UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

Sistema constructivo con paneles de madera CLT y secciones laminadas

Trabajo de megaproyecto presentado por Javier Mauricio Hernández Lara, Julio Alberto Guevara Morán, Carlos Gerardo Juárez Díaz y Andrés Noguera Schiele para optar al grado académico de Licenciados en Ingeniería Civil

Guatemala
2015

Sistema constructivo con paneles de madera CLT y secciones laminadas

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

Sistema constructivo con paneles de madera CLT y secciones laminadas

Trabajo de megaproyecto presentado por Javier Mauricio Hernández Lara, Julio Alberto Guevara Morán, Carlos Gerardo Juárez Díaz y Andrés Noguera Schiele para optar al grado académico de Licenciados en Ingeniería Civil

Guatemala
2015

Vo. Bo. :

(f) _____ (f) _____

Arq. Juan Pablo Blas Arias Ing. Roberto Godo Levensen

Directores de los estudiantes que trabajaron el Megaproyecto:

(f) _____

Arq. Juan Pablo Blas Arias

(f) _____

Ing. David Herrera Monterroso

(f) _____

Ing. Roberto Godo Levensen

Fecha de aprobación: Guatemala 24 de noviembre de 2015

PREFACIO

La motivación para elaborar este trabajo de investigación nace del deseo en innovar los sistemas constructivos de Guatemala. La madera es un material bondadoso, es un recurso renovable y amigable con el medio ambiente. El presente trabajo provee una solución económicamente viable, que se adapta a las necesidades habitacionales del país. Para nosotros la innovación era un tema importante ya que los sistemas constructivos tradicionales en madera no son del todo aceptados en nuestra sociedad. Por esta razón, se buscaron dos métodos alternativos que se pudieran adaptar a las prácticas constructivas del país. Los sistemas escogidos fueron los paneles de madera solida *Cross Laminated Timber* (CLT) y los paneles de madera laminada.

En primera instancia damos gracias a Dios por permitirnos llegar hasta este punto en nuestra carrera profesional. Agradecemos al ingeniero Roberto Godo por su apoyo durante toda la carrera y el interés mostrado en este trabajo. También a todos los miembros del departamento de Ingeniería Civil por su apoyo a lo largo de estos años. Finalmente queremos agradecer a nuestra familia y amigos que han estado a nuestro lado y nos han ayudado a llegar a la meta de nuestra graduación.

ÍNDICE

Página

PREFACIO v

LISTA DE TABLAS ix

LISTA DE FIGURAS x

RESUMEN xvi

I. INTRODUCCIÓN 1

II. OBJETIVOS 3

III. MARCO TEÓRICO 5

A. Diseño estructural 5
1. Conceptos y parámetros del diseño en madera 5
2. Diseño lateral 13
3. Diseño de conexiones. 22
4. Análisis numérico de las conexiones. 42
5. Duración de la carga y deformaciones. 48
6. Vibración. 49
7. Cimentación. 52

B. Diseño de instalaciones 67
1. Instalación de energía 67
2. Energía solar y energía a 12V 81
3. Instalaciones eléctricas en casa de madera CLT y secciones laminadas. 102
4. Instalaciones hidráulicas plomería 102
5. Instalaciones hidráulicas drenajes 110
6. Aislamiento térmico, de humedad e intemperie 132
7. Otras Instalaciones 134

C. Proceso constructivo 134
1. Materiales, maquinaria y equipo. 134
2. Transporte de materiales necesarios de planta a obra. 138
3. Preparación de superficie. 139
4. Huella de carbono. 140

D. Innovación, proceso de mercadeo. 143
1. Importancia. 143
2. CLT y paneles de secciones laminadas. 143
3. Potencial de Guatemala. 144

IV. MARCO PRÁCTICO 145

A. Diseño estructural 145
1. Arquitectura de la casa a diseñar. 145

2. Integración de cargas. 147
3. Diseño de las paredes 147
4. Diseño de losa de entrepiso 152
5. Diseño de techo 154
6. Diseño de conexiones 156
7. Diseño sismo resistente. 175
8. Cimentación. 176

B. Diseño de las instalaciones 181
1. Planos de iluminación 181
2. Inversión total de instalaciones. 188
3. Fosa séptica 189

C. Proceso constructivo 193
1. Mano de obra. 193
2. Costo de transporte. 195
3. Preparación de superficie. 195
4. Estructura. 196
5. Procedimiento requerido. 197
6. Análisis financiero general. 197
7. Comparación de precio de construcción con otros métodos (obra gris). 198
8. Tiempo requerido para realizar la obra. 199
9. Emisión de huella de carbono en la construcción. 201
10. Producto final. 201

V. DISCUSIÓN 203

VI. CONCLUSIONES 206

VII. RECOMENDACIONES 208

VIII. BIBLIOGRAFÍA 211

IX. APÉNDICE 214

A. Diseño estructural en CLT 214
1. Hojas de cálculo en Excel 214
2. Diseño estructural en hojas de cálculo de Mathcad Prime 3.0 218

B. Diseño estructural en secciones laminadas 260
1. Integración de cargas 260
2. Diseño sísmico 261
3. Diseño de muros 263
4. Diseño de paneles de entrepiso 269
5. Diseño de paneles de techo 272
6. Conexión pared a pared 276
7. Conexiones entrepiso y techo a pared externa e interna 279
8. Conexión de placa T a cimiento 281
9. Conexión de placa T a entrepiso 283

10. Diseño de viga dintel 285
11. Diseño de cimentación. 288

C. Diseño de instalaciones 298
1. Cálculo de sistema solar fotovoltaico 298
2. Cálculo de sistema de agua potable 299
3. Cálculo de sistema de drenajes de aguas negras y pluviales 301

D. Costos. 302
1. Cimentación 302
2. Fosa séptica de mampostería. 305
3. Instalaciones. 309
4. Mano de obra total. 311
5. Costo de transporte. 311
6. Preparación del terreno. 312
7. Armado de la estructura. 312

LISTA DE TABLAS

Página

Tabla 1. Factores de ajuste para madera laminada. 5
Tabla 2. Factor de humedad para la madera 6
Tabla 3. Factor de temperatura para la madera 6
Tabla 4. Factores de resistencia para diseño LRFD 7
Tabla 5. Factores de duración de carga para diseño ASD 8
Tabla 6. Factores de efecto del tiempo (λ) 8
Tabla 7. Distancias mínimas para colocación de conectores 45
Tabla 8. Factores de duración de carga para diseño ASD 49
Tabla 9. Comparación entre pilotes. 61
Tabla 10. American wire gage 74
Tabla 11. Evaluación eléctrica según tipo de construcción 78
Tabla 12. Simbología de fuerza e iluminación 79
Tabla 13. Eficiencia de celdas 82
Tabla 14. Factores de energía solar 83
Tabla 15. Unidades utilizadas en energía solar 84
Tabla 16. Tamaños de cables 93
Tabla 17. Ejemplo de estimación de cargas 96
Tabla 18. Capacidades de distintos cables 99
Tabla 19. Factores de duración de carga para diseño ASD 147
Tabla 20. Valores de diseño para la madera de pino radiata 147
Tabla 21. Resultados de cálculo para muro 1 en dirección (y) del primer nivel 152
Tabla 22. Resultados de cálculo para muro T en dirección (x) del segundo nivel. 152
Tabla 23. Capacidades mínimas del tanque séptico para casas residenciales. 189
Tabla 24. Bombeo recomendado para fosas sépticas según número de personas. 192
Tabla 25. Factores de capacidad de carga modificados de Terzaghi. 291
Tabla 26. Carga de puntos en losa de cimentación 293
Tabla 27. q crítico en cada punto 295

LISTA DE FIGURAS

Página

Ejemplo de paneles de CLT en diferentes configuraciones 2
Ejemplo de una viga de madera laminada 2
Figura 1. Modo de fala III 13
Figura 2. Modo de falla IV 13
Figura 3. Diferentes tipos de conexión en un sistema fabricado con paneles CLT 14
Figura 4. Ilustración para cálculo de resistencia lateral de un panel CLT 16
Figura 5. Ménsulas metálicas utilizadas para conectar pared a cimientos 17
Figura 7. Configuración utilizada por FPInnovations para el estudio de paredes CLT ante carga lateral 18
Figura 6. Clavos, tornillos y remaches utilizados para unir piezas 18
Figura 8. Curva de histéresis para la pared Tipo 3 19
Figura 9. Detalle de una unión de medio traslape entre paneles 20
Figura 10. Curva de histéresis para la pared Tipo 11 unida con tornillos tipo WT-T a lo largo de la unión de medio traslape entre paneles 21
Figura 11. Curva de histéresis para la pared Tipo 12 unida con tornillos tipo SFS2 a lo largo de la unión de medio traslape entre paneles 21
Figura 12. Métodos de falla en la conexión pared-cimiento con clavos con anillos espirales (izquierda) y anillos circulares (derecha) 22
Figura 13. Tornillos sin encaminamiento o auto-roscantes 23
Figura 14. Pernos (izquierda) y tarugos (derecha) utilizados en la construcción con madera. 24
Figura 15. Conexiones típicas en una construcción con paneles de CLT 24
Figura 16. Detalle de conexión de ranura interna 25
Figura 17. Conexión de ranura interna con doble ranura 25
Figura 18. Detalle de conexión de ranura de superficie simple 26
Figura 19. Detalle de conexión de ranura de superficie doble 27
Figura 20. Conexión de ranura de superficie simple en obra 27
Figura 21. Detalle de conexión de medio traslape 28
Figura 22. Conexión de medio traslape en obra 28
Figura 23. Conexión entre paredes con tornillo auto-roscante sin ángulo. Esta conexión no es recomendada para grandes fuerzas laterales 29

Figura 24. Conexión entre paredes con tornillo auto-roscante con ángulo. Al darle ángulo al tornillo se crea una conexión más resistente y apta para cargas laterales. 29
Figura 25. Conexiones con perfil de madera oculto y tornillos 30
Figura 26. Conexión con ménsula metálica y tornillos 31
Figura 27. Conexión con ménsula metálica oculta y pernos o tarugos auto-perforadores 31
Figura 28. Conexión pared a piso con tornillos auto-roscantes 32
Figura 29. Ménsula instalada conectando pared con piso. 32
Figura 30. Conexión pared a piso con doble ménsula metálica. 33
Figura 31. Conexión pared a piso con ménsula metálica en un solo nivel. 33
Figura 32. Conexión pared a piso con ménsula metálica oculta y pernos o tarugos. 34
Figura 33. Conexión techo a pared con tornillos sin ángulo. 35
Figura 34. Conexión techo a pared con tornillos angulados. 35
Figura 35. Conexión techo a pared con ménsula metálica y tornillos 36
Figura 36. Conexión pared a cimiento con placa metálica. 37
Figura 37. Conexión pared a cimiento con placa metálica en obra 37
Figura 38. Conexión pared a cimiento con ménsula metálica interna 38
Figura 39. Conexión pared a cimiento con ménsula metálica interna instaladas en obra. 38
Figura 40. Conexión pared a cimiento con perfil metálico oculto. 39
Figura 41. Conexión pared a cimiento con perfil metálico oculto en obra. 39
Figura 42. Conexión pared a cimiento con perfil de madera y ménsula metálica. 40
Figura 43. Conexión entre paneles de CLT y una viga tipo *joist.* 41
Figura 44. Conexión entre paneles de CLT y una viga tipo *joist.* 41
Figura 45. Falla dúctil en tornillos auto roscantes en una conexión de medio traslape 42
Figura 46. Colocación de los conectores en el lado delgado del panel 45
Figura 47. Tornillo HBS 47
Figura 48. Tornillo VGZ 47
Figura 49. Tornillo TBS 48
Figura 50. Uso de pilotes. 54
Figura 51. Fricción generada entre pilotes y el suelo. 54
Figura 52. Pilotes con cargas laterales y verticales. 55
Figura 53. Pilotes en suelos expandibles o colapsables. 55
Figura 54. Pilotes para fuerzas de levantamiento. 55
Figura 55. Pilotes para zonas de erosión del suelo. 56

Figura 56. Tipos de empalme en pilotes de acero. 56
Figura 57. Puntas de hincado de pilotes de acero. 57
Figura 58. Pilotes prefabricados. 58
Figura 59. Pilotes colados *in situ*. 59
Figura 60. Empalmes en pilotes de madera. 60
Figura 61. Comparación de pilotes de punta y fricción. 62
Figura 62. (a) Martillo de caída libre y (b) martillo de aire o vapor de acción simple. 64
Figura 63. (c) Martillo de aire o vapor de acción doble y diferencial, (d) Martillo diésel y (e) clavador vibratorio de pilotes. 64
Figura 64. Losa de cimentación placa plana. 65
Figura 65. Losa de cimentación placa plana con espesor variable. 66
Figura 66. Losa de cimentación de vigas y losa. 66
Figura 67. Losa de cimentación con muros de sótano. 66
Figura 68. Consumo mundial de energía 67
Figura 69. Acometida eléctrica 68
Figura 70. Tipos de acometidas 69
Figura 71. Acometida subterranea 70
Figura 72. Alimentacion para edificios 70
Figura 73. Acometidas mixtas 71
Figura 74. Cajas de conexión para instalaciones eléctricas 76
Figura 75. Tableros y flipones para protección eléctrica 77
Figura 76. Esquema de efecto fotovoltaico 81
Figura 77. Ángulos de radiación solar 85
Figura 78. Piranómetro 86
Figura 79. Medidor fotovoltaico 86
Figura 80. Sistema fotovoltaico domiciliario 87
Figura 81. Panel solar 88
Figura 82. Regulador de carga 89
Figura 83. Bateria de ciclo profundo 90
Figura 84. Inversor de carga 91
Figura 85. Esquema de energía solar 91
Figura 86. Adaptadores o convertidores solares 92
Figura 87. Estructuras para paneles solares 94

