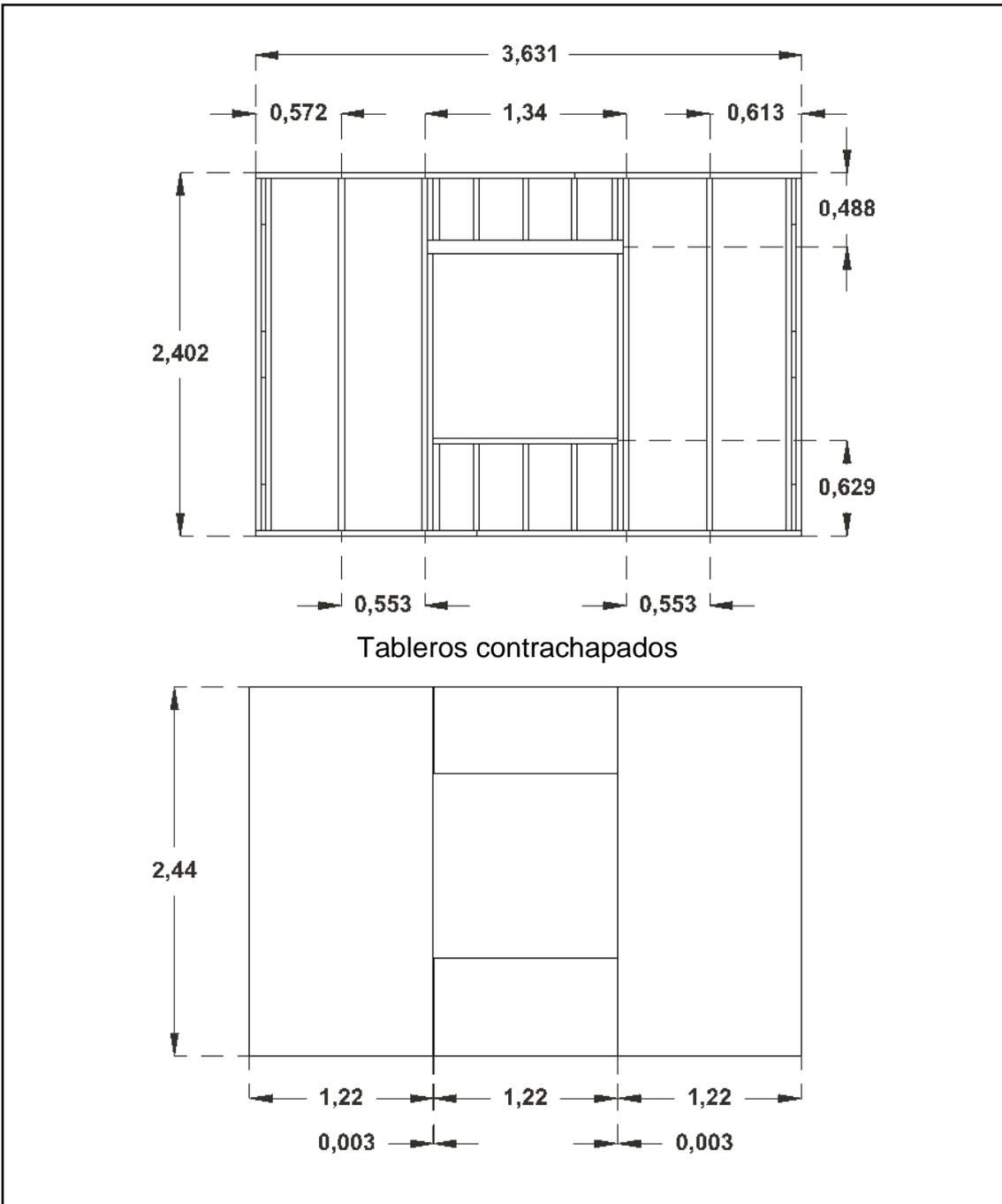


Tableros contrachapados



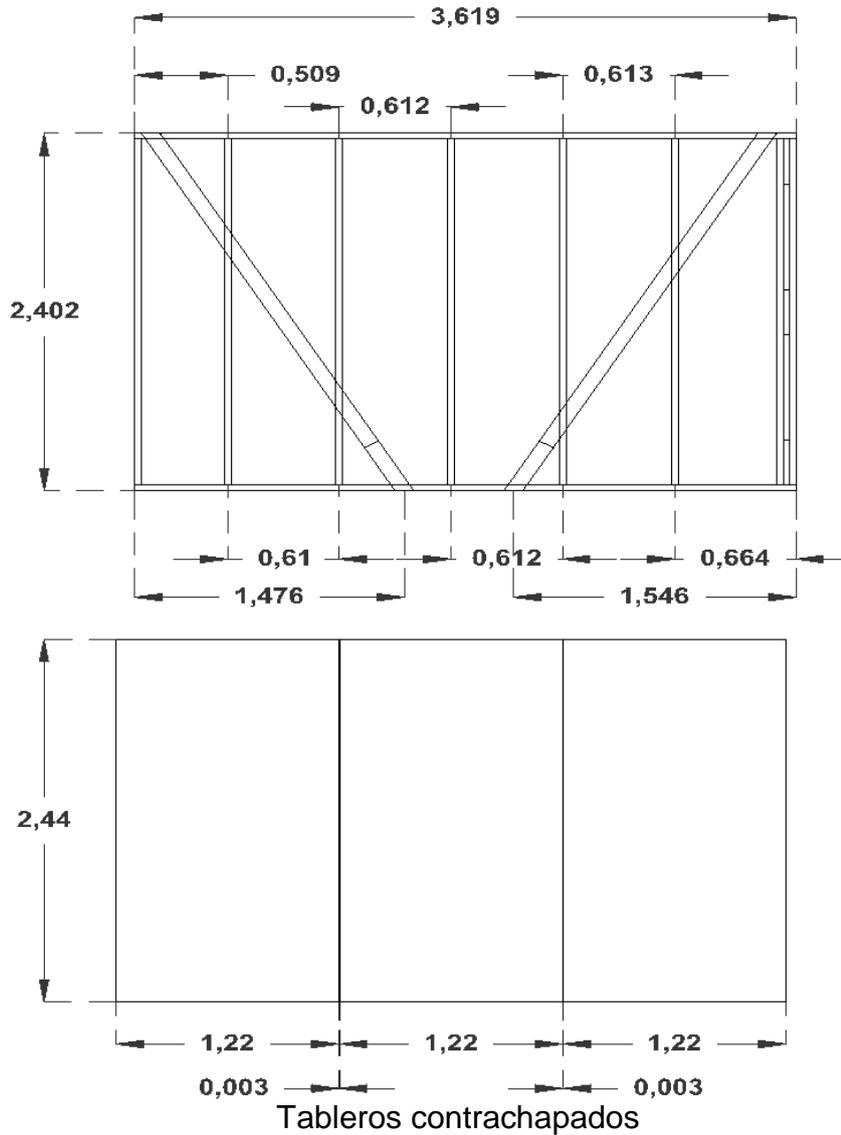
Tipo de obra	Tipo de sistema constructivo	Especificaciones	Proyecto
Vivienda de madera. Cimentación: losa, zapatas y cadena de concreto.	Pies derechos de 2" x 4"	Madera preservada con sales CCA. Dimensiones 2" x 4" (CH≤18%). Clasificada con la regla industrial Clase "A (CE7) o Clase "B" (CE5). Cubierta de tableros contrachapados fenólicos (12 mm). Cumple para las siguientes Normas: NMX-C-178-ONNCCE-2014; NMX-C-224-ONNCCE-2001; NMX-C-239-ONNCCE-1985; NMX-C-322-ONNCCE-2014; NMX-C-307/1-ONNCCE-2009; NMX-C-410-ONNCCE-1999; NMX-C-411-ONNCCE-1999; NMX-C-419-ONNCCE-2014; NMX-C-438-ONNCCE-2014.	Universidad Autónoma Chapingo. Maestría en Ciencias, en Ciencias Forestales. OAFR (2016).

...continúa. Dimensiones del Panel 2.



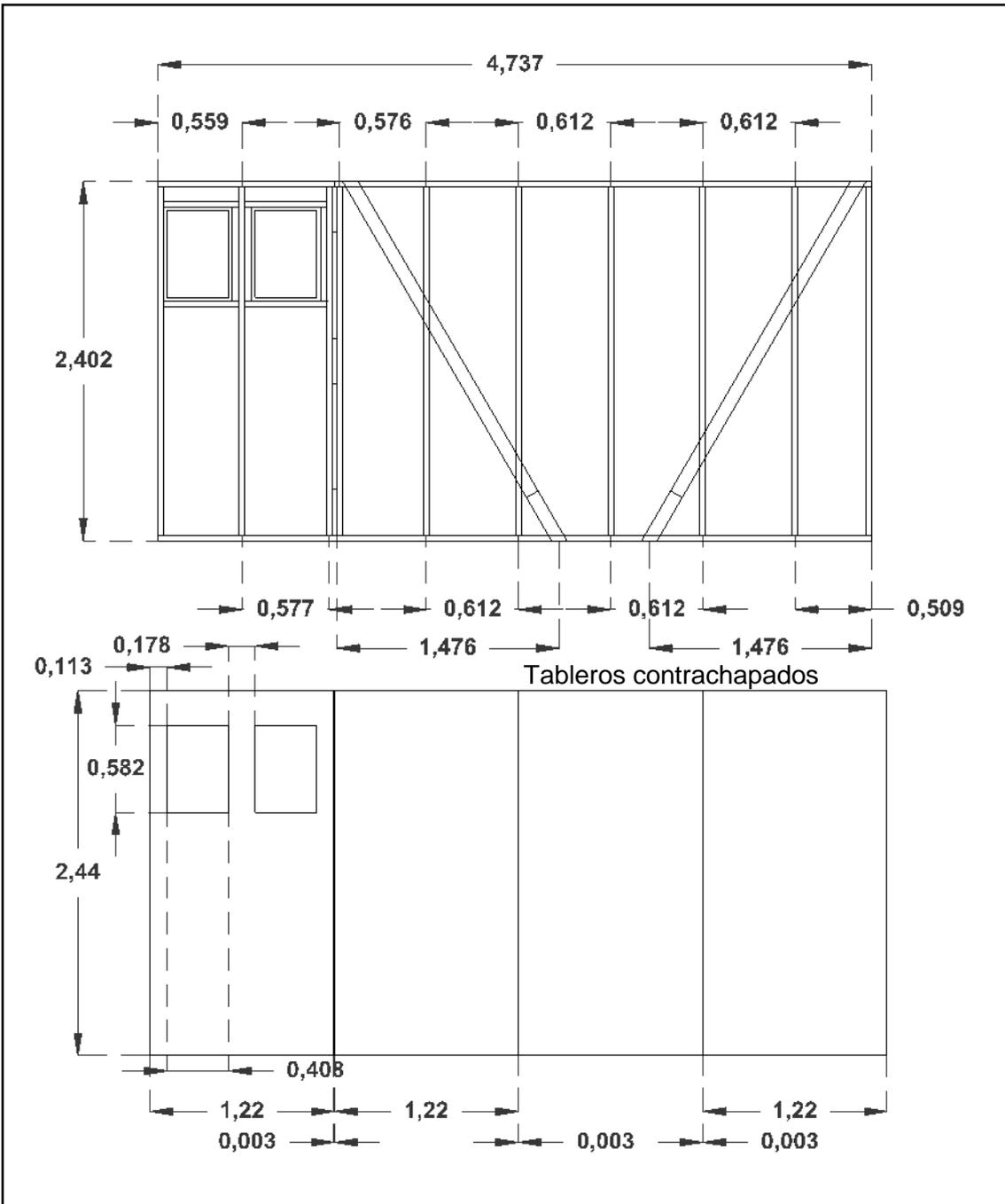
Tipo de obra	Tipo de sistema constructivo	Especificaciones	Proyecto
Vivienda de madera. Cimentación: losa, zapatas y cadena de concreto.	Pies derechos de 2" x 4"	Madera preservada con sales CCA. Dimensiones 2" x 4" (CH≤18%). Clasificada con la regla industrial Clase "A (CE7) o Clase "B" (CE5). Cubierta de tableros contrachapados fenólicos (12 mm). Cumple para las siguientes Normas: NMX-C-178-ONNCCE-2014; NMX-C-224-ONNCCE-2001; NMX-C-239-ONNCCE-1985; NMX-C-322-ONNCCE-2014; NMX-C-307/1-ONNCCE-2009; NMX-C-410-ONNCCE-1999; NMX-C-411-ONNCCE-1999; NMX-C-419-ONNCCE-2014; NMX-C-438-ONNCCE-2014.	Universidad Autónoma Chapingo. Maestría en Ciencias, en Ciencias Forestales. OAFR (2016).

...continúa. Dimensiones del Panel 3.