Figura 88. Pasos para el diseño de sistemas solares 95
Figura 89. Cableado de sistemas solares 98
Figura 90. Conexión del panel solar 100
Figura 91. Soporte para paneles solares 101
Figura 92. Conexión al regulador de carga 101
Figura 93. Tubería y accesorios galvanizados 103
Figura 94. Accesorios PVC para agua potable 104
Figura 95. Tubería PVC 104
Figura 96. Esquema de instalacion de agua potable 105
Figura 98. Contador de agua potable 106
Figura 99. Esquema de agua potable en baño 107
Figura 100. Agua caliente desde calentado solar 108
Figura 101. Problemas y soluciones de aguas pluviales 110
Figura 102. Tuberías para alcantarillas y drenajes 112
Figura 103. Colectores de drenajes 113
Figura 104. Sumideros y rejillas 114
Figura 105. Bajadas de agua pluvial 114
Figura 107. Pozo de absorción 116
Figura 108. Drenajes en un baño 118
Figura 109. Respiradero de sanitario 118
Figura 110. Accesorios para drenajes sanitarios 119
Figura 111. Sifón en inodoro 119
Figura 112. Respiración para drenajes en viviendas 120
Figura 113. Inodoro en drenajes 121
Figura 114. Bidet en drenajes 121
Figura 115. Tina en drenaje 122
Figura 116. Ducha, accesorios de plomería 122
Figura 117. Lavatorio de baño 123
Figura 118. Lavadero para vivienda 123
Figura 119. Trampa de grasa 125
Figura 120. Sistema completo de fosa. 127
Figura 121. Biodigestores 129
Figura 122. Esquema de biodigestor biológico 130

Figura 123. Biodigestor aeróbico 131
Figura 124. Biodigestor anaeróbico 132
Figura 125. Esquema de aislamiento en viviendas de madera 133
Figura 126. Madera laminada. 136
Figura 127. Retroexcavadora 136
Figura 128. Bailarina o vibroapisonador. 137
Figura 129. Rodo de compactación. 137
Figura 130. Mezcladora de concreto. 138
Figura 131. Vibrador de concreto. 138
Figura 132. Camión de Volteo. 139
Figura 133. Tipo de emisiones de CO2. 141
Figura 134. Emisión de huella de carbono en fabricación de materiales. 142
Figura 135. Planta baja de la vivienda 146
Figura 136. Planta alta de la vivienda 146
Figura 137. Sección de conexión entre dintel y panel de pared 149
Figura 138. Sección de conexión entre dintel y panel de pared 149
Figura 139. Detalle de conexión entre dintel y panel de pared 150
Figura 140. Sección estándar panel de pared 150
Figura 141. Sección estándar panel de pared exterior del segundo nivel 151
Figura 142. Sección estándar panel de pared esquinera 151
Figura 143. Distribución de paneles de entrepiso 154
Figura 144. Distribución de paneles de techo 156
Figura 145. Detalle en planta de conexión entre paredes para el nivel 1 158
Figura 146. Detalle en elevación de conexión entre paredes para el nivel 1 159
Figura 147. Detalle en planta de conexión entre paredes para el nivel 2 160
Figura 148 .Detalle en elevación de conexión entre paredes para el nivel 2 160
Figura 149. Detalle de conexión entre paneles de losa de entrepiso y techo 161
Figura 150. Conexión panel a panel con tornillo 162
Figura 151. Detalle en planta de conexión entre paneles de pared en esquinas para nivel 1 163
Figura 152. Detalle en elevación de conexión entre paneles de pared en esquinas para nivel 1 164
Figura 153. Detalle en planta de conexión entre paneles de pared en esquinas para nivel 2 165
Figura 154. Detalle en elevación de conexión entre paneles de pared en esquinas para nivel 2 165
Figura 155. Sección de conexión entre paneles de losa y paredes nivel 1 167

Figura 156. Sección de conexión entre paneles de losa y paredes nivel 1 168
Figura 157. Conexión Entrepiso a Pared Externa 169
Figura 158. Conexión entrepiso a pared interna 170
Figura 159. Sección de conexión entre paneles de techo y paredes nivel 2 171
Figura 160. Conexión techo a pared interna 172
Figura 161. Sección de conexión entre paneles de pared y cimentaciones 173
Figura 162. Conexión placa a cimiento 174
Figura 163. Conexión placa a entrepiso 175
Figura 164. Plano de distribución de pilotes. 178
Figura 165. Diafragmas de losa de cimentación y puntos críticos de carga. 179
Figura 166. Plano de iluminación planta baja 181
Figura 167. Plano de iluminación planta alta 182
Figura 168. Plano de fuerza planta baja 183
Figura 169. Plano de fuerza planta alta 184
Figura 170. Plano de plomería planta baja 185
Figura 171. Plano de plomería planta alta 186
Figura 172. Plano de drenaje planta baja 187
Figura 173. Plano de drenaje planta alta 188
Figura 174. Sección de la fosa séptica de mampostería. 191

RESUMEN

La madera es un recurso que ha sido de suma utilidad para el ser humano a lo largo de la historia. Con ella se fabricaron las primeras herramientas, las primeras armas y las primeras viviendas. Como material constructivo fue de los primeros utilizados por el hombre para luego ir siendo reemplazado poco a poco por otros materiales como la piedra, el adobe y posteriormente el concreto y el acero. En la actualidad es un material que está por debajo del concreto y del acero como material de construcción, a pesar de tener características físicas y mecánicas favorables que la hacen un buen material para esta actividad. En nuestro país es de los materiales menos utilizados.

Guatemala cuenta con un terreno favorable para desarrollar una industria forestal importante, sin embargo no se aprovecha este potencial. Las personas tienen prejuicios sobre la madera y prefieren el sistema tradicional de block y concreto para la construcción. Desde hace ya varios años, se ha estado innovando e investigando nuevas maneras de utilizar la madera para hacer construcciones más resistentes y eficientes. Un producto que surgió en esta búsqueda fue el CLT o *Cross Laminated Timber*. Este nuevo método se basa en la fabricación de paneles de madera contra laminada para crear sistemas de paredes y losas macizas de madera capaces de soportar grandes cargas. Debido a estar basado en paneles, es un sistema sumamente flexible en cuanto a las configuraciones, dimensiones y formas de la estructura que se quiera realizar. Actualmente es un producto que se utiliza ampliamente en Europa, Estados Unidos y Canadá para construir edificios de pequeña o mediana altura.

Debido a que es un material ya conocido en otros países existen diversos estudios y teoría acerca de su funcionamiento, sus ventajas y limitantes y lo más importante, su diseño estructural. Para Canadá y Estados Unidos existe un manual con la información importante para la fabricación, diseño, protección y características del material llamado *CLT Handbook*. En base a la información de este manual, códigos y otros estudios llevados a cabo, se recopiló la información necesaria para llevar a cabo el diseño estructural de una vivienda utilizando este método constructivo. La investigación sobre nuevos materiales y métodos de construcción puede dar lugar a nuevas alternativas en nuestro país y al desarrollo de otras industrias como la de la madera.

En este trabajo se busca implementar este material como una alternativa constructiva. En este caso se implementó el sistema de paneles para una casa unifamiliar de dos niveles. El objetivo fue realizar un diseño condicionado a paneles pequeños que fueran manejables para una o dos personas. Esto con el objetivo de

crear un sistema de construcción rápido, barato y seguro. Se trató de economizar el proceso de construcción por medio de la optimización en el tiempo de armado en obra sin utilizar maquinaria pesada para manejar los paneles. Por esta razón es que existió la condición de fabricar la vivienda con paneles de dimensiones relativamente pequeñas.

Dicho diseño se logró realizar utilizando paneles de CLT de un ancho de 60 cm, espesor de 9 o 10 cm y longitudes variables. Con estas dimensiones se logró mantener un peso manejable para los paneles. La consecuencia de mantener este bajo peso fue el de tener más conexiones y la utilización de más pernos y tornillos para realizarlas. Por lo tanto, para lograr una construcción rápida y efectiva es necesario prestarle mucha atención a las conexiones entre elementos. Una buena alternativa podría ser la de realizar una propuesta para una estructura multifamiliar para poder aprovechar al máximo la gran capacidad de estos paneles. Por medio de la investigación, se encontró que este sistema puede ser más eficiente en construcciones más grandes, es decir edificios de baja y mediana altura. Por lo que al realizar un diseño con elementos más pesados y con dimensiones más grandes, se podría ahorrar tiempo y dinero en las conexiones y utilizarlo para contratar equipo pesado para movilizar los paneles en obra.

El otro sistema desarrollado en este trabajo es el de madera laminada. Es importante destacar si existen diferencias con el sistema del CLT (*Cross Laminated Timber*) que consiste en paneles de madera laminada en ambos sentidos. Se implementaron estos paneles laminados con un ancho de 40 centímetros de ancho, y un espesor de 7.6 y 9.5 centímetros con longitudes variables. Uno de las consecuencias de utilizar paneles pequeños es el gran número de conexiones que este sistema va a tener. Al existir más conexiones entre paneles se necesitará más tornillos y pernos para realizarlas. Es importante tomar en cuenta en el diseño de estas conexiones debido a que son estas las que se pueden optimizar para la facilidad de ensamblaje en obra.

Posteriormente, en el capítulo de energía se tratan las partes de las instalaciones eléctricas, desde el punto donde la instala la empresa proveedora del servicio hasta la unidad de fuerza o luminaria. En este capítulo se estudia el diseño y ubicación de los servicios eléctricos basándose en normas constructivas. Posteriormente se realizan planos de fuerza e iluminación detallando la ubicación de tableros, tomacorrientes, luminarias, interruptores, etc. Se realiza el estudio de energía renovable, específicamente energía solar. En el trabajo se presenta cuáles son los requisitos para una instalación de este tipo, cuales son los componentes y los pasos para una correcta instalación.

El capítulo de instalaciones hidráulicas está comprendida por dos grandes secciones, la instalación de plomería o agua potable y los drenajes. En la instalación de agua potable se presentan cuáles son los componentes, se aborda la distribución de la misma dentro de una vivienda. El trabajo maneja toca el agua fría y el agua caliente ya que tiene como objetivo que la casa propuesta de madera tenga las comodidades de las viviendas convencionales. Se realizan planos de plomería, tomando en cuenta la entrada principal de agua o acometida, desarrollando las redes internas dentro de la casa y los puntos de distribución, se realiza lo mismo con el agua caliente. El reto es instalar la tubería de la forma más estética posible, tomando en cuenta ubicación de tuberías para comodidad de los usuarios.

Los drenajes son un tema de suma importancia dentro del trabajo ya que evacuan todos los deshechos producidos de manera rápida y eficiente para evitar problemas de interacción con los habitantes. Se propone un sistema de evacuación de aguas blancas, grises y negras. Tomando en cuenta siempre la vivienda ecológica se propone una planta de tratamiento domiciliara dentro del terreno de la casa. Un punto importante a tomar en consideración es la evacuación de las aguas pluviales, estas pueden generar problemas si no son manejadas con eficiencia. El trabajo propone una red de evacuación de las aguas colectadas por los techos, guiándolas posteriormente hacia un pozo de absorción.

Por último, el trabajo contiene la descripción detallada del proceso de construcción mediante el método propuesto, con el análisis económico que le corresponde, con el fin de compararlo con otros métodos constructivos utilizados en Guatemala y determinar si este es competitivo en el medio. Se realiza el diseño e integración de costos de los componentes básicos que posee una vivienda. Estos componentes suelen ser: cimentación, fosa séptica, estructura e instalaciones. También se especifica la planificación y cronograma para realizar la construcción, materiales y requisitos básicos para construirla como mano de obra y preparación de la superficie donde se va a construir. Además se analiza el impacto ambiental y emisiones de CO_2 que se genera utilizando el método propuesto.

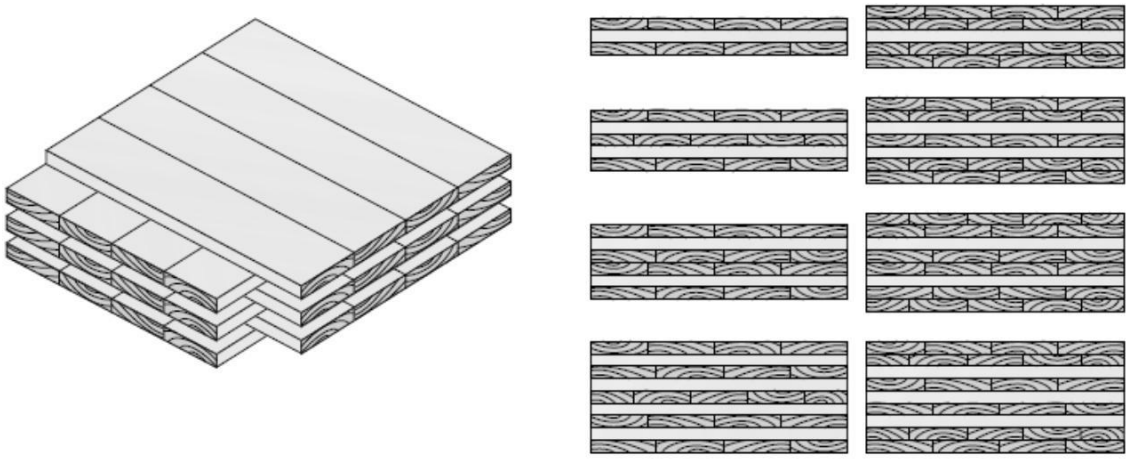
I. INTRODUCCIÓN

La madera como material constructivo no es algo nuevo para las personas. Sin embargo, en nuestro país este material no es considerado como una buena opción para la construcción de vivienda y mucho menos edificios. No obstante, en Europa, Canadá y Estados Unidos, entre otros, la madera es un material apreciado y ampliamente utilizado por el sector constructivo. En este trabajo se busca implementar dos métodos constructivos innovadores en madera, el CLT y la madera laminada. Con estos dos métodos se intenta crear un sistema modular de construcción que pueda competir en cuanto a costos con el concreto, la mampostería y el acero y al mismo tiempo ser una propuesta atractiva para las personas.

La madera contra laminada o CLT (*Cross Laminated Timber*) por sus siglas en inglés, es un método constructivo en madera relativamente nuevo. Surgió en Austria en los años 1990s como parte de una investigación entre profesionales y alumnos del área de la construcción. A partir de los años 2,000 en Europa hay un *boom* en la conciencia ecológica y se buscan nuevas formas de eliminar el daño al medio ambiente. Por esta razón, el CLT es adoptado como un método de construcción alternativo ya que por ser un producto de madera es mucho más amigable con el ambiente. Además, es un método constructivo que puede competir con el concreto, la mampostería y el acero en cuanto a los costos y resistencia. La aceptación de este material como método para construcción de edificios y viviendas se debe en gran parte en que es considerado un método pesado, como la mampostería y el concreto, lo cual hace que las personas tengan más confianza en él. Sin embargo, como cualquier método constructivo tiene sus limitantes y hay que realizar un cuidadoso proceso de diseño y construcción.