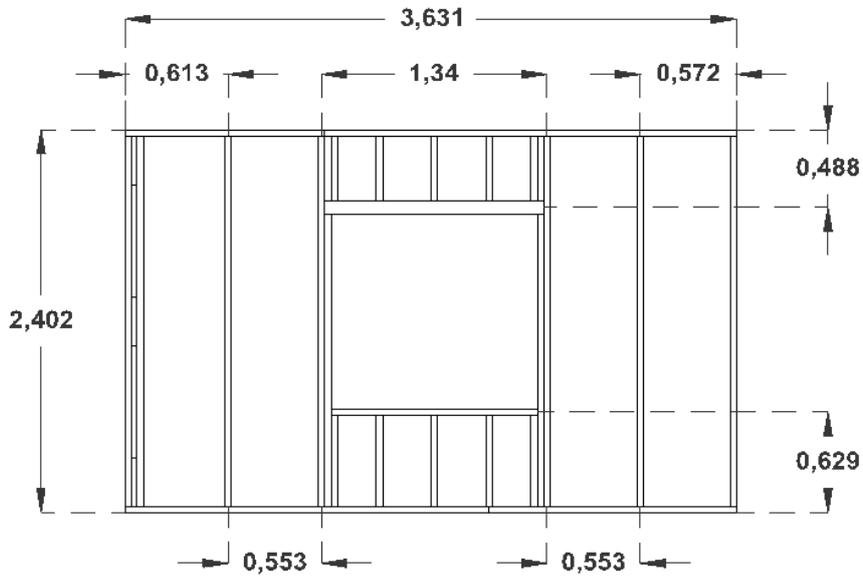
Tipo de obra	Tipo de sistema constructivo	Especificaciones	Proyecto
Vivienda de madera. Cimentación: losa, zapatas y cadena de concreto.	Pies derechos de 2" x 4" y 1" x 4"	Madera preservada con sales CCA. Dimensiones 2" x 4" (CH≤18%). Clasificada con la regla industrial Clase "A (CE7) o Clase "B" (CE5). Cubierta de tableros contrachapados fenólicos (12 mm). Riostras de 1" x 4". Cumple para las siguientes Normas: NMX-C-178-ONNCCE-2014; NMX-C-224-ONNCCE-2001; NMX-C-239-ONNCCE-1985; NMX-C-322-ONNCCE-2014; NMX-C-307/1-ONNCCE-2009; NMX-C-410-ONNCCE-1999; NMX-C-411-ONNCCE-1999; NMX-C-419-ONNCCE-2014; NMX-C-438-ONNCCE-2014.	Universidad Autónoma Chapingo. Maestría en Ciencias, en Ciencias Forestales. OAFR (2016).

...continúa. Dimensiones del Panel 4.

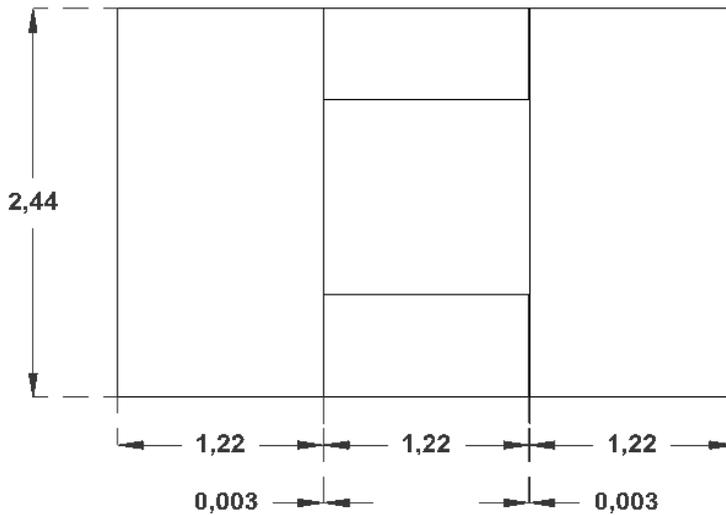


Tipo de obra	Tipo de sistema constructivo	Especificaciones	Proyecto
Vivienda de madera. Cimentación: losa, zapatas y cadena de concreto.	Pies derechos de 2" x 4" y 1" x 4"	Madera preservada con sales CCA. Dimensiones 2" x 4" (CH≤18%). Clasificada con la regla industrial Clase "A (CE7) o Clase "B" (CE5). Cubierta de tableros contrachapados fenólicos (12 mm). Riostras de 1" x 4". Cumple para las siguientes Normas: NMX-C-178-ONNCCE-2014; NMX-C-224-ONNCCE-2001; NMX-C-239-ONNCCE-1985; NMX-C-322-ONNCCE-2014; NMX-C-307/1-ONNCCE-2009; NMX-C-410-ONNCCE-1999; NMX-C-411-ONNCCE-1999; NMX-C-419-ONNCCE-2014; NMX-C-438-ONNCCE-2014.	Universidad Autónoma Chapingo. Maestría en Ciencias, en Ciencias Forestales. OAFR (2016).

...continúa. Dimensiones del Panel 5.

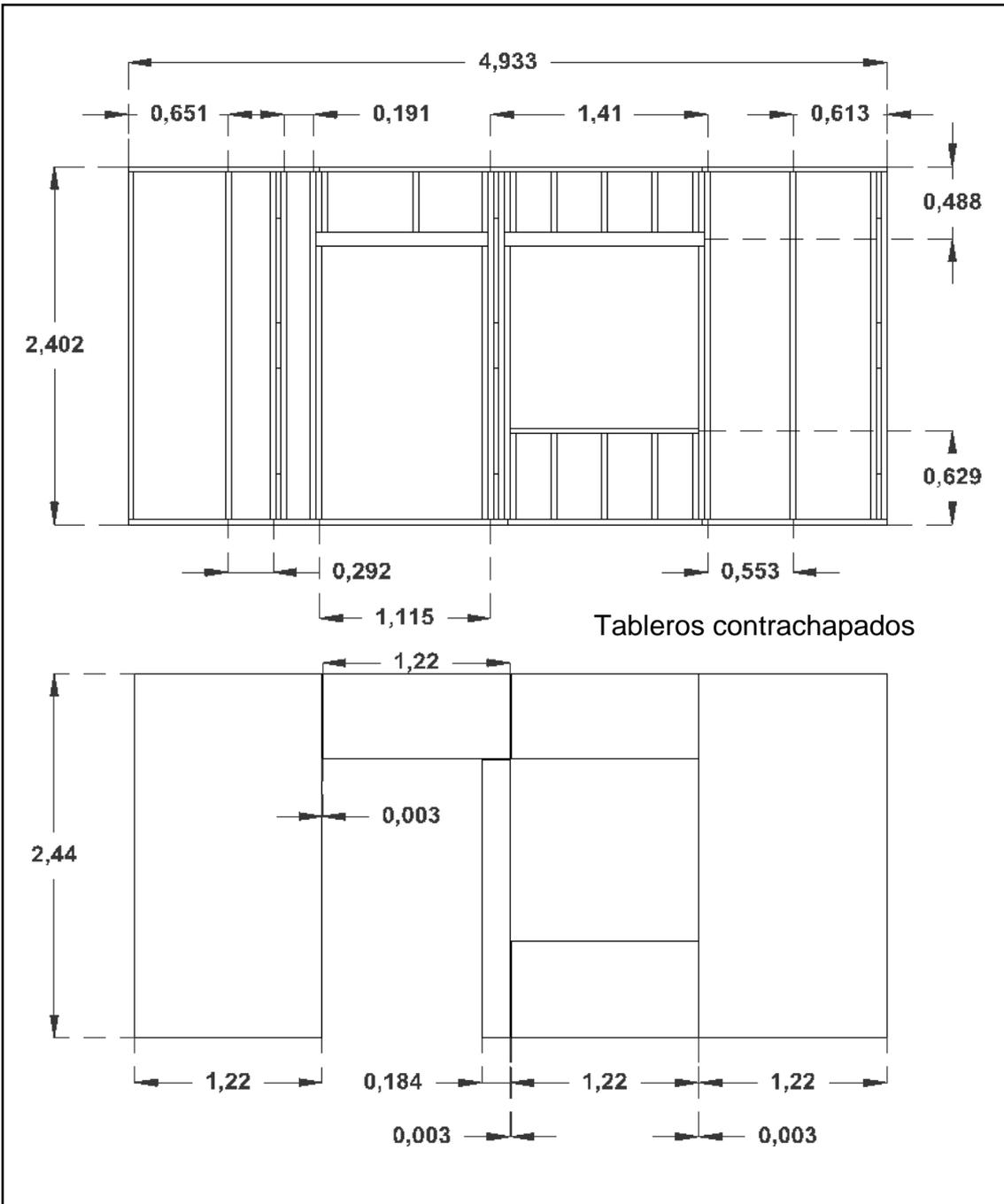


Tableros contrachapados



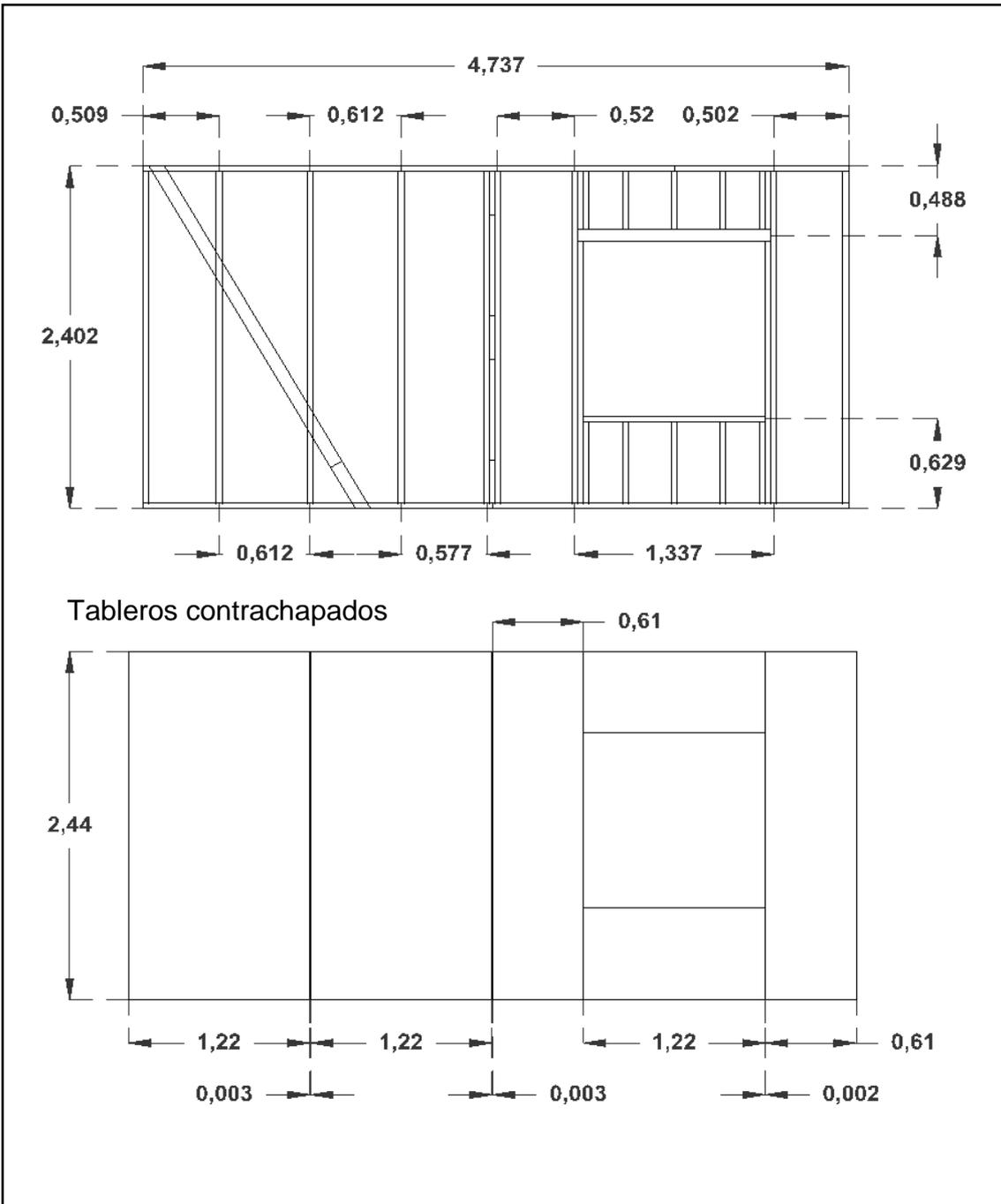
Tipo de obra	Tipo de sistema constructivo	Especificaciones	Proyecto
Vivienda de madera. Cimentación: losa, zapatas y cadena de concreto.	Pies derechos de 2" x 4"	Madera preservada con sales CCA. Dimensiones 2" x 4" (CH≤18%). Clasificada con la regla industrial Clase "A (CE7) o Clase "B" (CE5). Cubierta de tableros contrachapados fenólicos (12 mm). Cumple para las siguientes Normas: NMX-C-178-ONNCCE-2014; NMX-C-224-ONNCCE-2001; NMX-C-239-ONNCCE-1985; NMX-C-322-ONNCCE-2014; NMX-C-307/1-ONNCCE-2009; NMX-C-410-ONNCCE-1999; NMX-C-411-ONNCCE-1999; NMX-C-419-ONNCCE-2014; NMX-C-438-ONNCCE-2014.	Universidad Autónoma Chapingo. Maestría en Ciencias, en Ciencias Forestales. OAFR (2016).

...continúa. Dimensiones del Panel 6.



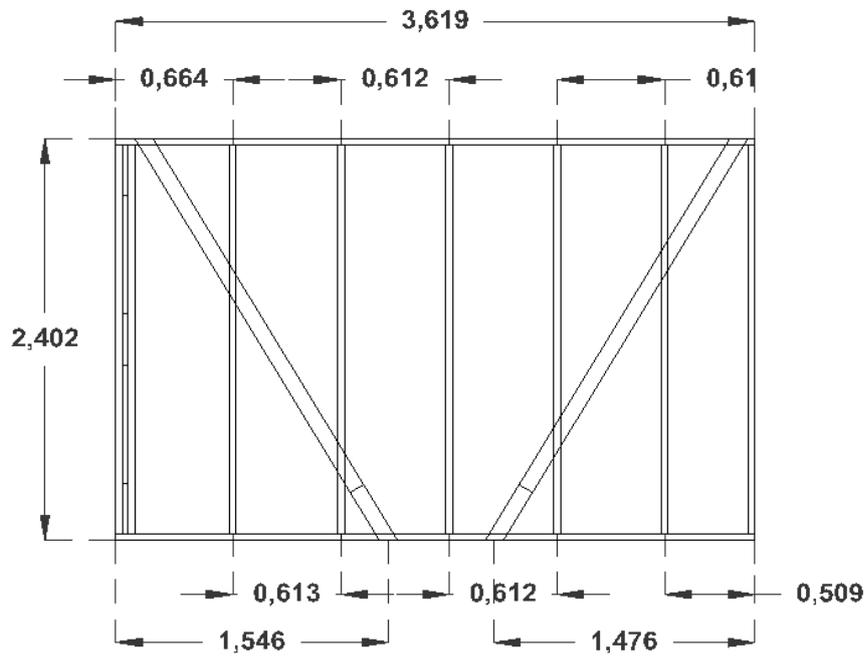
Tipo de obra	Tipo de sistema constructivo	Especificaciones	Proyecto
Vivienda de madera. Cimentación: losa, zapatas y cadena de concreto.	Pies derechos de 2" x 4"	Madera preservada con sales CCA. Dimensiones 2" x 4" (CH≤18%). Clasificada con la regla industrial Clase "A (CE7) o Clase "B" (CE5). Cubierta de tableros contrachapados fenólicos (12 mm). Cumple para las siguientes Normas: NMX-C-178-ONNCCE-2014; NMX-C-224-ONNCCE-2001; NMX-C-239-ONNCCE-1985; NMX-C-322-ONNCCE-2014; NMX-C-307/1-ONNCCE-2009; NMX-C-410-ONNCCE-1999; NMX-C-411-ONNCCE-1999; NMX-C-419-ONNCCE-2014; NMX-C-438-ONNCCE-2014.	Universidad Autónoma Chapingo. Maestría en Ciencias, en Ciencias Forestales. OAFR (2016).

...continúa. Dimensiones del Panel 7.

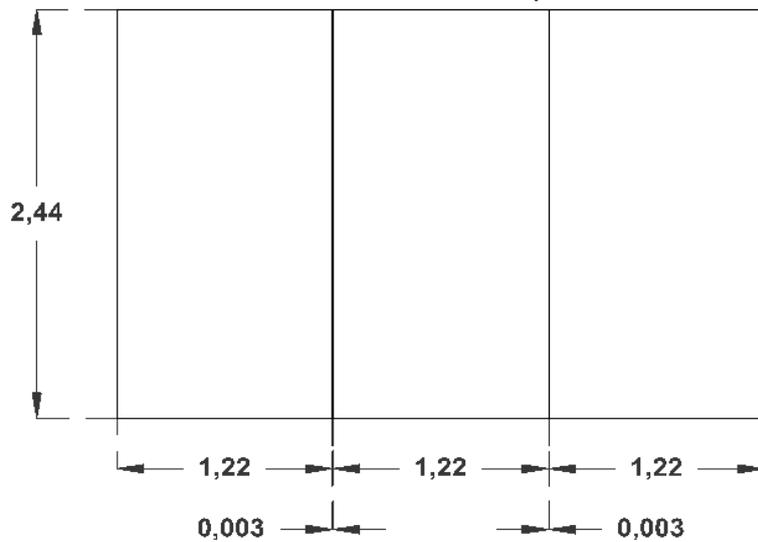


Tipo de obra	Tipo de sistema constructivo	Especificaciones	Proyecto
Vivienda de madera. Cimentación: losa, zapatas y cadena de concreto.	Pies derechos de 2" x 4" y 1" x 4"	Madera preservada con sales CCA. Dimensiones 2" x 4" (CH≤18%). Clasificada con la regla industrial Clase "A (CE7) o Clase "B" (CE5). Cubierta de tableros contrachapados fenólicos (12 mm). Riostras de 1" x 4". Cumple para las siguientes Normas: NMX-C-178-ONNCCE-2014; NMX-C-224-ONNCCE-2001; NMX-C-239-ONNCCE-1985; NMX-C-322-ONNCCE-2014; NMX-C-307/1-ONNCCE-2009; NMX-C-410-ONNCCE-1999; NMX-C-411-ONNCCE-1999; NMX-C-419-ONNCCE-2014; NMX-C-438-ONNCCE-2014.	Universidad Autónoma Chapingo. Maestría en Ciencias, en Ciencias Forestales. OAFR (2016).

...continúa. Dimensiones del Panel 8.

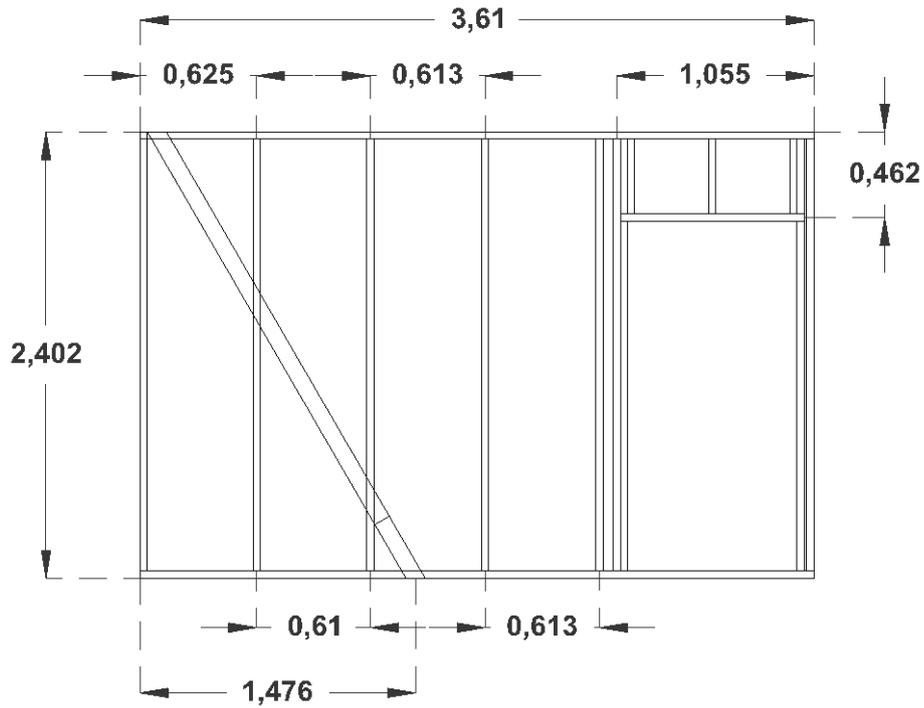


Tableros contrachapados



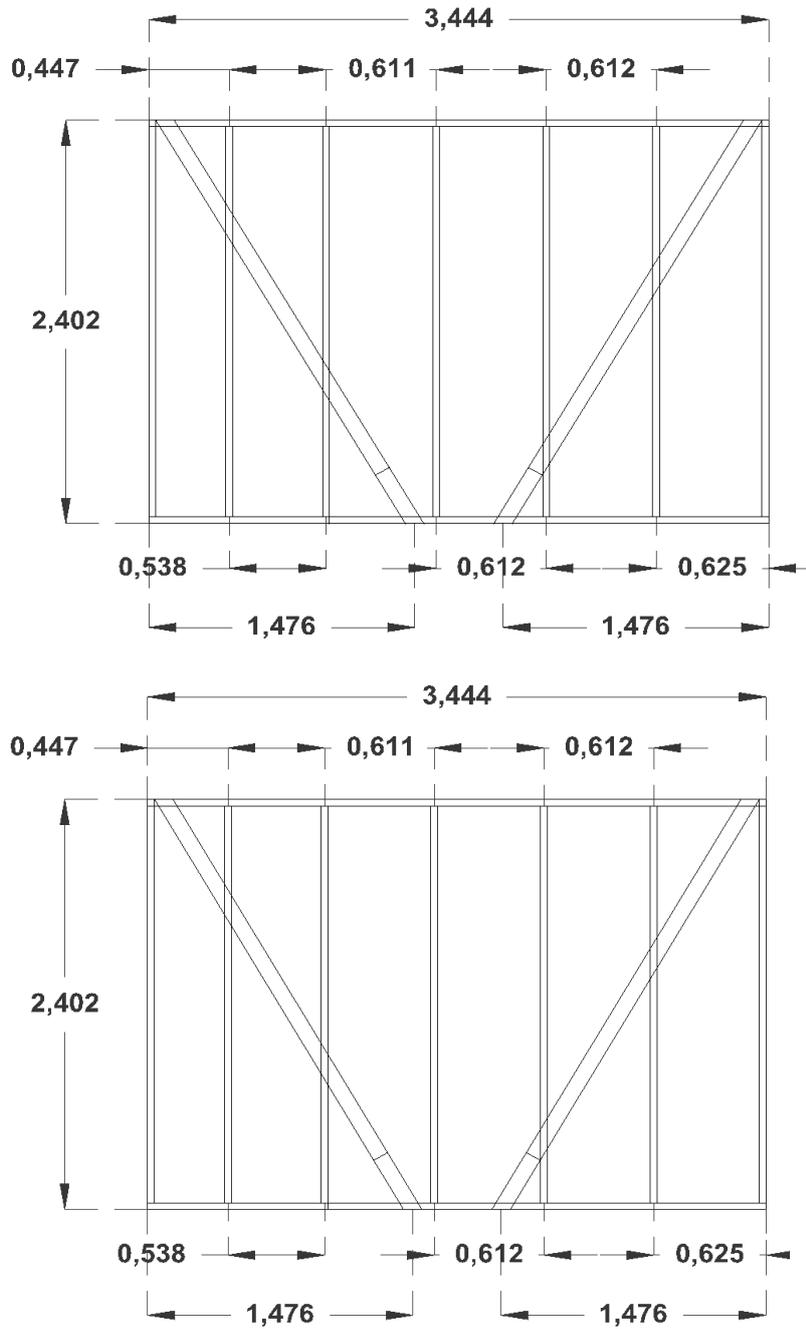
Tipo de obra	Tipo de sistema constructivo	Especificaciones	Proyecto
Vivienda de madera. Cimentación: losa, zapatas y cadena de concreto.	Pies derechos de 2" x 4" y 1" x 4"	Madera preservada con sales CCA. Dimensiones 2" x 4" (CH≤18%). Clasificada con la regla industrial Clase "A (CE7) o Clase "B" (CE5). Cubierta de tableros contrachapados fenólicos (12 mm). Riostras de 1" x 4". Cumple para las siguientes Normas: NMX-C-178-ONNCCE-2014; NMX-C-224-ONNCCE-2001; NMX-C-239-ONNCCE-1985; NMX-C-322-ONNCCE-2014; NMX-C-307/1-ONNCCE-2009; NMX-C-410-ONNCCE-1999; NMX-C-411-ONNCCE-1999; NMX-C-419-ONNCCE-2014; NMX-C-438-ONNCCE-2014.	Universidad Autónoma Chapingo. Maestría en Ciencias, en Ciencias Forestales. OAFR (2016).

...continúa. Dimensiones del Panel 9.