Un panel de CLT consiste en varias capas de tablas de madera apiladas de forma cruzada (normalmente a 90 grados) y luego pegadas. Un panel debe tener como mínimo 3 capas de madera pegadas ortogonalmente una con otra. El espesor de cada tabla que puede variar de ⅝ de pulgada hasta 2 pulgadas y su ancho puede ir de 2.4 pulgadas hasta 9.5 pulgadas. La longitud de los paneles varía entre fabricantes. Usualmente se trabajan paneles de 2, 4, 8 o 10 pies de ancho. La longitud puede alcanzar los 60 pies, mientras que su espesor puede llegar hasta las 20 pulgadas.

Ejemplo de paneles de CLT en diferentes configuraciones



Fuente: American Wood Council, 2015

Un panel de madera laminada consiste en varias capas de madera apilada en una sola dirección, es decir, todas las secciones son paralelos a la fibra de la madera. Por esto se puede llegar a considerar el panel un elemento de madera sólido para varios cálculos estructurales. En cambio el CLT no, porque este consiste en varias capas de tablas de madera apiladas de forma cruzada y luego pegadas. Estos paneles son personalizables, esto se refiere a que el espesor y el ancho de las secciones que conforman el panel son modificables. La longitud de los paneles varía dependiendo el uso que se le vaya a dar. La diferencia estructural entre estos paneles y el CLT es que la fibra de la madera está alineada en un solo sentido y tienen mayor resistencia axial. Además, se pueden trabajar espesores de panel más pequeños por lo que el volumen total de madera a utilizar con la madera laminada puede ser menor si se compara con el CLT.

Ejemplo de una viga de madera laminada

Fuente: American Wood Council, 2015

II. OBJETIVOS

Objetivo general

Desarrollar un sistema constructivo para una casa de dos niveles con paneles de madera CLT y secciones laminadas

Objetivos específicos

Realizar el diseño estructural con paneles de CLT para una casa de dos niveles.

Realizar el diseño estructural de una casa construida con paneles de madera laminada.

Dimensionar los elementos requeridos para construir la casa.

Realizar un diseño que pueda soportar la demanda de las cargas gravitacionales y sísmicas.

Diseñar las conexiones entre elementos estructurales.

Diseñar las conexiones entre la estructura y sus cimentaciones.

Diseñar sistemas energéticos e hidráulicos para una vivienda construida estructuralmente con paneles de madera CLT o secciones laminadas.

Proponer un sistema de energía solar adaptado a el sistema estructural de madera.

Diseñar una red de agua potable, drenajes pluviales y de aguas negras para la vivienda de madera.

Cuantificar materiales utilizados en las distintas instalaciones con el precio de materiales y mano de obra para las distintas instalaciones.

Realizar un análisis detallado del proceso constructivo del método de paneles de madera laminada para compararlo con otros métodos y determinar si es competitivo en el ámbito constructivo de Guatemala.

Determinar el tiempo promedio en el que una vivienda se puede construir con la utilización del método propuesto.

Determinar la forma de cimentación económicamente viable para transmitir las cargas de la casa propuesta.

Realizar un análisis financiero detallado del proceso constructivo de la vivienda propuesta para determinar su costo.

Realizar un análisis de huella de carbono en el método para comprobar si el mismo es amigable o no con el medio ambiente.

III. MARCO TEÓRICO

A. Diseño estructural

1. Conceptos y parámetros del diseño en madera

a. Factores de ajuste para la madera. Debido a que la madera es producto heterogéneo en sus propiedades físicas y mecánicas, no presenta las mismas cualidades en todo el material. Además ciertas condiciones como la humedad y la temperatura pueden afectar sus propiedades de resistencia. Por esta razón, se debe realizar un reajuste de los valores de resistencia nominales de la madera. Se debe diseñar pensando en las condiciones finales de uso.

Para el diseño por el método LRFD (*Load and Resistance Factor Design*) por sus siglas en inglés o método de cargas mayoradas, es necesario tomar en cuenta los siguientes factores de ajuste, los cuales se encuentran en el NDS (*National Design Specification*) *for Wood Construction*:

Tabla 1. Factores de ajuste para madera laminada.

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

Fuente: National Design Specification, 2015

1) Factor de humedad (CM). Este modificador aplica cuando la humedad de la madera excede el 19% por un periodo significativo de tiempo.

Tabla 2. Factor de humedad para la madera

Factores de humedad C_M					
Fb	Ft	Fv	Fcperp	Fc	E y Emin
0.8	0.8	0.875	0.53	0.73	0.833

Fuente: National Design Specification, 2015

2) Factor de temperatura (Ct). El factor de temperatura debe aplicarse cuando la madera va a estar expuesta a temperaturas permanentes hasta 150°F (65°C).

Tabla 3. Factor de temperatura para la madera

Factor de temperatura para madera expuesta a altas temperaturas Ct			
Condición de uso	Temperatura permanente °F		
	T ≤100°F	100°F < T ≤125°F	125°F < T ≤ 150°F
Húmeda o mojada	1.00	0.9	0.9
Seca	1.00	0.8	0.7
Húmeda	1.00	0.7	0.5

Fuente: National Design Specification, 2015

3) Factor de volumen (Cv). Este factor se debe aplicar dependiendo que especie de madera se está utilizando. La fórmula es la siguiente:

$$= \left(\frac{21}{\quad}\right)^{1/\quad} \left(\frac{1221}{\quad}\right)^{1/\quad} \left(\frac{5.125}{\quad}\right)^{1/\quad} \leq 1.0$$

Donde:

L = largo del elemento a flexión, ft

d = peralte del elemento a flexión,

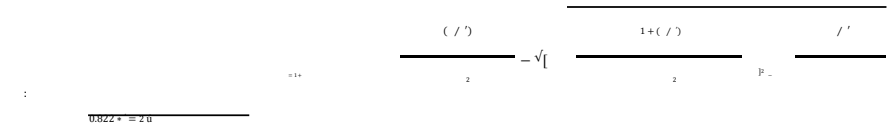
in b = ancho del elemento a flexión,

in x = 20 para Pino del Sur

x = 10 para las otras especies

4) Factor de compresión (Cp). Este factor debe multiplicarse con el esfuerzo admisible de compresión para la admisibilidad de estabilidad. Este factor depende del pandeo directamente. Si el elemento vertical de madera esta lateralmente restringido durante toda su altura el valor de Cp debe ser igual a 1. Es necesario calcular el largo efectivo de la columna que es directamente proporcional al valor de

k, que es factor de largo efectivo que depende del tipo de restricción que tenga el elemento en los extremos. Para calcular el factor Cp se debe seguir la siguiente formula:



5) Factor de conversión de formato (KF). Este factor se utiliza únicamente para el método LRFD. Convierte un valor admisible de esfuerzo a uno de resistencia. De acuerdo al NDS este factor de conversión es distinto para cada casa que se desea calcular. Ver Tabla 1.

6) Factor de resistencia (ϕ). Este factor, al igual que el KF se utiliza para el método LRFD y este factor de resistencia es distinto según el caso que se desea calcular.

Tabla 4. Factores de resistencia para diseño LRFD

Factor de resistencia para la madera			
Aplicación	Propiedad	Símbolo	Valor
Miembro estructural	Fb	ϕb	0.85
	Ft	ϕt	0.80
	Fv, Frt, Fs	ϕv	0.75
	Fc, Fcp	ϕc	0.90
	Emin	ϕs	0.85
Todas las conexiones	1.00	ϕz	0.65

Fuente: National Design Specification, 2015

7) Factor de efecto del tiempo (λ). Utilizado únicamente para LRFD su valor es de 0.80.

8) Factor de duración de carga (Cd). Para el diseño ASD, se utiliza un factor Cd especificado en el NDS para seis diferentes categorías: permanente, diez años, dos meses, siete días, diez minutos y fuerzas de impacto. Estos valores se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Factores de duración de carga para diseño ASD

Duración de la carga	Cd	Cargas típicas de diseño
Permanente	0.9	Carga muerta
Diez años	1.0	Carga viva de ocupación
Dos meses	1.15	Carga de nieve
Siete días	1.25	Carga de construcción
Diez minutos	1.6	Viento y Sismo
Impacto	2.0	-

Fuente: National Design Specification, 2015

Para el diseño LRFD, como se especificó en la sección de factores de ajuste para la madera, este factor es representado con la letra griega lambda (λ) y es 0.8. El CLT se incluyó como material constructivo en el NDS 2015 por primera vez. Esto permite utilizar factores de ajuste específicos para este material, a diferencia de años anteriores en donde se debían asumir factores de otros materiales similares.

Tabla 6. Factores de efecto del tiempo (λ)

Factor de efecto del tiempo	
Combinación de carga	**λ**
1.4D	0.6
1.2D + 1.6L +0.5(Lr o S o R)	0.7 cuando L es de almacenamiento
	0.8 cuando L es de ocupación
	1.25 cuando L es de impacto
1.2D + 1.6(Lr o S o R) + (L o 0.5W)	0.8
1.2D + 1.0W + L + 0.5(Lr o S o R)	1.00
1.2D + 1.0E + L + 0.2S	1.00
0.9D + 1.0W	1.00
0.9D + 1.0E	1.00

Fuente: National Design Specification, 2015

b. Elementos en flexión

1) Flexión. Para poder calcular la capacidad flexionante de un elemento es necesario emplear la siguiente ecuación:

:

Ya que un panel es un elemento compuesto de varias piezas, su módulo de sección debe calcularse tomando en cuenta esta configuración. La ecuación a utilizar es la siguiente:

:

= ó ó =

1 = ó h =

Para el diseño, el momento flexionante inducido al elemento tiene que ser menor al que resiste dicho elemento. En forma de ecuación se expresa de la siguiente manera:

≤

2) Corte. Para conocer la capacidad a corte de un elemento a flexión se utiliza un método simplificado similar al usado para calcular la capacidad flexionante. En este método se encuentra una sección efectiva a corte, la cual se multiplica por la capacidad cortante del panel. En forma de ecuación queda de la siguiente manera:

$$(I_b/Q)_{eff} = \frac{}{\sum_{i=1}^{n} h_i}$$

En donde:
$(I_b/Q)_{eff}$ = sección efectiva a corte
$E_i$eff = rigidez efectiva flexionante
E_i = módulo de elasticidad de una capa individual
h_i = espesor de una capa individual, para la capa central es la mitad del espesor
z_i = distancia del centroide de la capa al eje neutral del panel

Al encontrar esta sección efectiva a corte se puede calcular la capacidad a corte del panel con la siguiente ecuación:

En donde:
Fv = capacidad cortante del panel
F v = capacidad cortante con los factores de ajuste
$(I_b/Q)_{eff}$ = sección efectiva a corte

Para el diseño de nuevo hay que chequear que el corte aplicado al panel debido a las cargas sea menor o igual a la capacidad cortante encontrada.

En donde:
V = corte aplicado al panel debido a las cargas
Fv = capacidad cortante del elemento

c. Elementos en compresión

1) Columnas sólidas y paredes. Para el diseño de las paredes y de columnas sólidas, la carga aplicada al elemento debe ser menor a la capacidad a compresión ajustada del elemento multiplicado por el área de las láminas donde la fibra es paralela a la dirección de la carga. En forma de ecuación se expresa de la siguiente manera:

Donde:
$P_{paralela}$ = carga aplicada paralela a la dirección de la fibra

F'_c = capacidad a compresión ajustada
$A_{paralela}$ = área de las laminas con fibras paralelas a la carga

d. Elementos en tensión. En la configuración de panel que utiliza el CLT, los elementos con las fibras perpendiculares a una carga que provoca tensión no se pueden tomar en cuenta para la resistencia de dicha carga. Únicamente los elementos con la fibra paralela a la carga se toman como área efectiva. Al igual que los miembros a compresión, la carga aplicada debe ser menor a la capacidad a tensión multiplicada por el área efectiva de los elementos con la fibra paralela a la carga.

$\leq '$

$+ \Delta(+ 0.234 / \quad)$

Donde:

$T_{paralela}$ = carga aplicada paralela a la dirección de la fibra $F't$ = capacidad a tensión ajustada

$A_{paralela}$ = área de las laminas con fibras paralelas a la carga

e. Elementos en flexión y carga axial. Para los elementos sometidos a flexión y a una carga axial, el CLT Handbook modifica una ecuación del capítulo 15 del National Design Specification (NDS) para ajustarla al CLT.

$$\frac{}{\cdot} + \frac{}{\cdot (1 - / \quad)} \leq 1.0$$

Donde:
P = carga axial aplicada
M = momento felxionante aplicado

Δ= excentricidad de la carga axial, medida perpedicularmente al plano del panel Pce = carga crítica de pandeo

f. Elementos de soporte

1) Perpendicular a la fibra**.** Debido a que el CLT es un sistema que utiliza paneles, no es necesario utilizar un factor para ajustar el área de soporte de un elemento, por esta razón se utiliza el área como 1.0. La expresión para el diseño es la siguiente:

$\leq '_{\perp}$

Donde:
P = carga aplicada
$F'_{c\perp}$ = capacidad ajustada perpendicular a la fibra

2) Paralelo a la fibra. Para cargas paralelas a la fibra o una combinación perpendicular y paralela a la fibra, la carga paralela a la fibra va a dominar. La ecuación para el diseño de una carga de este tipo es:

≤ *

Donde:
$P_{paralela}$ = carga aplicada parelela a las fibras
F'c = capacidad a compresion paralela a la fibra ajustada
$A_{paralela}$ = área de las láminas con fibras paralelas a la dirección de la carga

g. Pandeo. Debido a que el CLT es un sistema de paneles, el pandeo debe chequearse solamente en la dirección más crítica. Para encontrar la fuerza de pandeo crítica se emplea la siguiente ecuación:

$$= \frac{2}{2} _$$

Donde:
Pce = fuerza de pandeo crítica
le = longitud efectiva
$EI_{app-min} = 0.5184EI_{app}$

es la rigidez flexionante aparente del panel, la cual se puede encontrar tomando en cuenta la configuración de capas del CLT. La siguiente ecuación se puede utilizar para encontrar esta rigidez:

$$_ = \frac{\quad}{\quad}$$

$$_{1+}{}^{2}$$

Donde:
EI_{eff} = rigidez flexionante efectiva de la sección compuesta
Ks = constante que depende del tipo de carga y de los apoyos
GA_{eff} = rigidez cortante efectiva de la sección compuesta
L = Longitud del panel

2. Diseño lateral

a. Muros de corte y diafragmas. La resistencia lateral ante las cargas sísmica y de viento en estructuras de CLT se resisten por medio de paredes y paneles de piso diseñadas como muros de corte y diafragmas. La resistencia al corte de diseño de los muros de corte y diafragmas hechos con CLT depende de algunos factores como el tamaño de los pasadores de corte, su espaciamiento y ubicación, así como la resistencia al corte del propio panel.

Se recomienda utilizar los principios de diseño por capacidad para el diseño lateral del CLT para asegurar un comportamiento predecible de cedencia entre los paneles de pared y las interconexiones de los elementos a través de la falla de los pasadores por fluencia, aplastamiento de la madera o una combinación de los mismos antes de la aparición de modos de falla frágil, los cuales no son deseables. Este enfoque reconoce que las conexiones de pared panel a panel y panel a piso son las mayores fuentes de cedencia, mientras que los paneles de pared se comportan esencialmente como elásticos. Los detalles del sistema resistente a sismo del CLT incluyen lo siguiente:

1) Los pasadores trabajando a corte son diseñados para que el comportamiento de fluencia esperado sea de acuerdo al Modo III o al Modo IV definidos en el NDS.

a) El Modo III se refiere a una falla en donde se forma una articulación plástica en el pasador por cada plano de corte existente y hay aplastamiento en los elementos de madera.

Figura 1. Modo de fala III

Fuente: American Wood Council, 2015

b) En el Modo IV, ocurren dos articulaciones plásticas por plano de corte y aplastamiento en los elementos de madera.

Figura 2. Modo de falla IV

Fuente: American Wood Council, 2015

2) La capacidad nominal de una conexión a corte se determina de acuerdo a lo siguiente:

a) Para los pasadores de tipo tarugo:

( )( )( )( )( )

Donde:

n = número de pasadores

Z = valor de referencia para diseño lateral de un solo pasador K_F = factor de conversión de formato

l = factor de ajuste del efecto del tiempo C_M = factor de ajuste de humedad

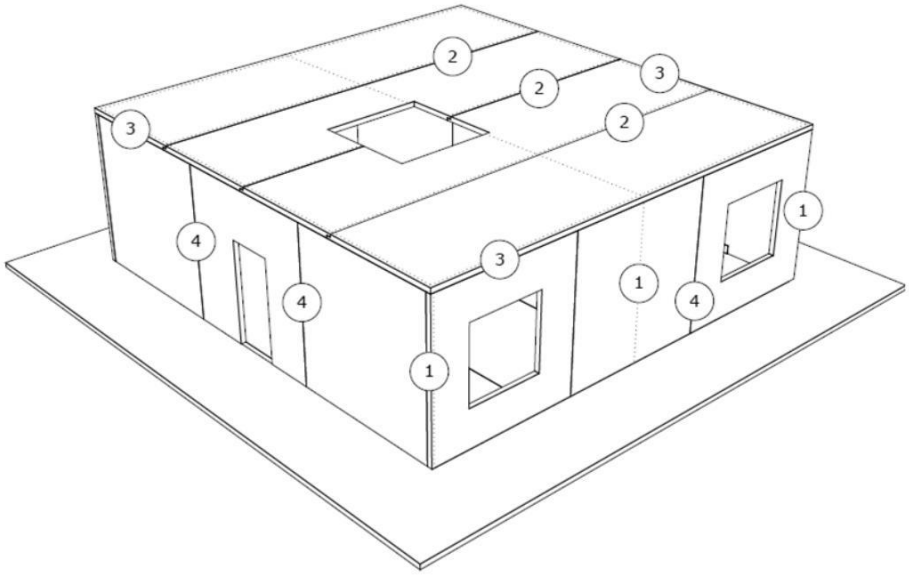
C_t = factor de ajuste de temperatura

C_{eg} = factor de ajuste de dirección a la fibra

3) La capacidad nominal de una conexión encontrada de acuerdo al inciso 2) se utiliza como la demanda de diseño mínima para cualquier estado límite de los elementos de madera.

4) Cuando una conexión no permita que el pasador se retire de su lugar, las pruebas realizadas a la conexión tienen que demostrar que el pasador puede desarrollar una fluencia significativa antes de que este se retire de la madera.

Figura 3. Diferentes tipos de conexión en un sistema fabricado con paneles CLT



Fuente: FPInnovations, AWC, 2013

En la Figura se observan los puntos en donde es necesario colocar conexiones con pasadores diseñados para que fallen en fluencia según el Modo III y el Modo IV. Las conexiones típicas en CLT que se observan en la Figura son:

1. Conexiones verticales entre paredes perpendiculares
2. Conexiones horizontales entre paneles de piso
3. Conexiones entre paneles de piso y paneles de pared
4. Conexiones verticales entre paneles de pared

El diseño de los elementos de la madera tiene que tomar en cuenta la capacidad de las conexiones. Es necesario diseñar los elementos para que su capacidad sea mayor a la capacidad de la conexión. Esto se hace para asegurar que el elemento conector falle por fluencia y no se llegue al estado límite de la madera. Si se emplean los métodos de diseño recomendados, las conexiones se pueden optimizar. La separación entre los conectores va ser mayor, se pueden utilizar pasadores relativamente esbeltos para promover la fluencia y asegurarse que la madera no falle frágilmente.

b. Modelos numéricos para el análisis sísmico del CLT

1) Modelo cinemático para paredes CLT. Las observaciones hechas en los ensayos a paredes de CLT, con carga lateral, indican que la deformación cortante del panel es insignificante en comparación a la deformación de las conexiones en el panel. Dicho de otra manera, el desplazamiento lateral de una pared de CLT es mayormente causado por la rotación de los paneles como un cuerpo rígido alrededor de las esquinas. Sin embargo, los paneles instalados en medio de un panel de piso y uno de techo, tienen cierta restricción de movimiento debido a los diafragmas de piso y techo en comparación a los ensayos sobre paredes aisladas.

Existe un modelo simplificado para estimar la histéresis de los sistemas de paredes de CLT. Para la realización de este modelo se hicieron ciertas suposiciones, las cuales pueden ser significativas y es necesario que el diseñador las conozca. Las suposiciones para desarrollar el modelo son:

Los paneles de pared de CLT se comportan como cuerpos rígidos.

Bajo efectos de carga lateral, los paneles de CLT rotan individualmente alrededor de las esquinas inferiores para desarrollar un desplazamiento lateral en la parte superior de la pared.

No existe deslizamiento lateral relativo entre la pared y los paneles de piso o techo. La

fuerza de gravedad actúa verticalmente en el centro de los paneles de CLT.

Los conectores de paneles se deforman por el movimiento de la pared y desarrollan la histéresis para el sistema de paneles de pared.

Estas suposiciones se pueden observar en la Figura 4. Basándose en el equilibro de un cuerpo libre, la resistencia lateral de una pared de CLT está representada por la sumatoria de la resistencia al deslizamiento por carga de todas las conexiones involucradas en el movimiento de la pared. La resistencia de cada conector depende de la geometría del panel y de la ubicación del mismo. La resistencia ante el desplazamiento lateral se puede calcular de la siguiente manera:

Donde:
L = longitud del panel
H = altura del panel

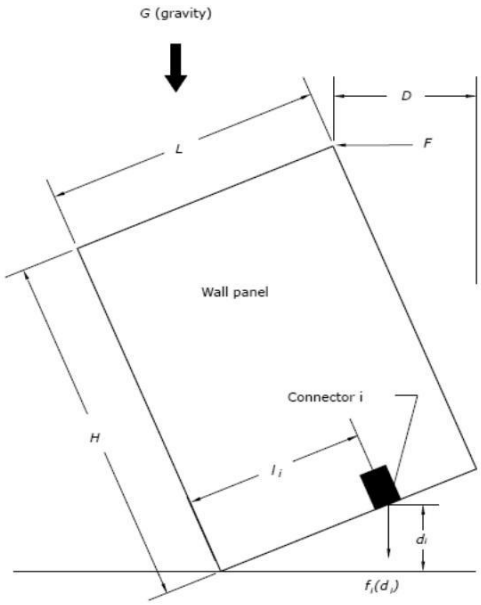
D = el desplazamiento en la parte superior del panel li = distancia del conector al eje de rotacion del panel
di = H D, deformación del conector G = gravedad

Las suposiciones que se hicieron para el desarrollo de este modelo resultan en varias limitaciones del mismo:

El modelo es válido hasta cierta deformación debido a la aproximación de un ángulo pequeño.

La longitud del panel de pared necesita ser lo suficientemente pequeña para la rotación en el modelo sea válida.

Figura 4. Ilustración para cálculo de resistencia lateral de un panel CLT

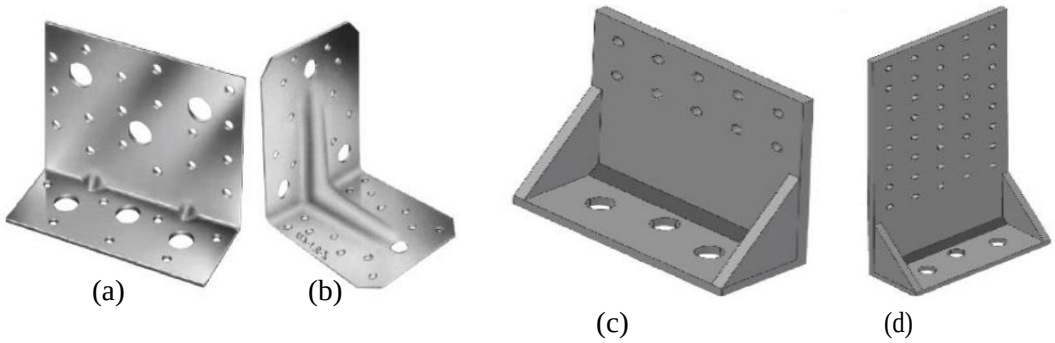


Fuente:FPInnovations, AWC, 2013

2) Estudio realizado por *FPInnovations*. *FPInnovations* es una organización canadiense sin fines de lucro que lleva a cabo investigaciones científicas para la industria forestal de Canadá, basándose en las necesidades de dicha industria. La organización se formó el 1 de abril de 2007 producto de la unión entre *Forintek Canada Corporation*, *Forest Engineering Research Institute of Canada (FERIC)* y *Pulp and Paper Research Institute of Canada (Paprican*). Estas organizaciones operan como divisiones de *FPInnovations.*
El objetivo principal de la organización es encontrar soluciones innovadoras para cada área de la cadena de valor de la industria forestal.

FPInnovations llevó a cabo un estudio llamado *Seismic Behaviour of Cross-Laminated Timber Structures*, para incluirlo en el *CLT Handbook* canadiense en 2010. En este trabajo de investigación se realizaron 32 pruebas monótonas y cíclicas a paredes de CLT con 12 diferentes configuraciones. Se emplearon diferentes tipos de conexiones pared-piso, pared-pared y conexiones entre niveles. Todas las paredes estaban constituidas por 3 capas, cada una de 94 mm hechas de pícea europea y fabricados por KLH Massiveholz en Austria. Cada panel medía 2.3 metros de largo y de ancho. Las distintas configuraciones de paredes se unieron a los cimientos con ménsulas metálicas y tornillos o clavos metálicos comúnmente utilizados para madera. Estos elementos pueden observarse en la Figuras 5 y 6, respectivamente.

Figura 5. Ménsulas metálicas utilizadas para conectar pared a cimientos



Fuente: FPInnovations, AWC, 2015

Figura 6. Clavos, tornillos y remaches utilizados para unir piezas

(a) (b) (c) (d) (e) (f) (g) (h) (i)

Fuente: FPInnovations, AWC, 2013

Para poder someter las paredes a la carga lateral, se utilizó un marco metálico de vigas "I" con rigidizadas. Una viga fue utilizada como cimiento a la cual se atornillo la pared. Otra viga fue atornillada en la parte superior del panel para actuar como esparcidor de carga lateral a lo largo de la pared. Para asegurar un movimiento unidireccional del panel se colocaron guías laterales con rodos. Por último, para simular la carga vertical se hizo uso de un actuador hidráulico de 3 kips localizado en el punto medio de cada lado de la pared. Para aplicar la fuerza lateral, al igual que para la carga vertical, se utilizó un actuador hidráulico. La configuración para el estudio se muestra en la Figura 7 a continuación.

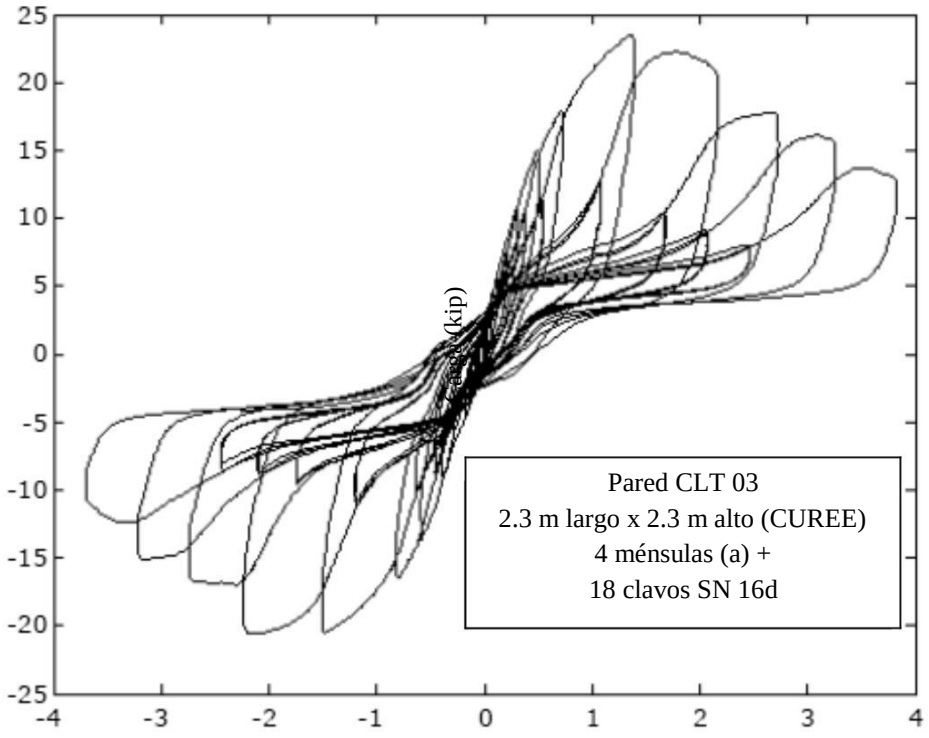
Figura 7. Configuración utilizada por FPInnovations para el estudio de paredes CLT ante carga lateral

Fuente: FPInnovations, AWC, 2013

Para ambos tipos de prueba, monótona y cíclica, el actuador hidráulico aplico una fuerza de 24.7 kips. Los protocolos para carga cíclica utilizados para las pruebas fueron el CUREE y el ISO 16670, como aparecen especificados en ASTM E 2126 con una tasa de desplazamiento de 5 mm/s. Para los casos monótonos, se utilizó una carga con una tasa de desplazamiento de 0.2 mm/s o 0.4 mm/s. Adicionalmente, se colocaron instrumentos para la medición del desplazamiento lateral en la parte superior e inferior de las paredes y para la deformación del panel a lo largo de las diagonales de la pared.