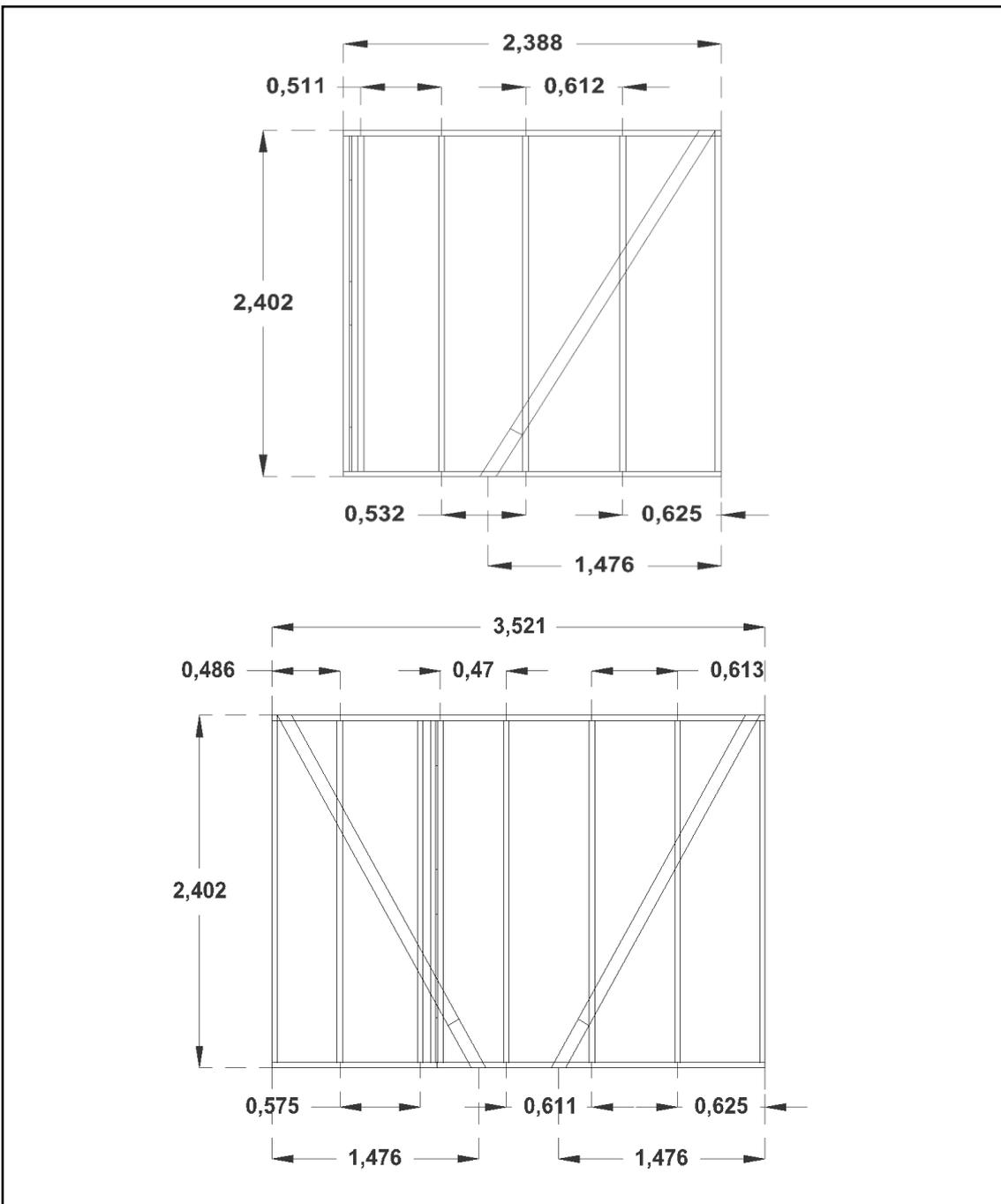
Tipo de obra	Tipo de sistema constructivo	Especificaciones	Proyecto
<p>Vivienda de madera. Cimentación: losa, zapatas y cadena de concreto.</p>	<p>Pies derechos de 2" x 4" y 1" x 4"</p>	<p>Madera preservada con sales CCA. Dimensiones 2" x 4" (CH≤18%). Clasificada con la regla industrial Clase "A" (CE7) o Clase "B" (CE5). Cubierta de tableros contrachapados de UF (12 mm ó 9 mm). Riostras de 1" x 4". Cumple para las siguientes Normas: NMX-C-178-ONNCCE-2014; NMX-C-224-ONNCCE-2001; NMX-C-239-ONNCCE-1985; NMX-C-322-ONNCCE-2014; NMX-C-307/1-ONNCCE-2009; NMX-C-410-ONNCCE-1999; NMX-C-411-ONNCCE-1999; NMX-C-419-ONNCCE-2014; NMX-C-438-ONNCCE-2014.</p>	<p>Universidad Autónoma Chapingo. Maestría en Ciencias, en Ciencias Forestales. OAFR (2016).</p>

...continúa. Dimensiones del Panel 10 y 11.



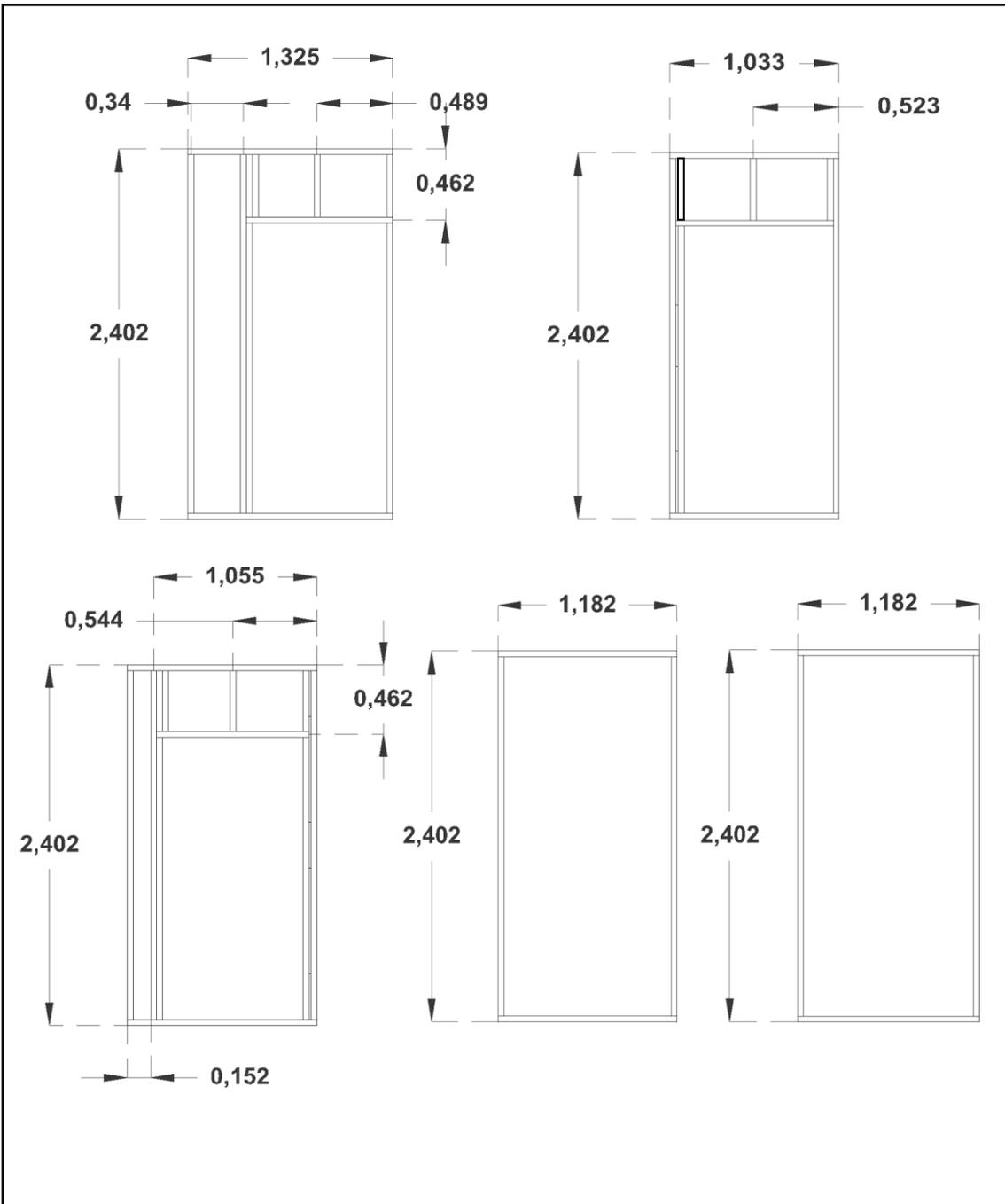
Tipo de obra	Tipo de sistema constructivo	Especificaciones	Proyecto
<p>Vivienda de madera. Cimentación: losa, zapatas y cadena de concreto.</p>	<p>Pies derechos de 2" x 4" y 1" x 4"</p>	<p>Madera preservada con sales CCA. Dimensiones 2" x 4" (CH≤18%). Clasificada con la regla industrial Clase "A" (CE7) o Clase "B" (CE5). Cubierta de tableros contrachapados fenolicos (12 mm ó 9 mm). Riostras de 1" x 4". Cumple para las siguientes Normas: NMX-C-178-ONNCCE-2014; NMX-C-224-ONNCCE-2001; NMX-C-239-ONNCCE-1985; NMX-C-322-ONNCCE-2014; NMX-C-307/1-ONNCCE-2009; NMX-C-410-ONNCCE-1999; NMX-C-411-ONNCCE-1999; NMX-C-419-ONNCCE-2014; NMX-C-438-ONNCCE-2014.</p>	<p>Universidad Autónoma Chapingo. Maestría en Ciencias, en Ciencias Forestales. OAFR (2016).</p>

...continúa. Dimensiones del Panel interno 12 y 13.



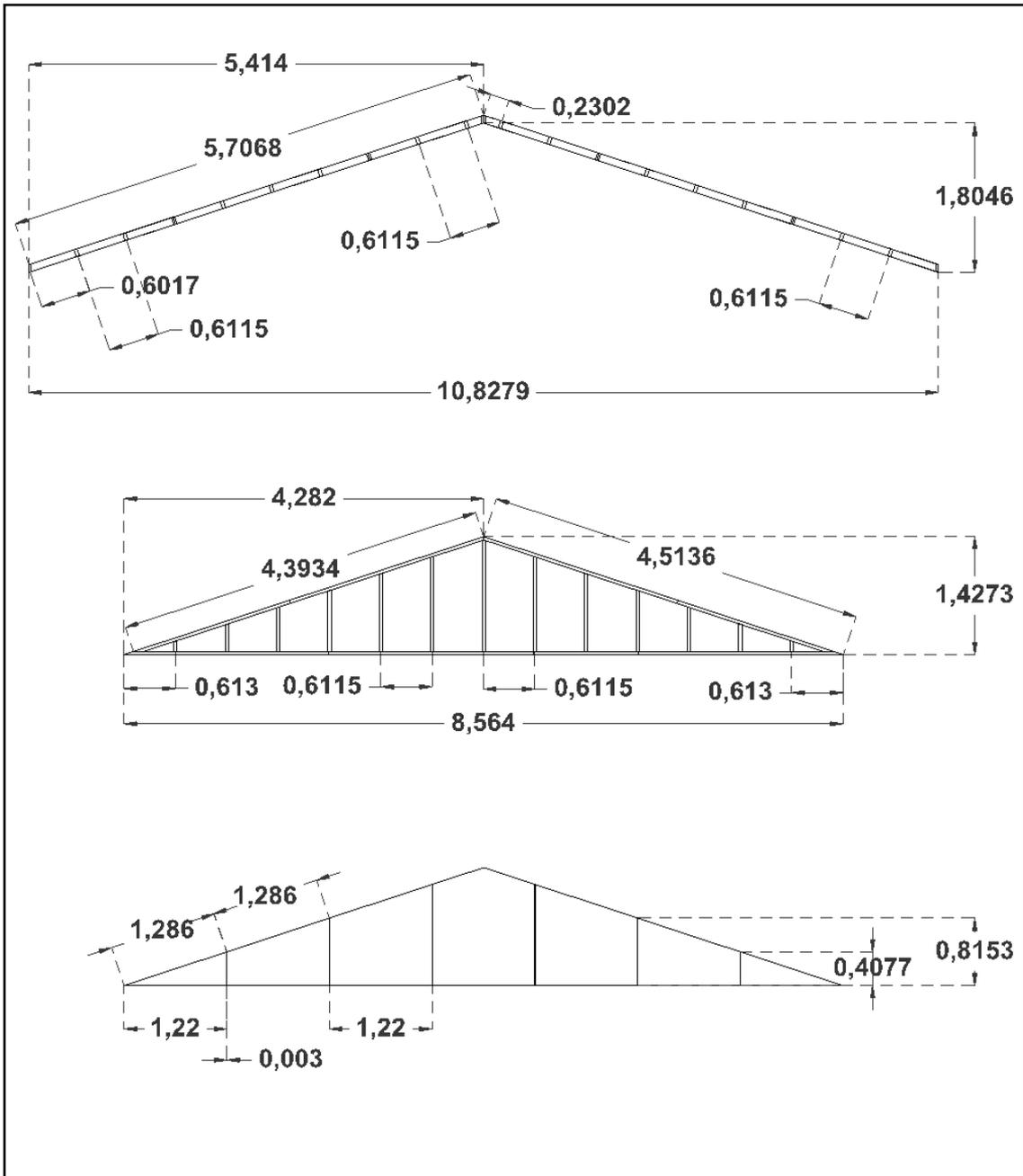
Tipo de obra	Tipo de sistema constructivo	Especificaciones	Proyecto
<p>Vivienda de madera. Cimentación: losa, zapatas y cadena de concreto.</p>	<p>Pies derechos de 2" x 4" y 1" x 4"</p>	<p>Madera preservada con sales CCA. Dimensiones 2" x 4" (CH≤18%). Clasificada con la regla industrial Clase "A" (CE7) o Clase "B" (CE5). Cubierta de tableros contrachapados fenolicos (12 mm ó 9 mm). Riostras de 1" x 4". Cumple para las siguientes Normas: NMX-C-178-ONNCCE-2014; NMX-C-224-ONNCCE-2001; NMX-C-239-ONNCCE-1985; NMX-C-322-ONNCCE-2014; NMX-C-307/1-ONNCCE-2009; NMX-C-410-ONNCCE-1999; NMX-C-411-ONNCCE-1999; NMX-C-419-ONNCCE-2014; NMX-C-438-ONNCCE-2014.</p>	<p>Universidad Autónoma Chapingo. Maestría en Ciencias, en Ciencias Forestales. OAFR (2016).</p>

...continúa. Dimensiones del Panel interno 13 a 18.