Luego de analizar los resultados, se tomó una pared como referencia en cuanto a resistencia y deformación. La pared que se escogió como referencia fue la Tipo 3, la cual consistía en un panel de 2.3 m de largo y 2.3 m de ancho. La pared se unió a los cimientos con cuatro ménsulas como las observadas en la Figura 5 (a) y unidas al panel utilizando 18 clavos como los de la Figura 6 (a). En cuanto a ductilidad y resistencia este panel presento buenos resultados. La respuesta del panel ante la carga lateral se puede observar en su curva de histéresis en la Figura 8. Esta pared fue probada con una carga cíclica siguiendo los parámetros CUREE.

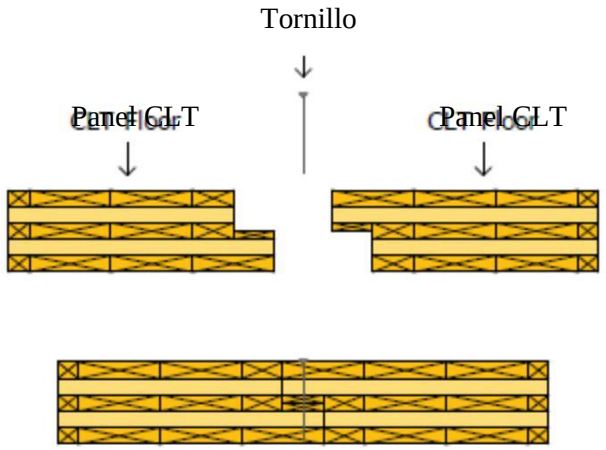
Figura 8. Curva de histéresis para la pared Tipo 3



Fuente: FPInnovations, AWC, 2013

Se realizaron pruebas para paredes conformadas por dos paneles para observar el comportamiento de la junta entre paneles para cargas sísmicas. Las paredes Tipo 11 y 12 en el estudio estaban conformadas por dos paneles para tener una longitud total de 2.3 m y un ancho de 2.3 m. La unión entre fue de medio traslape entre paneles de 65 mm, como se observa en la Figura 9, y unidos por medio de 12 tornillos como los de la Figura 6 (i) para el Tipo 11 y 12 tornillos como los de la Figura 6 (d) para el Tipo 12. La unión entre panel y cimiento fue la misma que para el Tipo 3.

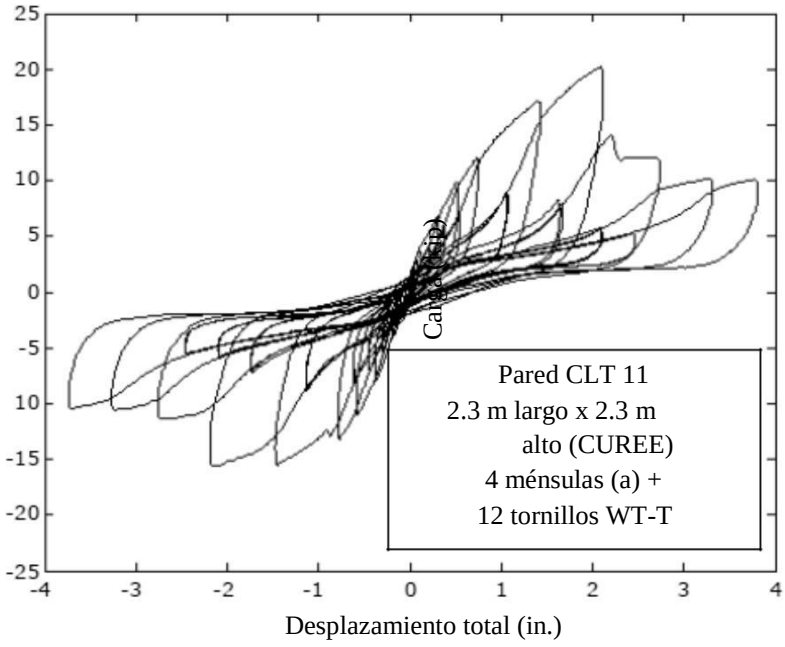
Figura 9. Detalle de una unión de medio traslape entre paneles



Fuente: FPInnovations, AWC, 2013

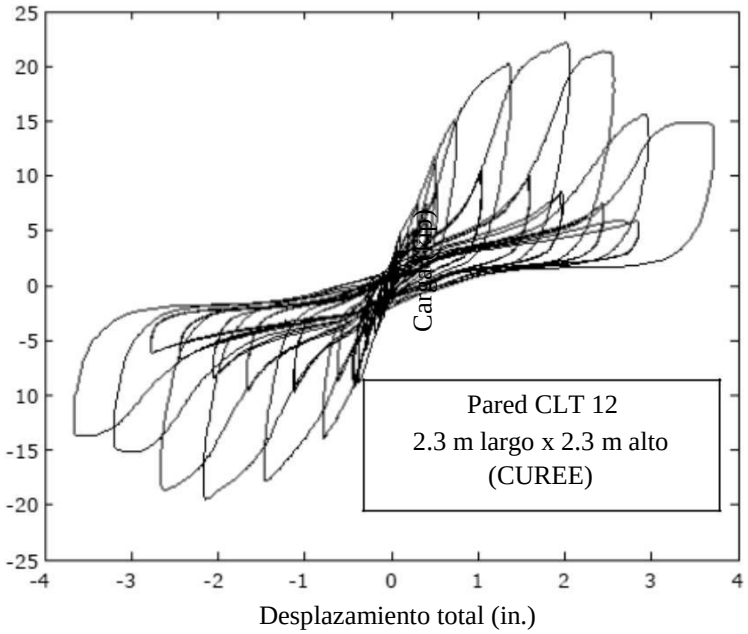
Los resultados para los ensayos de las paredes Tipo 11 y 12 mostraron una reducción en la resistencia y ductilidad de la pared, en comparación a la pared de referencia, la Tipo 3. Las paredes se comportaron como un elemento rígido, sin embargo la unión tuvo un efecto en el comportamiento, como era de esperarse. La rigidez de ambas paredes se vio reducida en 32% para la pared 11 y 22% para la pared 12. La pared Tipo 11 tuvo una reducción del 19% en la fuerza última, mientras que en la otra pared esta reducción fue únicamente del 5%. Adicionalmente, la ductilidad de la pared 11 se vio bastante reducida en comparación a la pared 3, mientras que la ductilidad de la pared 12 fue tan solo un poco menor que la de la pared de referencia. Basándose en los resultados, en el caso de las paredes formadas por varios paneles con unión de medio traslape, el uso de tornillos estándar es recomendado para zonas de alta sismicidad.

Figura 10. Curva de histéresis para la pared Tipo 11 unida con tornillos tipo WT-T a lo largo de la unión de medio traslape entre paneles



Fuente: FPInnovations, AWC, 2013

Figura 11. Curva de histéresis para la pared Tipo 12 unida con tornillos tipo SFS2 a lo largo de la unión de medio traslape entre paneles



Fuente: FPInnovations, AWC, 2013

Un punto importante en este estudio fueron las conexiones entre el panel y la cimentación. Se utilizaron clavos y tornillos para comparar su comportamiento en los ensayos. Basado en observaciones, se llegó a la conclusión que el comportamiento de las conexiones con clavos y con tornillos fue muy similar. La carga máxima a la que llegaron ambas conexiones fue muy parecidas. La única diferencia fue que los tornillos perdieron su capacidad de transmitir carga más rápido que los clavos, luego de la falla.

Se utilizaron dos tipos de clavos para las conexiones. Los clavos tenían anillos en su longitud, unos tenían anillos espirales y otros circulares. El comportamiento y resistencia de ambos tipos de clavos fue muy similar. Como se puede observar en la Figura 12, los clavos fallaron por deformación y retracción de la madera. Los clavos con anillos circulares tuvieron la tendencia de arrancar pequeños pedazos de madera durante la falla mientras que los de anillos espirales únicamente se retiraban de la madera. Esto no supone ningún problema estructural, ambos tipos de clavos fueron aceptados.

Figura 12. Métodos de falla en la conexión pared-cimiento con clavos con anillos espirales (izquierda) y anillos circulares (derecha)

Fuente: Popovski y Karacabeyli, 2012

3. Diseño de conexiones. El sistema estructural de paneles CLT depende mucho de las conexiones entre elementos. Debido a que los paneles de piso tienen que actuar como diafragma y las paredes deben resistir las fuerzas laterales es de suma importancia que las conexiones estén diseñadas para soportar las demandas de carga. Las conexiones juegan un papel importante en el diseño ya que de ellas depende mucho la resistencia, rigidez, estabilidad y ductilidad de la estructura. Luego de un sismo u otro desastre natural de gran tamaño, se ha observado que la mayoría de fallas estructurales ocurren debido a un mal diseño o instalación de las conexiones. Además, la eficiencia constructiva depende en gran parte en la facilidad que exista para conectar los elementos entre sí.

El sistema constructivo más eficiente para el CLT es el de plataforma. En este método, los paneles de piso descansas directamente encima de los paneles de pared, creando una plataforma para los pisos que le sigan.

Este es el sistema más utilizado debido a que trae beneficios como: simplifica el trabajo de construcción, se pueden utilizar conexiones simples entre elementos y el camino de la carga está bien definido.

a. Sistemas de conexión en CLT. Actualmente existe variedad de elementos y detalles que pueden ser utilizados para establecer las conexiones necesarias entre paneles CLT e incluso madera con otros materiales como el concreto y el acero. Los fabricantes de CLT recomiendan el uso de tornillos sin encaminamiento o auto-roscantes y son los más utilizados para conectar los elementos. Sin embargo existen otros elementos como los tornillos para madera, clavos, tarugos y pernos también pueden ser utilizados efectivamente para realizar las conexiones. Además, se están realizando estudios para otros tipos de conexión innovadores como los pernos previamente pegados y las placas de corte para poder integrarlos a las construcciones en CLT en un futuro.

1) Tornillos sin encaminamiento. Los tornillos sin encaminamiento o auto-roscantes son muy populares en las construcciones de CLT en Europa. La fácil instalación y la alta resistencia lateral y de retracción los hacen muy efectivos para conectar elementos, ya que son capaces de soportar cargas axiales y laterales combinadas. Estos tornillos vienen en diferentes tamaños y longitudes, pueden llegar a los 14 mm de diámetro y 1 metros de longitud. Una de las mayores ventajas de estos elementos es que no es necesario perforar previamente el agujero. Esto hace que la instalación sea más rápida en comparación con los tornillos tradicionales.

Figura 13. Tornillos sin encaminamiento o auto-roscantes

Fuente: Powers Fastening Innovation, s.f.

2) Clavos. Los clavos no son tan utilizados en la construcción con paneles CLT. Existen clavos con espirales o surcos en su superficie, los cuales se usan comúnmente para unir elementos a placas de metal previamente perforadas. El problema con los clavos es que su capacidad para resistir la retracción es baja en comparación con los tornillos. Por esta razón no es recomendable utilizarlos en casos en donde pueda existir la posibilidad de retracción. Sin embargo, estos se pueden utilizar como elemento de conexión para resistir fuerzas laterales, pero se debe aplicar un factor de reducción para tomar en cuenta la baja capacidad de resistencia a la retracción.

3) Pernos y tarugos. Los pernos y tarugos son comúnmente utilizados en las construcciones de madera pesada debido a su gran capacidad resistiva. Su uso en la construcción con CLT es permitido y funcionan muy bien para resistir cargas laterales. Hay que tomar en consideración que si estos elementos se van a colocar en el borde de un panel existe la posibilidad que se coloquen en una parte en donde el pegamento

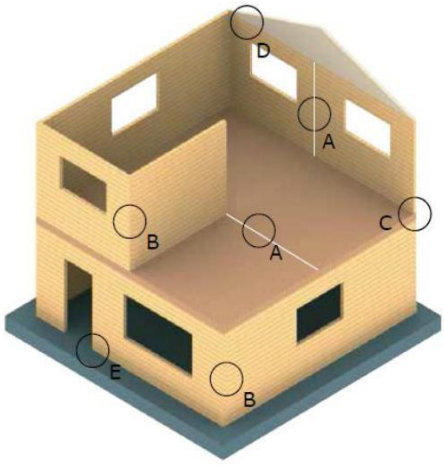
no unió bien las láminas del panel, algo que ocurre a menudo en este sistema. Esto puede comprometer la resistencia lateral de la estructura.

Figura 14. Pernos (izquierda) y tarugos (derecha) utilizados en la construcción con madera.

Fuente: Powers Fastening Innovation, s.f.

b. Tipos de conexión en CLT. En la construcción con paneles de CLT, usualmente existen cinco tipos de conexiones entre elementos. En la Figura 15 se pueden observar estos tipos: panel a panel (A), pared a pared (B), pared a losa de entrepiso (C), techo a pared (D) y pared a cimientos (E). Además existen conexiones detalladas para construcciones que utilicen otro tipo de elementos como vigas laminadas o tipo *joist* en combinación con el CLT.

Figura 15. Conexiones típicas en una construcción con paneles de CLT



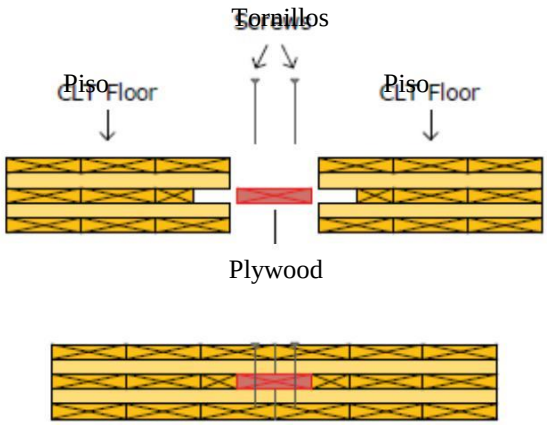
Fuente: FPInnovations, AWC, 2013

1) Panel a panel (A). La conexión panel a panel es la más fundamental y utilizada en la construcción con este sistema ya que se usa para crear las paredes y pisos de la estructura. En esta conexión, los paneles son conectados a lo largo de su longitud y lo más común es que se realice en obra. Debido a que

está en una conexión que se repite varias veces en la construcción, debe diseñarse para que sea fácil y rápida de realizar. Esto hará que el tiempo de construcción y los costos disminuyan. La conexión panel a panel nos asegura una transferencia de carga entre elementos. Para las paredes, esta conexión debe diseñarse para resistir el corte y el pandeo. Cuando los pisos de la estructura actúen como diafragmas, la conexión debe ser capaz de transferir la carga de panel a panel y mantener la integridad del diafragma y así mantener la resistencia lateral de la estructura. Existen varios métodos de conectar panel a panel, los cuales serán descritos a continuación:

a) Ranura interna. Este tipo de conexión consiste en dejar una ranura interna en el panel de CLT, desde el proceso de fabricación. Dentro de la ranura se tiene que colocar otro pedazo de madera, plywood o madera conglomerada estructural. Posteriormente las piezas se unen con tornillos, clavos o tornillos auto-roscantes. Una ventaja de esta conexión es que crea una conexión doble a corte. Adicionalmente se puede utilizar pegamento estructural para la unión, haciéndola más rígida de ser necesario. Una consideración a tomar en cuenta es que las piezas deben ser fabricadas con gran exactitud para que la conexión encaje lo mejor posible.

Figura 16. Detalle de conexión de ranura interna



Fuente: FPInnovations, AWC, 2013

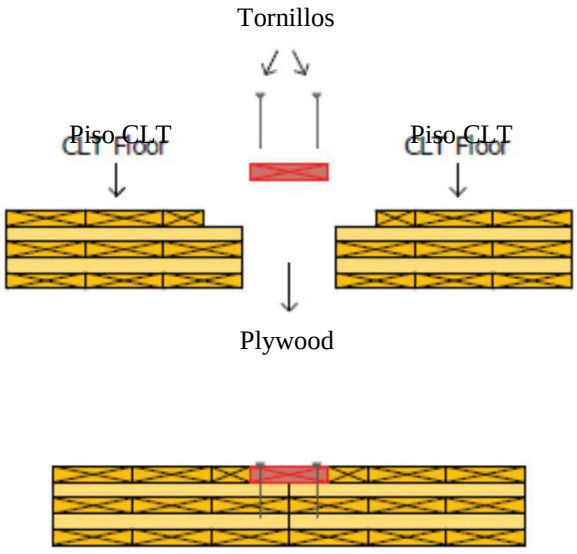
Figura 17. Conexión de ranura interna con doble ranura

Fuente: FPInnovations, AWC, 2013

b) Ranura de superficie simple. A diferencia de la conexión de ranura interna, la ranura en este tipo de conexión se encuentra en la superficie de los paneles. Tiene la ventaja de ser de más fácil ensamblado en campo que la de ranura interna. La ranura tiene que llevar una pieza de madera, plywood o

madera conglomerada estructural. Las piezas se unen con tornillos, clavos o tornillos auto-roscantes. La desventaja de esta conexión es que se crea únicamente una superficie de corte, por lo que soporta menos carga. Se puede utilizar pegamento estructural para mejorar la resistencia.

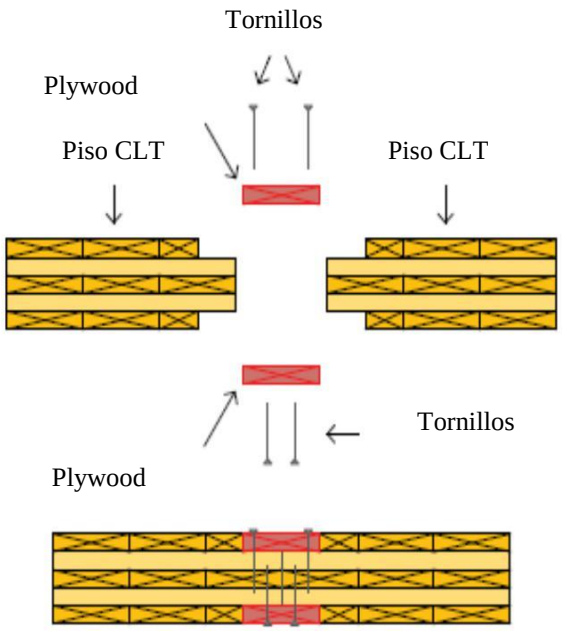
Figura 18. Detalle de conexión de ranura de superficie simple



Fuente: FPInnovations, AWC, 2013

c) Ranura de superficie doble. Esta conexión es similar a la de superficie simple, a excepción de que en esta existen dos ranuras, una en cada lado de los paneles. De igual forma se pueden utilizar los mismos materiales para la ranura que en las conexiones anteriores. Al utilizar el doble de clavos la resistencia y rigidez de la conexión es mayor y, si es necesario, se puede utilizar pegamento estructural para mejorar aún más la resistencia y rigidez. La desventaja de esta conexión es que requiere más tiempo para realizarla y se requiere de más equipo.

Figura 19. Detalle de conexión de ranura de superficie doble



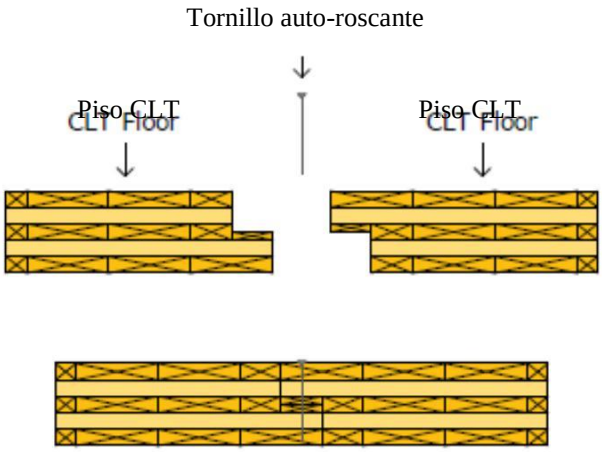
Fuente: FPInnovations, AWC, 2013

Figura 20. Conexión de ranura de superficie simple en obra

Fuente: FPInnovations, AWC, 2013

d) Unión de medio traslape. En esta conexión se realiza un corte en el panel para crear una especie de diente, que encaje con el diente de otro panel, creando así una unión de traslape entre los mismos. Esta conexión es mayormente utilizada en conexiones de paneles de paredes y piso y normalmente se unen con tornillos auto-roscantes. La conexión es capaz de trasmitir fuerzas axiales y transversales, pero no se considera resistente a momento. Tiene la ventaja de ser fácil de realizar, sin embargo se corre el riesgo de que la conexión falle por ruptura de la sección transversal de madera.

Figura 21. Detalle de conexión de medio traslape



Fuente: FPInnovations, AWC, 2013

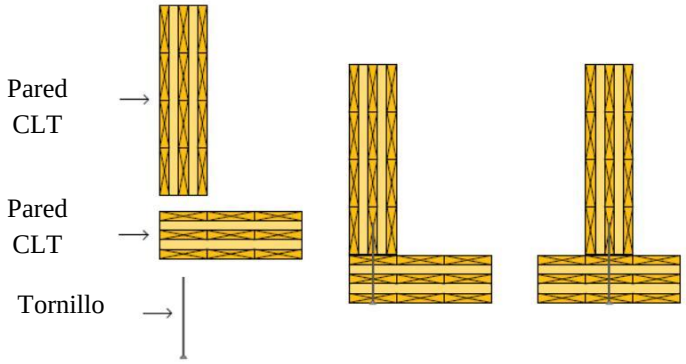
Figura 22. Conexión de medio traslape en obra

Fuente: FPInnovations, AWC, 2013

2) Pared a pared. Cuando se necesita conectar paneles transversalmente entre sí, como en el caso de las esquinas o paredes interiores a exteriores, se necesitan otros tipos de conexiones que no se cubren con las uniones panel a panel.

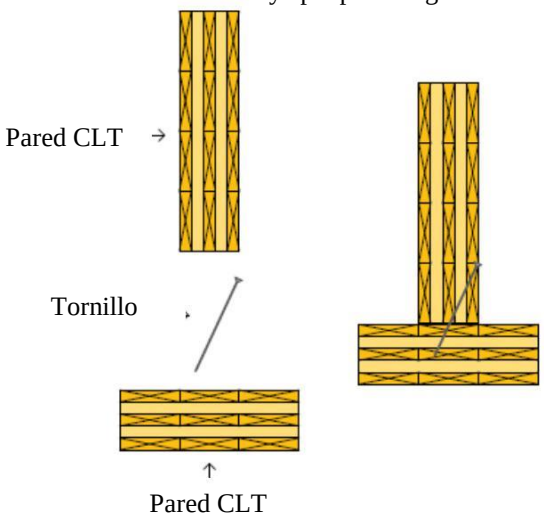
a) Tornillos auto-roscantes. El método más simple y fácil de realizar la conexión pared a pared es utilizando los tornillos auto-roscantes. Debido a que los tornillos se instalan directamente al lado angosto del panel, hay que considerar la debilidad creada por esto. Para cargas pequeñas no existe problemas, pero para cargas grandes de viento o de sismo puede existir riesgo de que la conexión falle. Para evitar este problema, los tornillos se pueden instalar con un ángulo.

Figura 23. Conexión entre paredes con tornillo auto-roscante sin ángulo. Esta conexión no es recomendada para grandes fuerzas laterales



Fuente: FPInnovations, AWC, 2013

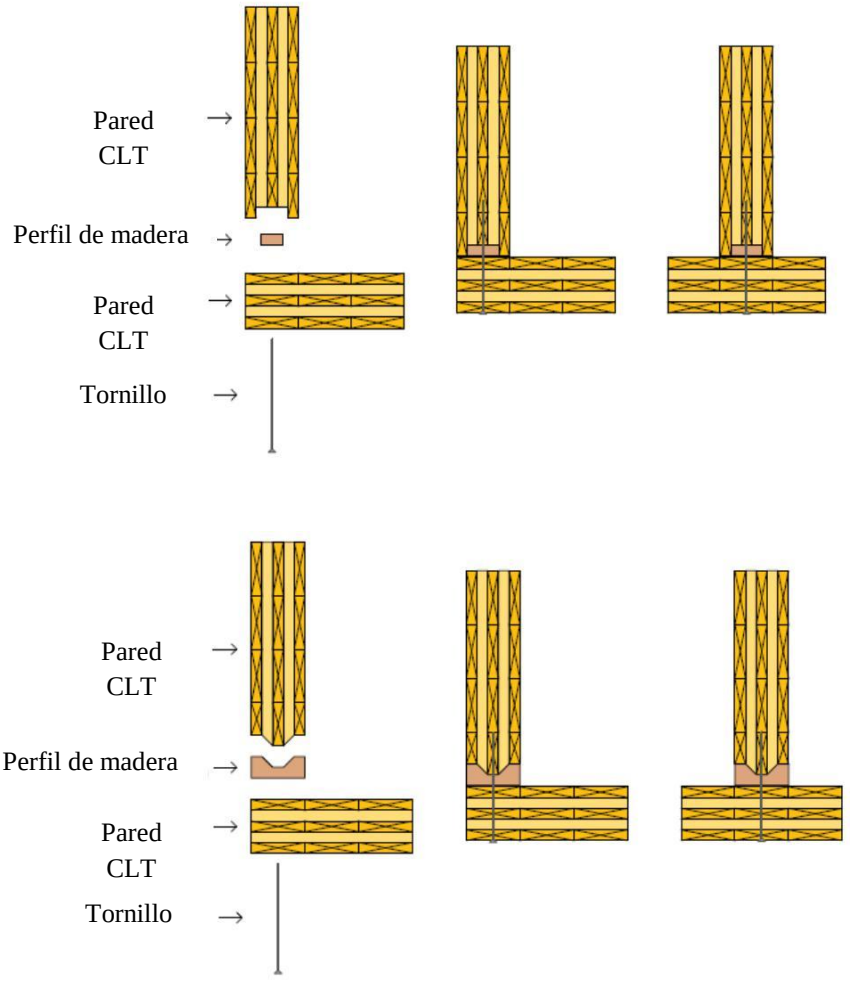
Figura 24. Conexión entre paredes con tornillo auto-roscante con ángulo. Al darle ángulo al tornillo se crea una conexión más resistente y apta para cargas laterales.



Fuente: FPInnovations, AWC, 2013

b) Perfiles de madera: Se pueden utilizar perfiles de madera, llamados llaves, ocultos dentro de los paneles para conectar las paredes. La ventaja que tiene esta conexión comparada con la de utilizar tornillos directamente es la resistencia. Se pueden utilizar más tornillos para conectar la llave a la pared perfilada y a su vez a la pared transversal. La llave tiene que estar hecha de una madera más dura que la del panel, de plywood o de un conglomerado estructural.

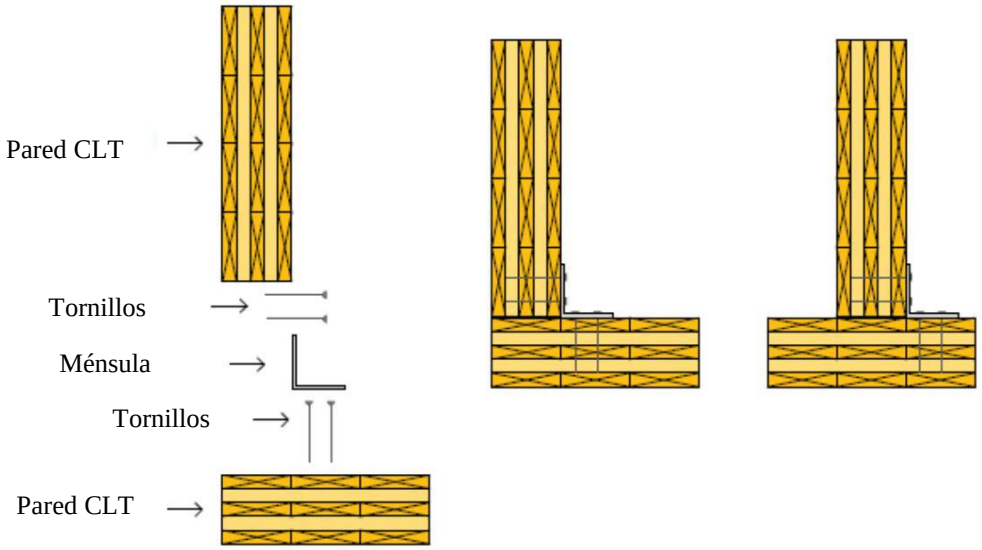
Figura 25. Conexiones con perfil de madera oculto y tornillos



Fuente: FPInnovations, AWC, 2013

c) Ménsula metálica: El uso de ménsulas metálicas para realizar esta unión es una de las formas más simples y de mejor comportamiento, en cuanto a resistencia se refiere. La pieza metálica se une a los paneles por medio de tornillos o clavos. Una desventaja es que la estética se pierde ya que la ménsula queda vista. Si se hace un recubrimiento de las paredes se pueden ocultar y no causan problema.