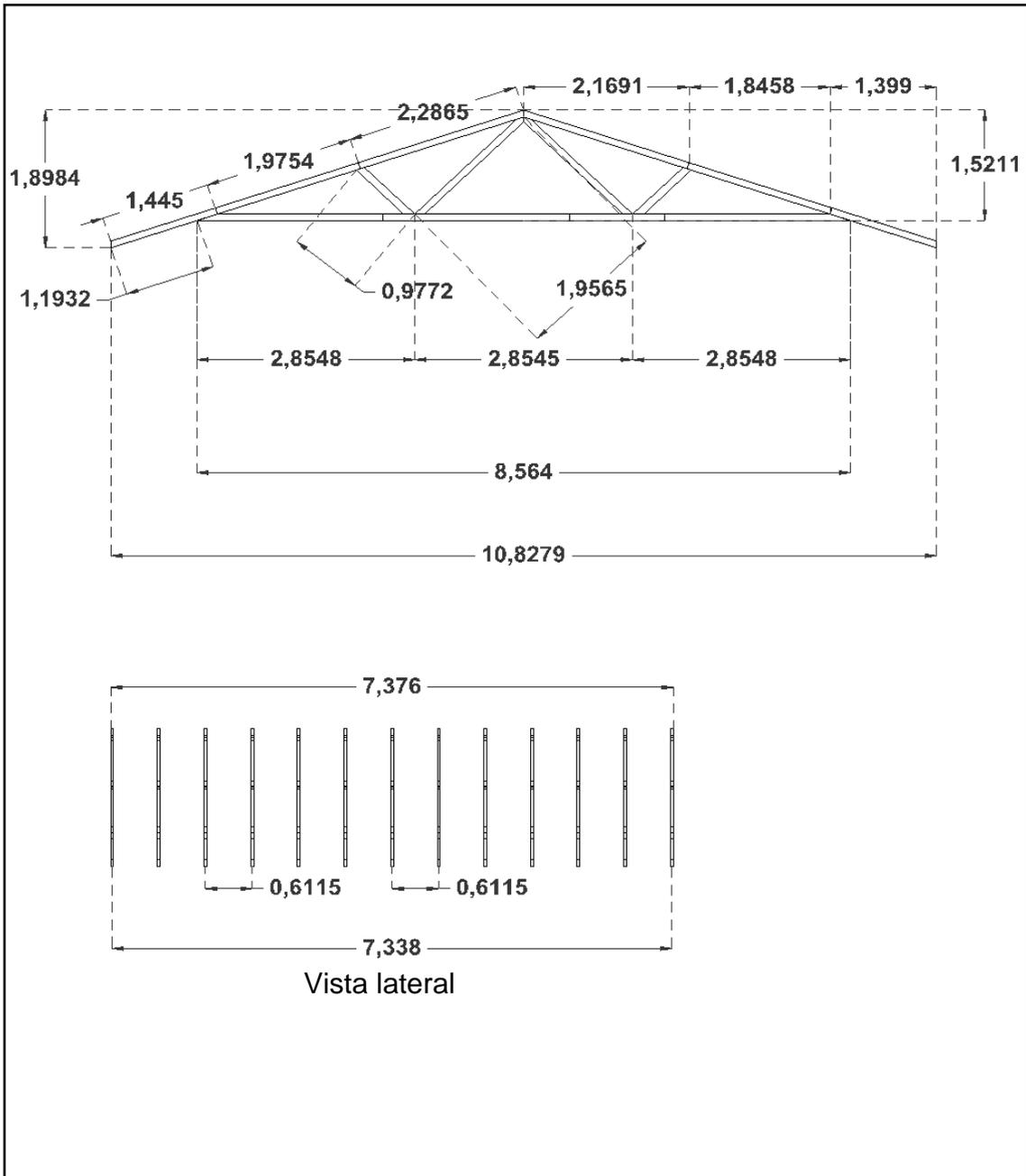
Tipo de obra	Tipo de sistema constructivo	Especificaciones	Proyecto
Vivienda de madera. Cimentación: losa, zapatas y cadena de concreto.	Pies derechos de 2" x 4"	Madera preservada con sales CCA. Dimensiones 2" x 4" (CH≤18%). Clasificada con la regla industrial Clase "A" (CE7) o Clase "B" (CE5). Cubierta de tableros contrachapados UF (12 mm ó 9 mm). Cumple para las siguientes Normas: NMX-C-178-ONNCCE-2014; NMX-C-224-ONNCCE-2001; NMX-C-239-ONNCCE-1985; NMX-C-322-ONNCCE-2014; NMX-C-307/1-ONNCCE-2009; NMX-C-410-ONNCCE-1999; NMX-C-411-ONNCCE-1999; NMX-C-419-ONNCCE-2014; NMX-C-438-ONNCCE-2014.	Universidad Autónoma Chapingo. Maestría en Ciencias, en Ciencias Forestales. OAFR (2016).

Anexo 11. Dimensiones del frontón superior o tímpano y alero.



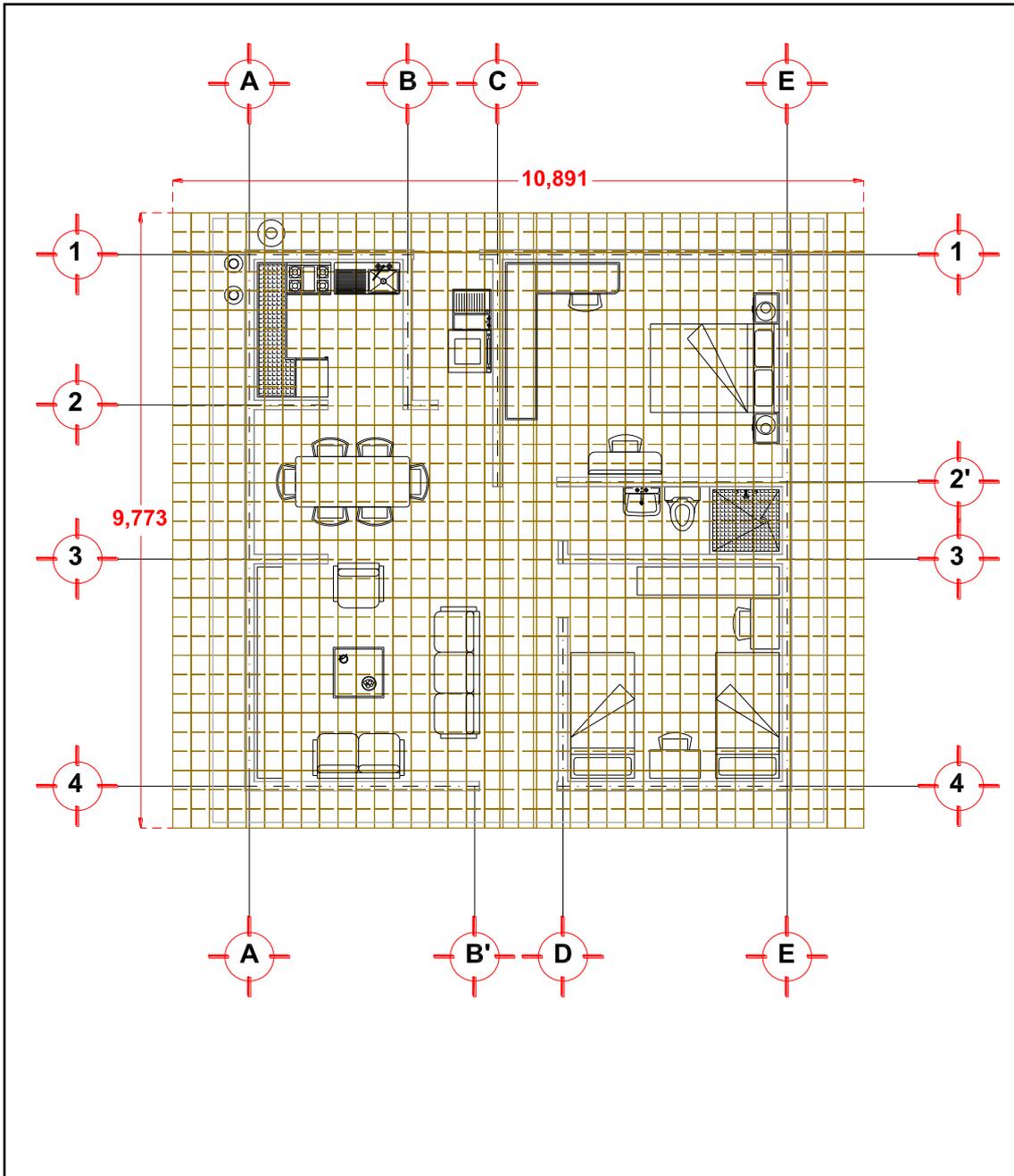
Tipo de obra	Tipo de sistema constructivo	Especificaciones	Proyecto
Vivienda de madera. Cimentación: losa, zapatas y cadena de concreto.	Pies derechos de 2" x 4" y 1 ¹ / ₄ " x 2"	Madera preservada con sales CCA. Dimensiones 2" x 4" y 1 ¹ / ₄ " x 2" (CH≤18%). Clasificada con la regla industrial Clase "A" (CE7) o Clase "B" (CE5). Cubierta de tableros contrachapados fenólicos de 12 mm. Cumple para las siguientes Normas: NMX-C-178-ONNCCE-2014; NMX-C-224-ONNCCE-2001; NMX-C-239-ONNCCE-1985; NMX-C-322-ONNCCE-2014; NMX-C-307/1-ONNCCE-2009; NMX-C-410-ONNCCE-1999; NMX-C-411-ONNCCE-1999; NMX-C-419-ONNCCE-2014; NMX-C-438-ONNCCE-2014.	Universidad Autónoma Chapingo. Maestría en Ciencias, en Ciencias Forestales. OAFR (2016).

Anexo 12. Armadura Fink.



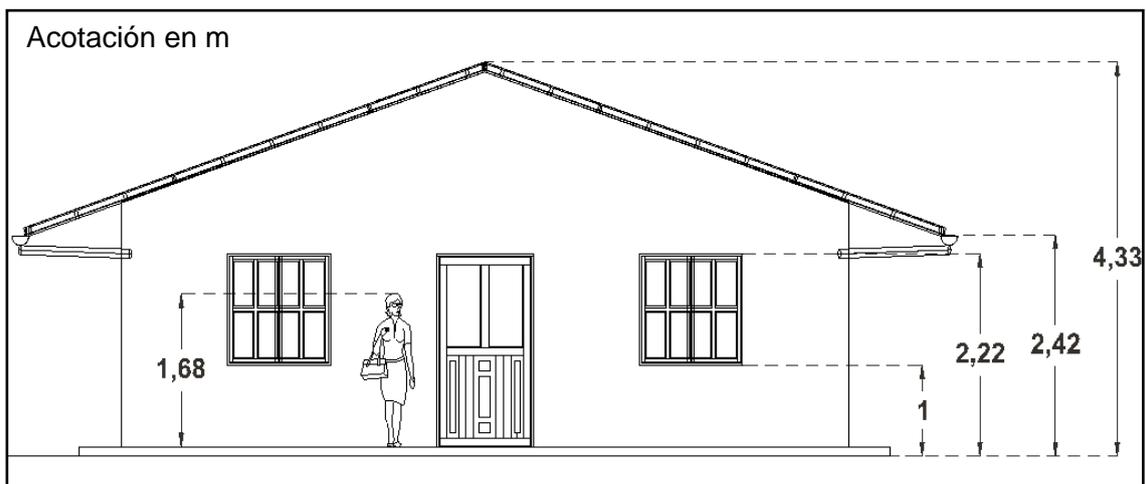
Tipo de obra	Tipo de sistema constructivo	Especificaciones	Proyecto
Vivienda de madera. Cimentación: losa, zapatas y cadena de concreto.	Pies derechos de 2" x 4" y riostras de 1" x 4"	Madera preservada con sales CCA. Dimensiones 2" x 4" (CH≤18%). Clasificada con la regla industrial Clase "A (CE7) o Clase "B" (CE5). Riostras de 1" x 4". Cubierta de tableros contrachapados fenolicos de 12 mm. Cumple para las siguientes Normas: NMX-C-178-ONNCCE-2014; NMX-C-224-ONNCCE-2001; NMX-C-239-ONNCCE-1985; NMX-C-322-ONNCCE-2014; NMX-C-307/1-ONNCCE-2009; NMX-C-410-ONNCCE-1999; NMX-C-411-ONNCCE-1999; NMX-C-419-ONNCCE-2014; NMX-C-438-ONNCCE-2014.	Universidad Autónoma Chapingo. Maestría en Ciencias, en Ciencias Forestales. OAFR (2016).