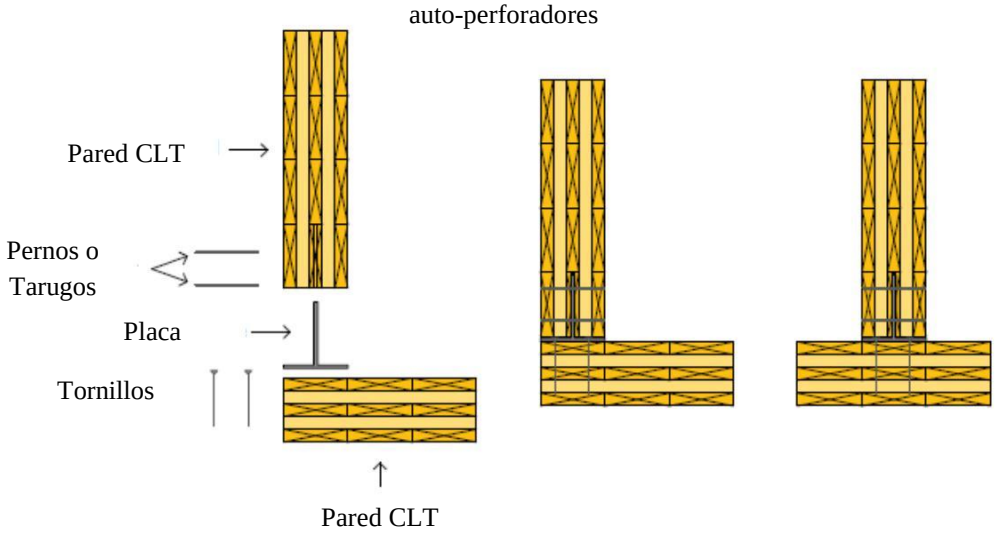
Figura 26. Conexión con ménsula metálica y tornillos



Fuente: FPInnovations, AWC, 2013

d) Ménsula metálica oculta: Para resolver el problema estético de la conexión anterior, se pueden ocultar las ménsulas dentro de los paneles. El grosor de la placa puede variar entre 6 mm hasta 12 mm. Otra ventaja es la resistencia al fuego, ya que la madera protege la ménsula. Para poder realizar esta conexión de manera correcta, es de suma importancia que la ranura sea prefabricada con gran precisión para que las piezas encajen correctamente. Para unir las piezas, se pueden usar tarugos auto-perforadores metálicos que atraviesen la madera y el perfil de acero o pernos.

Figura 27. Conexión con ménsula metálica oculta y pernos o tarugos auto-perforadores

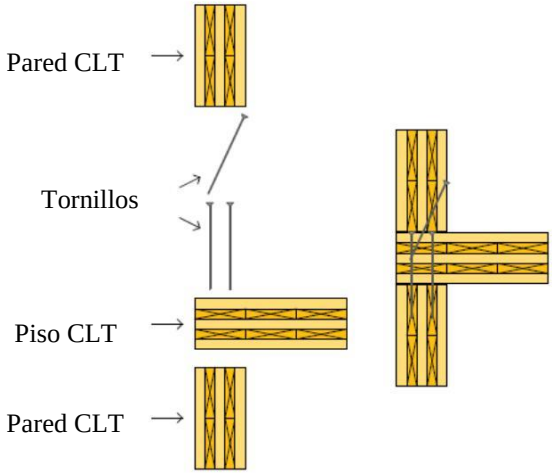


Fuente: FPInnovations, AWC, 2013

3) Pared a piso. Existe variedad de conexiones para unir las paredes a la losa de entrepiso siguiente o las paredes del piso de arriba a la losa. Las uniones varían dependiendo del sistema constructivo que se esté utilizando. En esta sección se describirán únicamente las conexiones aptas para el sistema constructivo de plataforma.

a) Tornillos auto-roscantes: El método más fácil para hacer esta conexión es utilizar tornillos auto-roscantes para conectar directamente los paneles de pared con los de piso. Los tornillos pueden introducirse con un ángulo para reforzar la conexión del panel. Cuando se realiza la conexión de la pared de un piso arriba hacia el piso, si la longitud de los tornillos es la suficiente puede llegar a la pared de abajo incrementando así la resistencia y rigidez de la conexión entre los tres elementos.

Figura 28. Conexión pared a piso con tornillos auto-roscantes



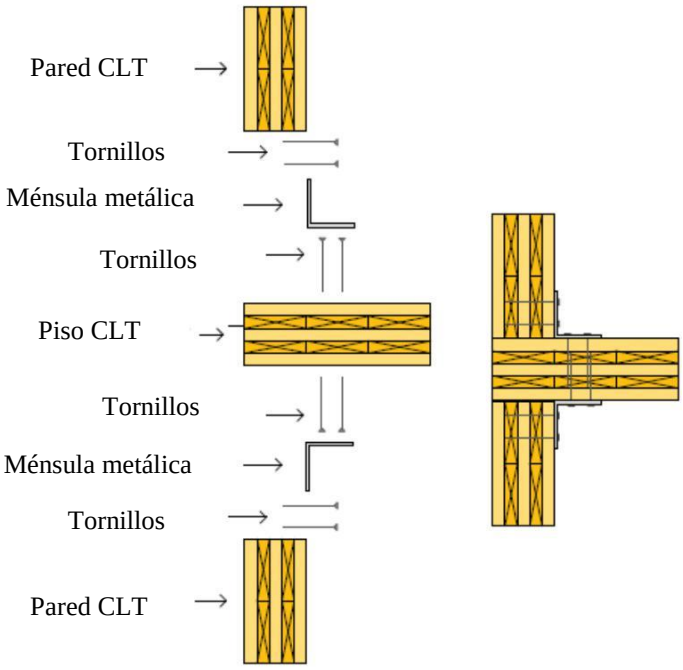
Fuente: FPInnovations, AWC, 2013

b) Ménsulas metálicas: Las ménsulas también pueden ser utilizadas para este tipo de conexión, debido a su facilidad de instalación y la capacidad que estas tienen para transferir las cargas laterales de los diafragmas a los muros de corte. Para conectar las ménsulas a la madera se pueden usar clavos o tornillos. La desventaja de este método, nuevamente, es la estética.

Figura 29. Ménsula instalada conectando pared con piso.

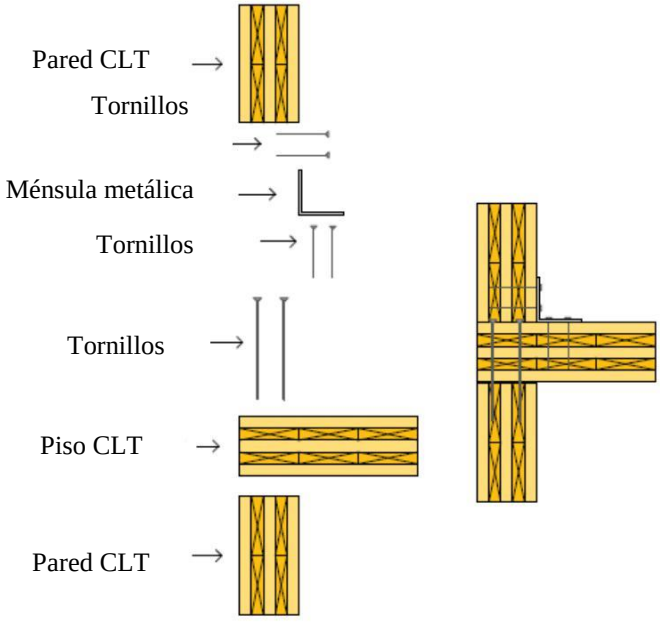
Fuente: FPInnovations, AWC, 2013

Figura 30. Conexión pared a piso con doble ménsula metálica.



Fuente: FPInnovations, AWC, 2013

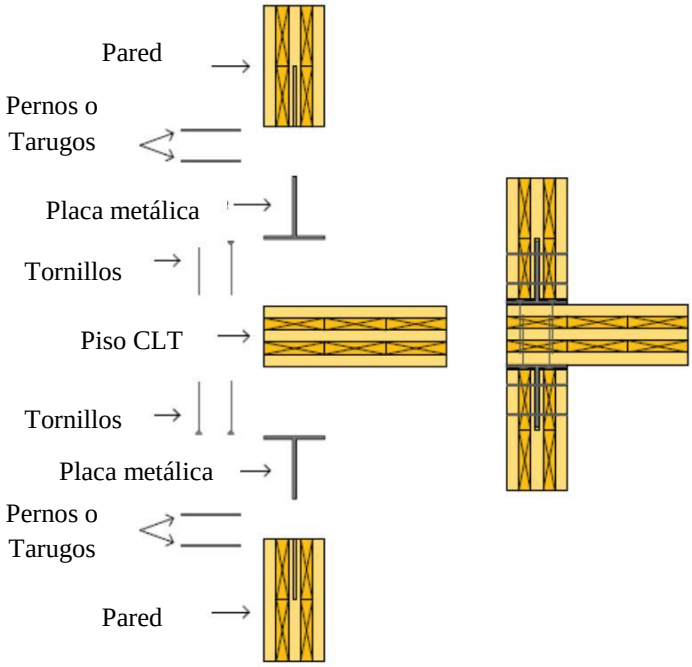
Figura 31. Conexión pared a piso con ménsula metálica en un solo nivel.



Fuente: FPInnovations, AWC, 2013

c) Perfil metálico oculto: Al igual que en la conexión pared a pared, las ménsulas pueden quedar ocultas para protegerlas del fuego y del óxido. La desventaja de esta conexión es la misma, la prefabricación del panel debe ser exacta para que las piezas encajen correctamente.

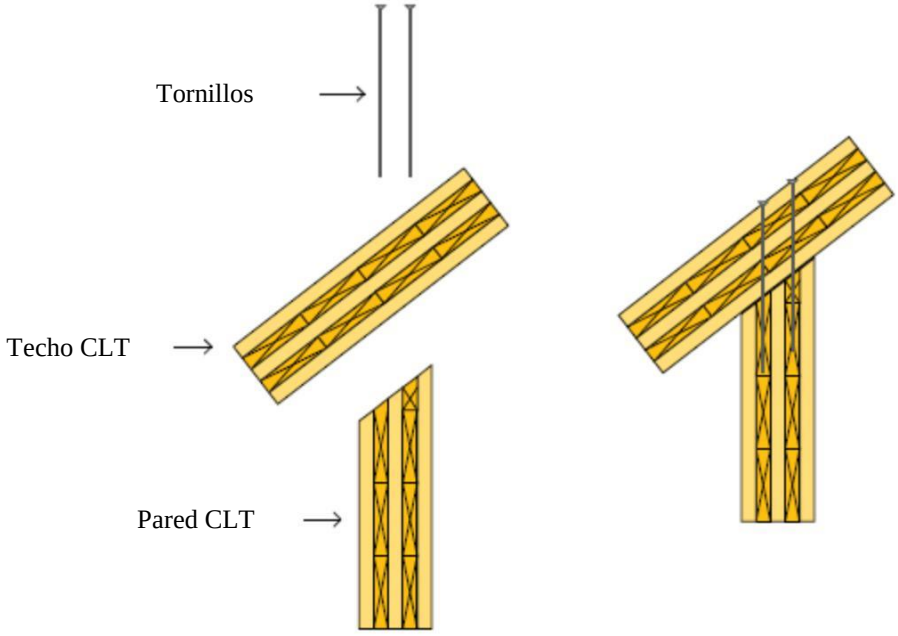
Figura 32. Conexión pared a piso con ménsula metálica oculta y pernos o tarugos.



Fuente: FPInnovations, AWC, 2013

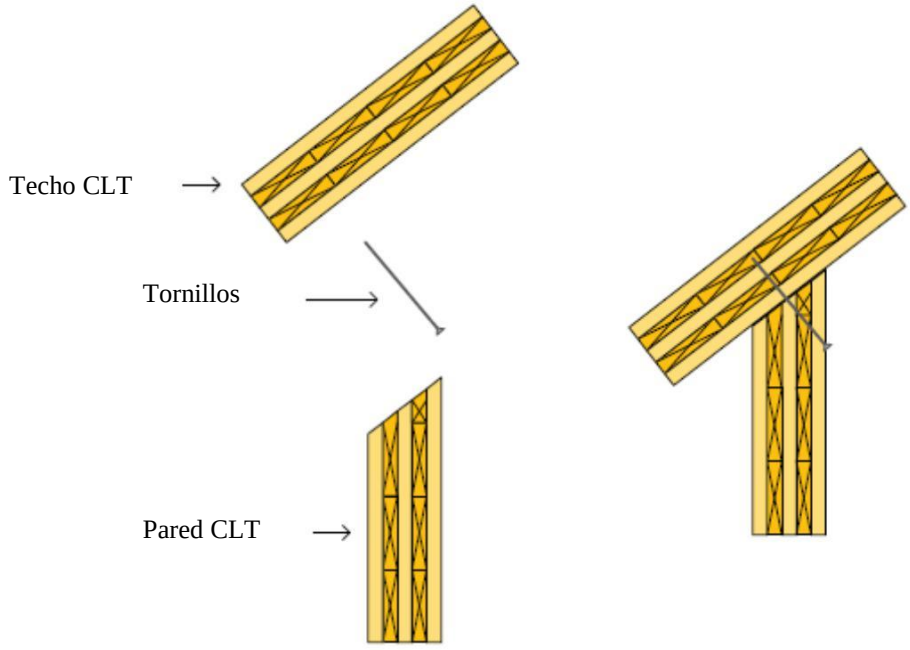
4) Techo a pared. Este tipo de conexión es muy similar a la de pared con piso. Se pueden utilizar ménsulas metálicas y tornillos auto-roscantes directamente. No existe limitante con el ángulo de inclinación del techo. Los tornillos pueden instalarse con un ángulo y las ménsulas pueden fabricarse con el ángulo deseado de instalación.