Anexo 13. Vista superior del techo y distribución de espacios.

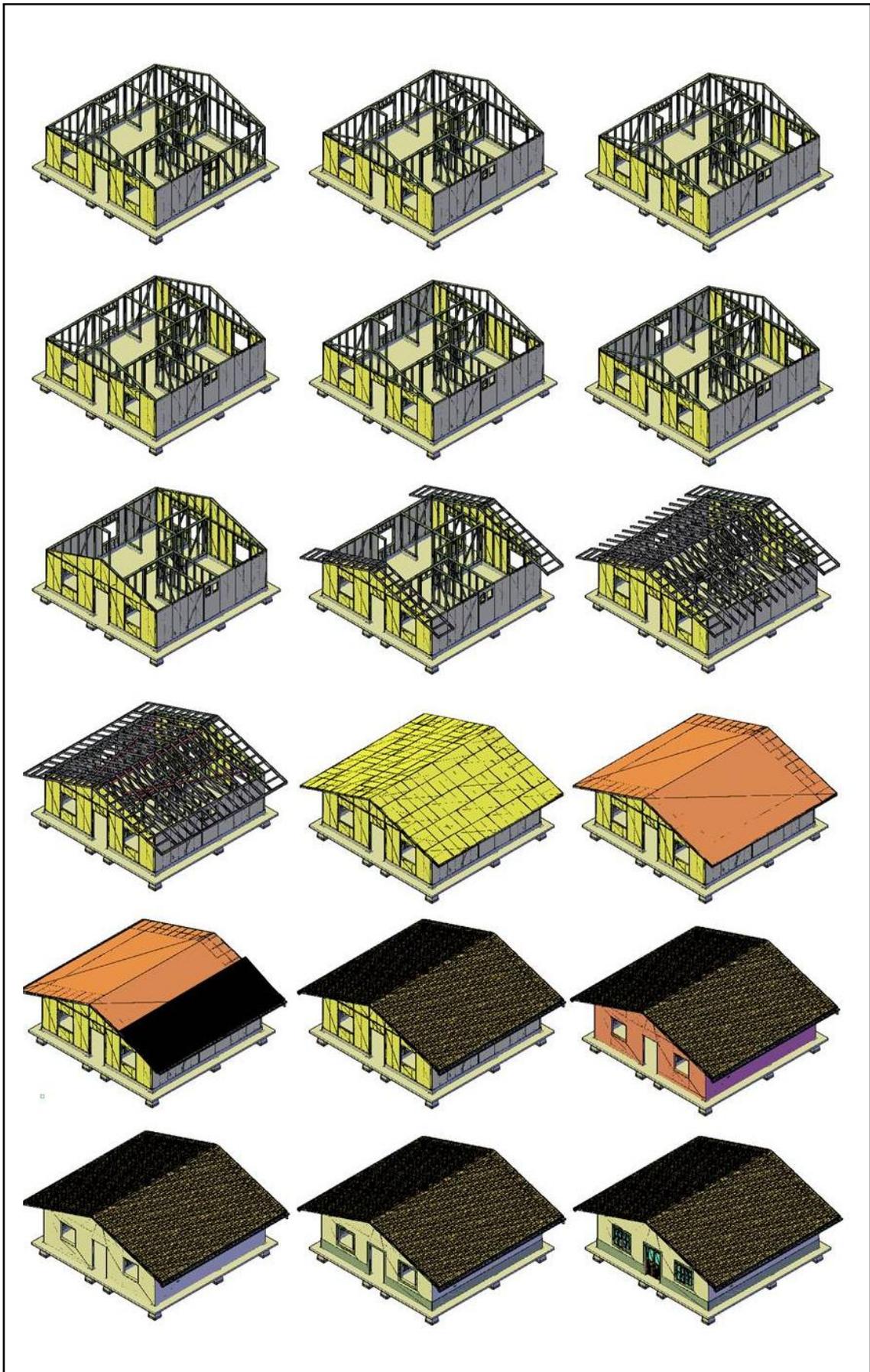


Tipo de obra	Tipo de sistema constructivo	Especificaciones	Proyecto
Vivienda de madera. Cimentación: losa, zapatas y cadena de concreto.	Pies derechos	Superficie de 106.43 m ² para realizar los cálculos de cargas muertas. Superficie total de cubrimientos de 112.0154 m ² . Techo a dos aguas. Pendiente de 33%. Capa de impermeabilizante (chapotote, pintura vinílica, entre otros). Filtro asfáltico con traslapes mínimos de 10 cm. Teja asfáltica de 305 mm x 914 mm con una exposición de 5" (12.7 cm) sujeta con clavos de 1". Gotero metálico en la periferia y canaleta de tubo de PVC de 4".	Universidad Autónoma Chapingo. Maestría en Ciencias, en Ciencias Forestales. OAFR (2016).

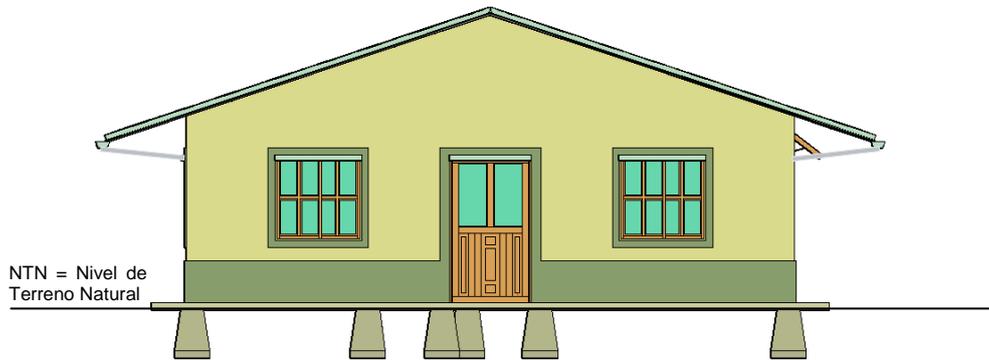
Anexo 14. Altura total de la vivienda.



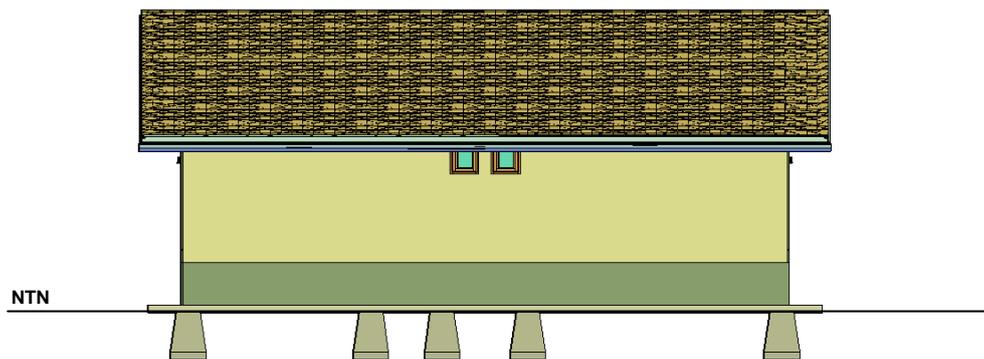
...continúa...



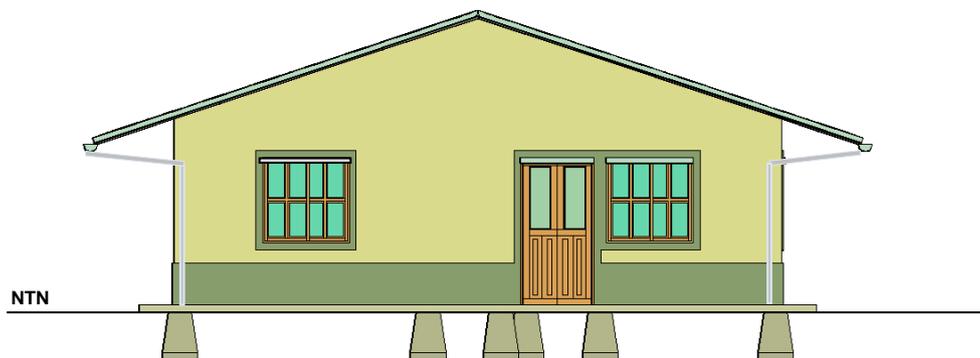
Anexo 16. Vivienda terminada indicando el NTN.



Vista frontal

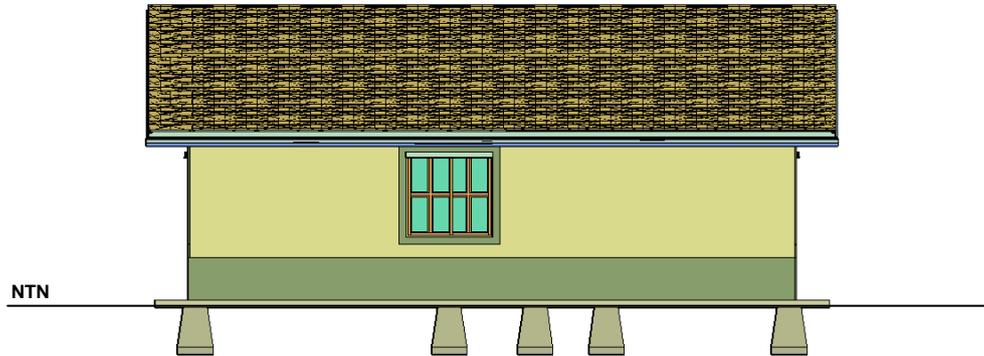


Vista lateral derecha



Vista trasera

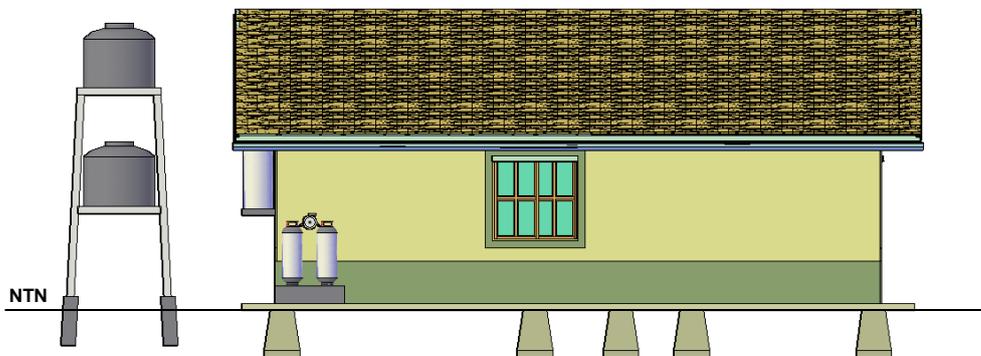
...continúa...



Vista lateral izquierda



Vista frontal con servicios



Vista lateral izquierda con servicios

...continúa...



Anexo 17. Total de materiales para construir la vivienda.

Cuadro 50. Materiales en la cimentación.

Concepto	Grueso (m)	Ancho (m)	Largo (m)	Área (m ²)	Volumen (m ³)	Cantidad	Vt (m ³)
Bc	0.1	0.5	0.5	0.25	0.025	12	0.3
Za	B _M (0.3)	B _m (0.5)	0.68	0.102	0.11	12	1.33
Rc	0.3	9.6	9.63	92.35	27.70	1 capa	27.70
Gr	0.15	9.6	9.63	92.35	13.85	1 capa	13.85
Ar	0.03	9.6	9.63	92.35	2.77	1 capa	2.77
Lc	0.1	9.6	9.63	92.35	9.23	1 capa	9.23
Cc	0.15	0.25	50.20	12.55	1.88	1	1.88
Total de materiales en la cimentación (volumen aparente)						29	57.06

Bc = Base de concreto
 Za = Zapatas
 B_M = Base mayor
 B_m = Base menor
 Rc = Relleno compacto
 Gr = Grava
 Ar = Arena
 Lc = Losa de concreto
 Cc = Cadena de concreto
 Vt = Volumen total

Cuadro 51. Anclas y pernos.

Concepto	Diámetro mm (pulg)	Longitud (cm)	Nº de piezas	Nº de rondanas	Nº de tuercas
Ag	10 mm (³ / ₈ ") ó 13 mm (¹ / ₂ ")	30 cm	18	18	18
Pg	13 mm (¹ / ₂ ")	30 cm	55	110	110
Total de materiales			73	128	128

Ag = Ancla galvanizada
 Pg = Perno galvanizado

Cuadro 52. Malla electrosoldada.

Concepto	Ø (mm)	Ac (m ²)	Pm	P/r
M _{EL}	4.11 ó	100 m ²	1 rollo de 2.5 m x 40 m	141 kg (Ø 4.11)
	4.88			197 kg (Ø 4.88)
M _{EF}	3.53 ó	100 m ²	1 rollo de 2.5 m x 40 m	141 kg (Ø 4.11)
	4.11			
Total de materiales			2 rollos de 2.5 m x 40 m	197 + 141 = 338 kg

M_{EL} = Malla electrosoldada en la losa

M_{EF} = Malla electrosoldada en la fachada

Ac = Área a cubrir, más traslapes

Pm = Presentación de la malla electrosoldada

P/r = Peso/rollo

Ø = Diámetro

Cuadro 53. Características de mortero y loseta.

Concepto	Grosor (cm)	Área a cubrir (m ²)	Volumen total a cubrir (m ³)
Mortero	2 a 2.5	92.50	2.3
Loseta		Opcional	

Cuadro 54. Varillas y anillos metálicos.

Concepto	Ø (pulg)	L/u (m)	Cpz/m	L (m)	Ct/c	TI (m)	Tp
Vz	$\frac{3}{8}$	0.93 m	4 var/z	3.72 m/z	12	44.64 m	(en var 6 m) 7.44
Az	$\frac{1}{4}$	0.60 m	4.65 anillos/z	2.79 m/z	12	33.48 m	(en rollo 10 m) 3.34
Vc	$\frac{5}{8}$	50.2 m	4 var/c	200 m t/c	1	200 m	(en var 6 m) 33.47
Ac	$\frac{1}{4}$	0.90 m	250 anillos/c	225 m t/c	1	225 m	(en rollo 10 m) 22.5
Ve	$\frac{3}{8}$	0.50	4 piezas/arista	2 m/arista	4	8 m	(en var 6 m) 1.33

Vz = Varillas en las zapatas
 Az = Anillos en las zapatas
 Vc = Varillas en la cadena
 Ac = Anillos en la cadena
 Ve = Varillas en las esquinas
 L = longitud
 L/u = Longitud/unidad
 Cpz/m = Cantidad de piezas/material
 Ct/c = Cantidad total/concepto
 TI = Total de longitud
 Tp = Tipo de presentación del material

Cuadro 55. Teja asfáltica.

Concepto	D (mm)	A/t (m ²)	At (m ²)	Nº tejas	Pt/p (kg)	Ptt	Nº paquetes
Teja asfáltica	305 x 914	0.28	112.01	814	31	971	32

D = Dimensiones
 A/t = Área/ teja
 At = Área del techo
 Pt/p = Peso de 26 tejas/paquete
 Ptt = Peso total de tejas

Cuadro 56. Fieltro asfáltico.

Concepto	Nº de piezas	Ác (m ²)	m ² /bobina	Pb (kg)	Cb	Pac (kg)
Facc	1 capa	7.52	40	28	0.188	5.3
Falc	1 capa	100	40	28	2.5	70
Fabc	12 bases	8.4	40	28	0.21	5.8
Faz	12 zapatas	13.056	40	28	0.32	9.13
Fav	1 capa	100	40	28	2.5	70
Fat	1 capa	123.1398	40	28	3.078	86.19
Total de materiales					9	246.47

Alto de la bobina = 90 cm. Espesor de 0.5 mm o 0.15 mm

Facc = Fieltro asfáltico en la cadena de cimentación

Falc = Fieltro asfáltico en la losa de cimentación

Fabc = Fieltro asfáltico base de concreto

Faz = Fieltro asfáltico en zapatas

Fav = Fieltro asfáltico en toda la vivienda sin vanos

Fat = Fieltro asfáltico en el techo

Ac = Área a cubrir

Pb = Peso de la bobina

Cb = Cantidad de bobinas

Pac = Peso del área a cubrir

Cuadro 57. Tableros de yeso.

Concepto	Vt (m ³) 12 mm	Vtt (m ³) 12 mm	Nº de tableros	P/t (kg)	Ptt (kg)
Tyrf	0.0357	0.65	19	20	380
Tyrh	0.0357	0.18	6	20	120
Total		0.84	25	20	500

Tyrf = Tablero de yeso resistente al fuego

Tyrh = Tableros de yeso resistente a la humedad

Vt = Volumen del tablero de yeso

Vtt = Volumen total de tableros de yeso

P/t = Peso/tablero

Ptt = Peso total de tableros

Cuadro 58. Tableros contrachapados 12 mm (UF y FF)

Concepto	Vtc (m ³) 12 mm	Vt t (m ³) 12 mm	Nº de tableros	Ff	Uf	P/t (kg)	Ptt (kg)
Ctc	0.0357	0.18	5	—	5	22	110
Tfst	0.0357	0.85	24	24	—	22	528
T2t	0.0357	0.14	4	4	—	22	88
Tst	0.0357	1.34	38	38	—	22	836
Ti	0.0357	1.96	55	—	48	22	1,056
Ts	0.0357	0.2501	7	7	—	22	154
Total		4.47	126	73	53	22	2772

Ctc = Cartela de tablero contrachapado
 Tfst = Tableros en la fachada sin tímpanos
 T2t = Tableros en los dos tímpanos
 Tst = Tableros en el techo
 Ti = Tableros internos
 Ts = Tableros en el sanitario
 Vtc = Volumen del tablero contrachapado
 Vtt = Volumen total de tableros contrachapados
 Ff = Fenol-formaldehído
 Uf = Urea-formaldehído
 P/t = Peso por tablero
 Ptt = Peso total de tableros

Cuadro 59. Puertas y ventanas.

Concepto	Volumen (m ³)	Peso (kg)	Peso (kg) al CH 18%
1 Pp	0.06	27	31.86
1 Pt	0.058	26.1	30.79
5 Vnc	0.2274	102.33	120.75
2 Vnr	0.0172	7.74	9.13
4 Ptm	0.27	121.5	143.3
Tm	0.0976	44	52
Total	0.73	328.67	387.83

Pp = Puerta principal
 Pt = Puerta trasera
 Vnc = Ventana corrediza
 Vnr = Ventana de resbalón
 Ptm = Puertas de tambor
 Tm = Total de molduras

Cuadro 60. Paneles externos.

Panel frontal 1			Panel frontal 2				
Nº de piezas	Nombre de la pieza	Dimensiones (mm)	0.17 m ³ (peso al 18%CH = 90.3 kg)	Nº de piezas	Nombre de la pieza	Dimensiones (mm)	0.14 m ³ (peso al 18%CH = 74.34 kg)
8	pie derecho	38x89x2326		8	pie derecho	38x89x2326	
3	separadores	32x89x305		6	separadores	32x89x305	
12	puntales superiores	38x89x404.5		7	puntales superiores	38x89x404.5	
5	puntales inferiores	38x89x546.5		5	puntales inferiores	38x89x546.5	
4	jambas	38x89x1832.5		2	jambas	38x89x1832.5	
2	dintel ventana	38x89x1302		2	dintel ventana	38x89x1302	
2	dintel puerta	38x89x1245		—	dintel puerta	—	
1	alfeizar	38x89x1226		1	alfeizar	38x89x1226	
1	solera superior	38x89x4933		1	solera superior	38x89x3631	
1	solera inferior	38x89x4933		1	solera inferior	38x89x3631	
—	riostra	—		—	riostra	—	
Panel lateral der. 1			Panel lateral der. 2				
Nº de piezas	Nombre de la pieza	Dimensiones (mm)	0.10 m ³ (peso al 18%CH = 53.1 kg)	Nº de piezas	Nombre de la pieza	Dimensiones (mm)	0.14 m ³ (peso al 18%CH = 74.3 kg)
8	pie derecho	38x89x2326		10	pie derecho	38x89x2326	
3	separadores	32x89x305		3	separadores	32x89x305	
—	puntales superiores	—		—	puntales superiores	—	
—	puntales inferiores	—		—	puntales inferiores	—	
—	jambas	—		3	jambas	38x89x582	
—	dintel ventana	—		4	dintel superior	38x89x539	
—	dintel puerta	—		4	dintel inferior	38x89x539	
—	alfeizar	—		—	alfeizar	—	
1	solera superior	38x89x3619		1	solera superior	38x89x4737	
1	solera inferior	38x89x3619		1	solera inferior	38x89x4737	
2	riostra	19x89x2819.25		2	riostra	19x89x2819.25	

...continúa...

Panel trasero 1				Panel trasero 2					
Nº de piezas	Nombre de la pieza	Dimensiones (mm)	0.13 m ³ (peso al 18%CH = 69 kg)	Nº de piezas	Nombre de la pieza	Dimensiones (mm)	0.20 m ³ (peso al 18%CH = 106.2 kg)		
7	pie derecho	38x89x2326		11	pie derecho	38x89x2326			
3	separadores	32x89x305		9	separadores	32x89x305			
7	puntales superiores	38x89x404.5		11	puntales superiores	38x89x404.5			
5	puntales inferiores	38x89x546.5		5	puntales inferiores	38x89x546.5			
—	jambas	—		4	jambas	38x89x1832.5			
4	dintel ventana	38x89x1302		2	dintel ventana	38x89x1302			
—	dintel puerta	—		2	dintel puerta	38x89x1115			
1	alfeizar	38x89x1226		1	alfeizar	38x89x1226			
1	solera superior	38x89x3631		1	solera superior	38x89x4933			
1	solera inferior	38x89x3631		1	solera inferior	38x89x4933			
—	riostra	—		—	riostra	—			
Panel lateral izq. 1				Panel lateral izq. 2					
Nº de piezas	Nombre de la pieza	Dimensiones (mm)		0.16 m ³ (peso al 18%CH = 85 kg)	Nº de piezas	Nombre de la pieza		Dimensiones (mm)	0.10 m ³ (peso al 18%CH = 53.1 kg)
9	pie derecho	38x89x2326	8		pie derecho	38x89x2326			
3	separadores	32x89x305	3		separadores	32x89x305			
7	puntales superiores	38x89x404.5	—		puntales superiores	—			
5	puntales inferiores	38x89x546.5	—		puntales inferiores	—			
2	jambas	38x89x1832.5	—		jambas	—			
2	dintel ventana	38x89x1302	—		dintel ventana	—			
—	dintel puerta	—	—		dintel puerta	—			
1	alfeizar	38x89x1226	—		alfeizar	—			
1	solera superior	38x89x4737	1		solera superior	38x89x3631			
1	solera inferior	38x89x4737	1		solera inferior	38x89x3631			
1	riostra	38x89x2819.25	2		riostra	38x89x2919.25			

Cuadro 61. Paneles internos.

Panel interno 1				Panel interno 2			
Nº de piezas	Nombre de la pieza	Dimensiones (mm)	0.11 m ³ (peso al 18%CH = 58.41 kg)	Nº de piezas	Nombre de la pieza	Dimensiones (mm)	0.09 m ³ (peso al 18%CH = 47.79 kg)
7	pie derecho	38x89x2326		7	pie derecho	38x89x2326	
—	separadores	—		—	separadores	—	
5	puntales superiores	38x89x404.5		—	puntales superiores	—	
—	puntales inferiores	—		—	puntales inferiores	—	
2	jambas	38x89x1832.5		—	jambas	—	
—	dintel ventana	—		—	dintel ventana	—	
1	dintel puerta	38x89x998		—	dintel puerta	—	
—	alfeizar	—		—	alfeizar	—	
1	solera superior	38x89x361		1	solera superior	38x89x3444	
1	solera inferior	38x89x361		1	solera inferior	38x89x3444	
1	riestra	38x89x2819.25		2	riestra	38x89x2819.25	
Panel interno 3				Panel interno 4			
Nº de piezas	Nombre de la pieza	Dimensiones (mm)	0.09 m ³ (peso al 18%CH = 47.79 kg)	Nº de piezas	Nombre de la pieza	Dimensiones (mm)	0.11 m ³ (peso al 18%CH = 58.41 kg)
7	pie derecho	38x89x2326		6	pie derecho	38x89x2326	
—	separadores	—		—	separadores	—	
—	puntales superiores	—		—	puntales superiores	—	
—	puntales inferiores	—		—	puntales inferiores	—	
—	jambas	—		—	jambas	—	
—	dintel ventana	—		—	dintel ventana	—	
—	dintel puerta	—		—	dintel puerta	—	
—	alfeizar	—		—	alfeizar	—	
1	solera superior	38x89x3444		1	solera superior	38x89x2388	
1	solera inferior	38x89x3444		1	solera inferior	38x89x2388	
2	riestra	38x89x2819.25		1	riestra	38x89x2819.25	

...continúa...

Panel interno 5				Panel interno 6			
Nº de piezas	Nombre de la pieza	Dimensiones (mm)	0.08 m ³ (peso al 18%CH = 42.48 kg)	Nº de piezas	Nombre de la pieza	Dimensiones (mm)	0.02 m ³ (peso al 18%CH = 10.62 kg)
2	pie derecho	38x89x2326		2	pie derecho	38x89x2326	
3	separadores	13x89x305		—	separadores	—	
—	puntales superiores	—		4	puntales superiores	38x89x405	
—	puntales inferiores	—		—	puntales inferiores	—	
—	jambas	—		2	jambas	38x89x1959	
—	dintel ventana	—		—	dintel ventana	—	
—	dintel puerta	—		1	dintel puerta	947	
—	alfeizar	—		—	alfeizar	—	
1	solera superior	38x89x3521		1	solera superior	38x89x1325	
1	solera inferior	38x89x3521		1	solera inferior	38x89x1325	
2	riostra	38x89x2819.25		—	riostra	—	
Panel interno 7				Panel interno 8			
Nº de piezas	Nombre de la pieza	Dimensiones (mm)	0.02 m ³ (peso al 18%CH = 10.62 kg)	Nº de piezas	Nombre de la pieza	Dimensiones (mm)	0.05 m ³ (peso al 18%CH = 26.55 kg)
2	pie derecho	38x89x2326		3	pie derecho	38x89x2326	
—	separadores	—		—	separadores	—	
3	puntales superiores	38x89x405		4	puntales superiores	38x89x405	
1	jambas	38x89x1959		2	jambas	38x89x1959	
1	dintel puerta	947		1	dintel puerta	998	
—	alfeizar	—		—	alfeizar	—	
1	solera superior	38x89x1033		1	solera superior	38x89x1055	
1	solera inferior	38x89x1033		1	solera inferior	38x89x1055	
Panel interno 9				Panel interno 10			
Nº de piezas	Nombre de la pieza	Dimensiones (mm)	0.04 m ³ (peso al 18%CH = 21.24 kg)	Nº de piezas	Nombre de la pieza	Dimensiones (mm)	0.05 m ³ (peso al 18%CH = 26.55 kg)
2	pies derecho	38x89x2326		2	pies derecho	38x89x2326	
2	solera superior	38x89x1182		2	solera superior	38x89x1182	
2	solera inferior	38x89x1182	2	solera inferior	38x89x1182		

Cuadro 62. Total del material en la obra.

Concepto	Volumen (m ³)	Peso	Cantidad (aprox.)
Estructura inferior (paneles y tímpanos)	1.8055	Peso de la madera con una Db = 450 kg/m ³ = 812.47 kg. Peso al CH18% = 958.7 kg	210 pies derechos de 38x89x2440 mm y 15 riostras de 19x89x2819.25 mm
Solera de cerramiento	0.2036	Peso de la madera con una Db = 450 kg/m ³ = 91.62 kg. Peso al CH18% = 108.11 kg	25 pies derechos de 38x89x2440 mm
Estructura superior (armaduras, riostras, entre otros)	1.8751	Peso de la madera con una Db = 450 kg/m ³ = 843.8 kg. Peso al CH18% = 995.68 kg	202 pies derechos de 38x89x2440 mm; 6 riostras de 19x89x7449.6 mm; 24 piezas de 24x89x2440 mm.
Puertas y ventanas	0.73	Peso de la madera con una Db = 450 kg/m ³ = 328.5 kg. Peso al CH18% = 387.63 kg	58 pies derechos de 38x89x2440 mm y 8 tableros de 6 mm.
Tableros contrachapados FF	2.3901	1606 kg	73
Tableros contrachapados UF	2.1099	1166 kg	53
Total de madera		5222.12 kg	9 m³ de madera aprox.
Tableros de yeso contra fuego	0.65	380 kg	19
Tableros de yeso resistentes a la humedad	0.18	120 kg	6
Total del bajo techo		500 kg	25
Cimentación: base, zapatas, losa y cadena de cimentación.	12.74	A una densidad de 3000 kg/m ³ . 38 t.	12 bases de concreto y 12 zapatas. 1 capa de losa y 1 cadena de cimentación
Materiales para la losa de cimentación (relleno compacto, grava, arena)	Rc = 27.70 Gr = 13.85 Ar = 2.77	A una densidad de 1500 kg/m ³ . Rc = 41 t. A una densidad de 960 kg/m ³ . Gr = 13 t. A una densidad de 960 kg/m ³ . Ar = 3 t.	1 capa por material
Mortero	2.3	A una densidad de 2000 kg/m ³ . 4 t.	
Total de cimentación			99 t
Malla electrosoldada (Losa y fachada)	—	338 kg	2 rollos de 2.5 m x 40 m
Filtro asfáltico	—	246.47 kg	9 bobinas de 28 kg
Teja asfáltica	—	971 kg	32 paquetes de 31 kg
Total de materiales			1555.47 kg
Peso total de los materiales por encima de la cimentación			11 toneladas

Donde: Rc = Relleno compacto; Gr = Grava; Ar = Arena

Anexo 18. Errores frecuentes en la construcción con madera. Fuente: Fuentes (2010).



Figura 101. Apoyo incorrecto de la viga y poste no preservado, riesgo a deflexión y pudrición.

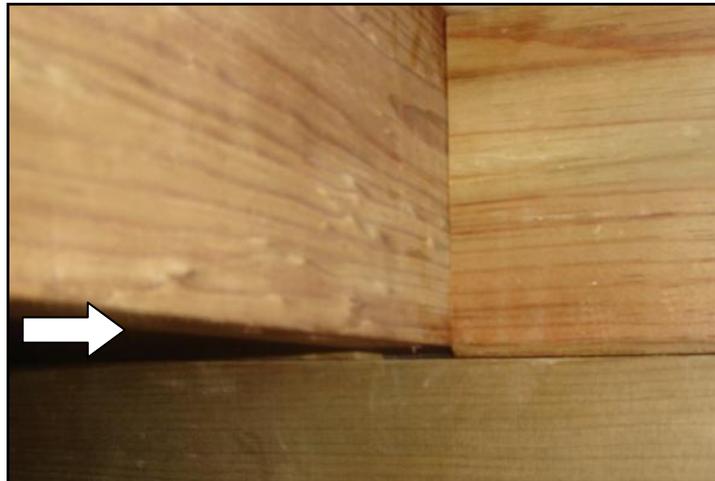


Figura 102. Apoyo incorrecto entre vigas; riesgo de cortante.

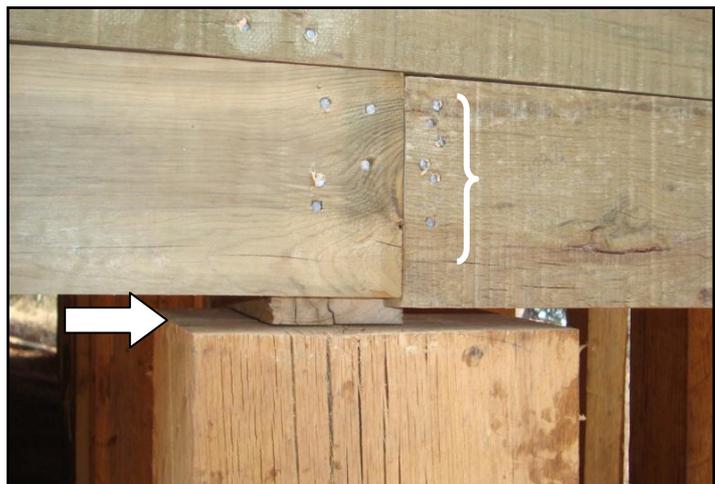


Figura 103. Incorrecto apoyo de la unión entre frisos y vigas; clavado excesivo; probable deflexión, cortante y rajado.

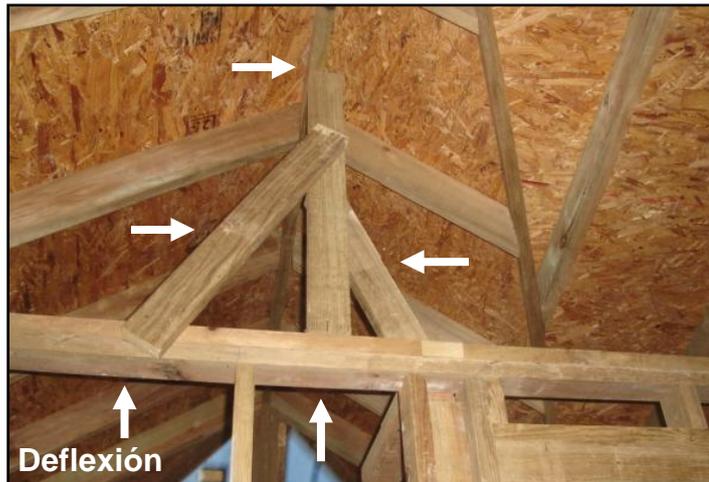


Figura 104. Diseño deficiente en la armadura, mala ubicación del pie derecho causante de la deflexión, mal arriostramiento.



Figura 105. Arriostramiento deficiente y presencia de deflexión.



Figura 106. Unión incorrecta entre la solera superior; deflexión y riesgo de separación de la pieza debido a la carga de compresión.



Figura 107. Mínima área de soporte de la viga en la rajadura del poste, posible cortante y falla en la esquina.



Figura 108. Unión incorrecta entre el pie derecho y el cortafuego con clavo lancero.

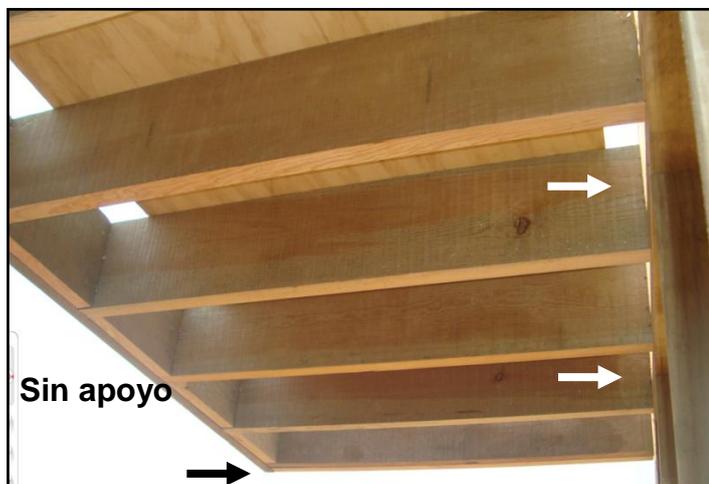


Figura 109. Incorrecta unión y clavado de las viguetas sin soporte en ambos lados; riesgo al colapso de la estructura.



Figura 110. Clavado incorrecto, posible levantamiento del tablero.

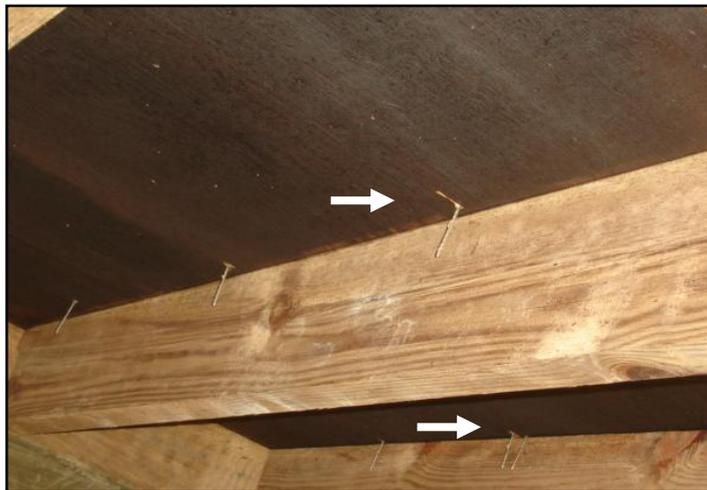


Figura 111. Clavado incorrecto, posible levantamiento ante la presencia de humedad o tránsito de personas.



Figura 112. Pie derecho mal clasificado, e incorrecta decisión para colocar clavo lancero; posible debilitamiento y falla por compresión.



Figura 113. Deficiente excavación para la ubicación de los postes; variación en la ortogonalidad y paralelismo de la cimentación.



Figura 114. Madera no preservada en contacto con el suelo; alto riesgo al ataque de termitas y posible colapso de la estructura.



Figura 115. Deficiente nivelación del sitio de terreno y carencia de drenes perimetrales; riesgo de proliferación de hongos en madera no preservada.