Figura 33. Conexión techo a pared con tornillos sin ángulo.



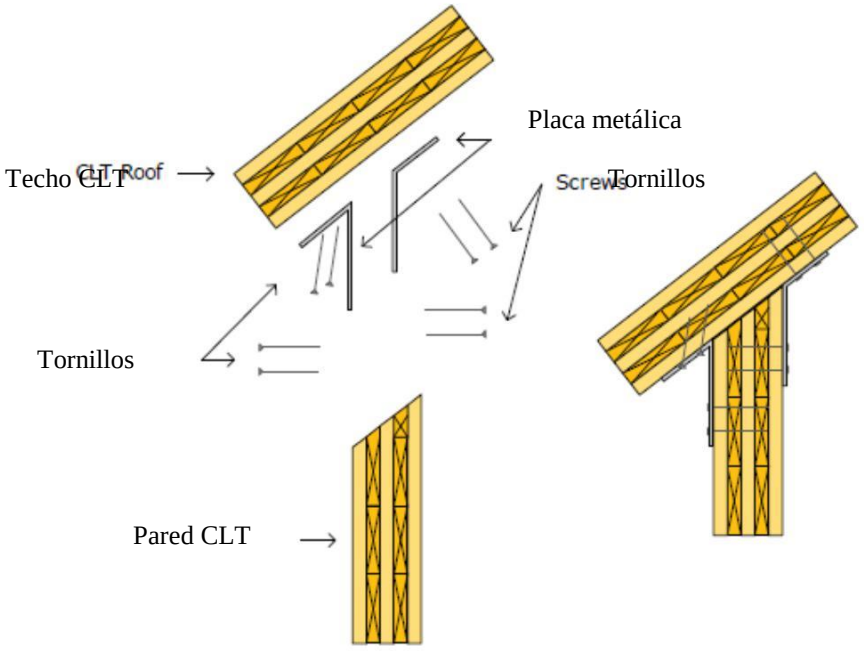
Fuente: FPInnovations, AWC, 2013

Figura 34. Conexión techo a pared con tornillos angulados.



Fuente: FPInnovations, AWC, 2013

Figura 35. Conexión techo a pared con ménsula metálica y tornillos



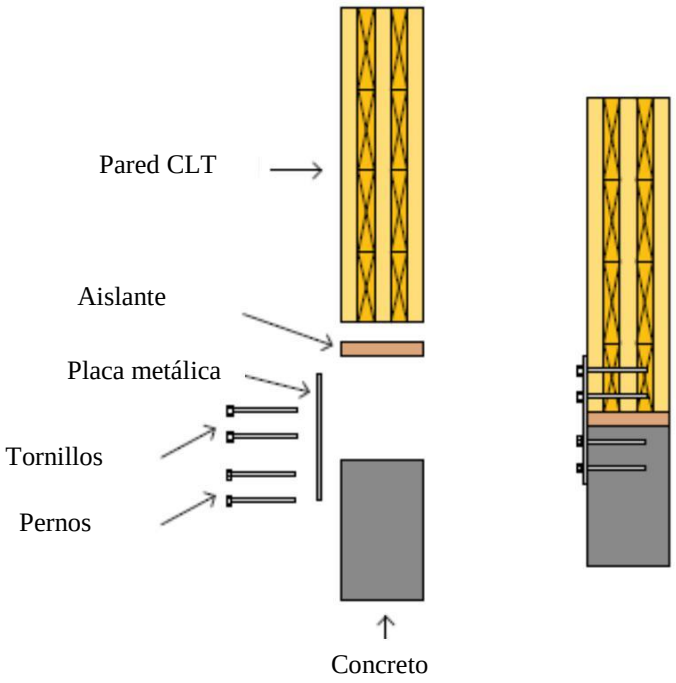
Fuente: FPInnovations, AWC, 2013

5) Pared a cimientos. La conexión de las paredes al cimiento de la estructura es importante y hay que ponerle la atención debida. Aquí es donde se conectará la estructura de madera a los cimientos que la deben soportar. Usualmente los cimientos estarán fabricados de concreto. Al igual que en las conexiones anteriores, esta puede ser realizada con ayuda de ménsulas y perfiles metálicos a la vista y ocultas. También se pueden utilizar perfiles de madera dura o estructural. Un detalle que es de suma importancia cuando se conectan las paredes al cimiento es el aislamiento de la madera con la humedad.

El agua puede afectar a la madera y esta pierde durabilidad. Por la cercanía del suelo en este nivel, hay que aislar de manera correcta las paredes de madera. Para lograr esto se pueden utilizar distintos materiales como madera tratara y de alta durabilidad, papel asfaltico o madera conglomerada estructural.

a) Perfiles metálicos expuestos. El uso de piezas metálicas para conectar las paredes a los cimientos es de los métodos más utilizados debido a su facilidad de instalación. Es importante que los metales usados sean de acero inoxidable o galvanizados para prevenir la corrosión de los mismos. La conexión entre el metal y el concreto se puede realizar con tornillos para concreto o pernos instalados con maquinaria de fijación directa. Para la conexión entre metal y madera se puede realizar con tornillos o pernos.

Figura 36. Conexión pared a cimiento con placa metálica.

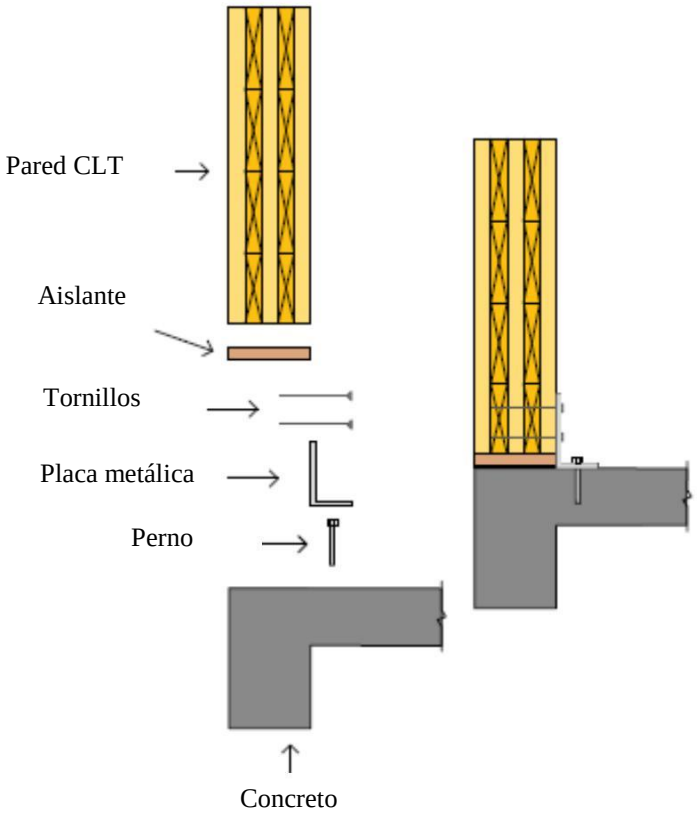


Fuente: FPInnovations, AWC, 2013

Figura 37. Conexión pared a cimiento con placa metálica en obra

Fuente: FPInnovations, AWC, 2013

Figura 38. Conexión pared a cimiento con ménsula metálica interna



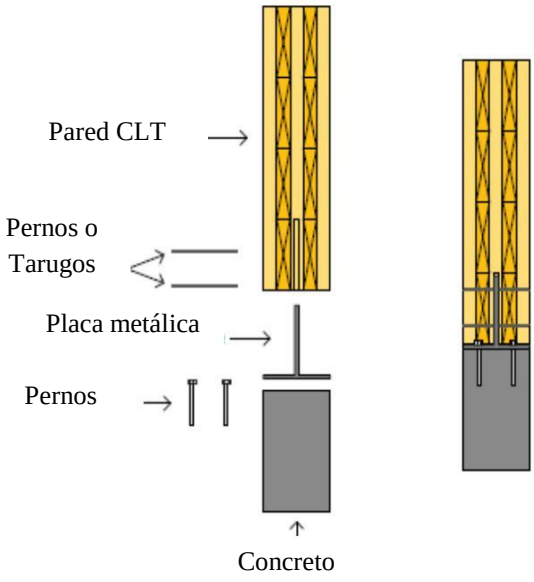
Fuente: FPInnovations, AWC, 2013

Figura 39. Conexión pared a cimiento con ménsula metálica interna instaladas en obra.

Fuente: FPInnovations, AWC, 2013

b) Perfiles metálicos ocultos. Por cuestiones estéticas y de mejor resistencia al fuego, los diseñadores prefieren ocultar la conexión a la cimentación. Este tipo de conexión es parecido a los mencionados anteriormente. Es necesaria maquinaria precisa para dejar la madera preparada para la conexión. Para unir las piezas se pueden utilizar tarugos o pernos, también se pueden usar pernos capaces de penetrar la madera y el metal.

Figura 40. Conexión pared a cimiento con perfil metálico oculto.



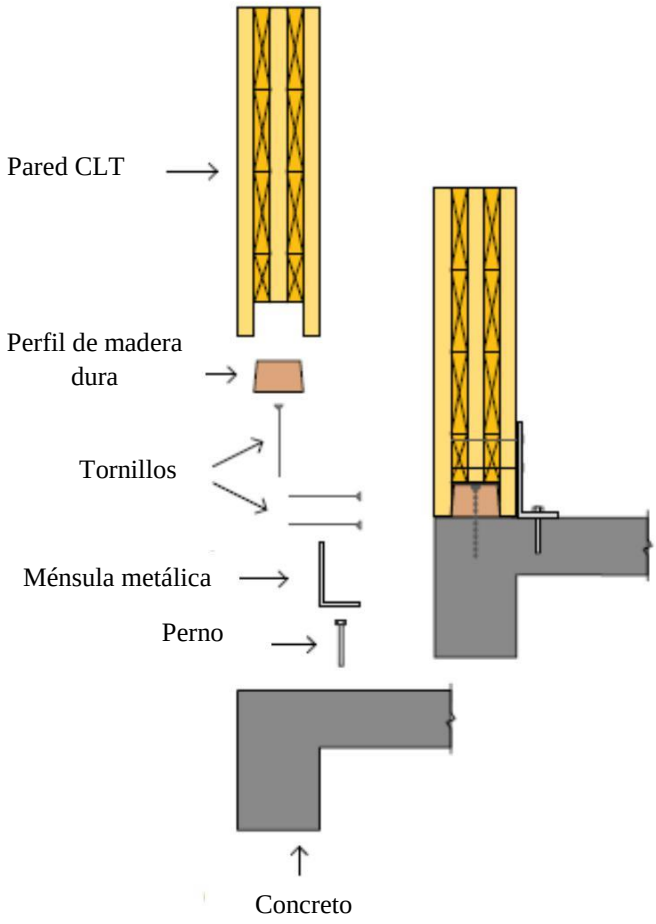
Fuente: FPInnovations, AWC, 2013

Figura 41. Conexión pared a cimiento con perfil metálico oculto en obra.

Fuente: FPInnovations, AWC, 2013

c) Perfiles de madera. Al igual que los perfiles metálicos ocultos, una solución más estética para la conexión pared a cimientos es utilizar perfiles de madera. Estos perfiles deben estar hechos de madera de alta densidad y gran durabilidad o madera estructural. La unión entre el perfil de madera y el panel de CLT se puede realizar con tornillos para madera y pegamento estructural. Para darle resistencia a cargas laterales, estos perfiles se utilizan en combinación con ménsulas metálicas. Los perfiles de madera pueden tener variedad de formas y son fáciles de instalar.

Figura 42. Conexión pared a cimiento con perfil de madera y ménsula metálica.

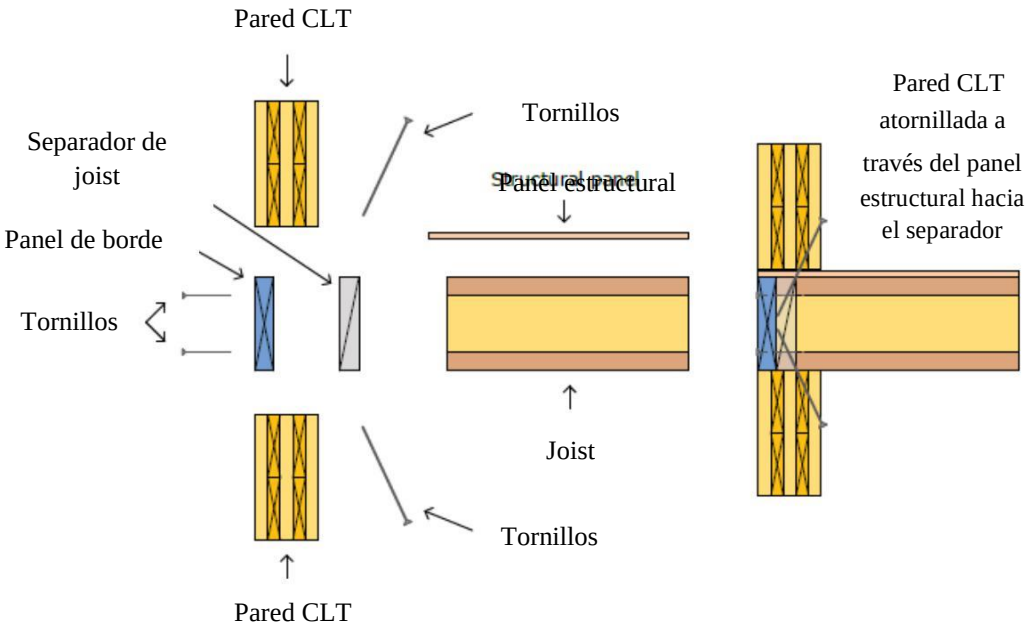


Fuente: FPInnovations, AWC, 2013

6) Conexiones en sistemas híbridos. La utilización de otros productos de madera, como la madera laminada, es común en combinación con el CLT. Esto se debe a que se busca optimizar la estructura y aprovechar las bondades de cada tipo de elemento. Debido a lo común que es la utilización de otros materiales en combinación con el CLT, fue necesario especificar ciertos tipos de conexiones que resistan y transfieran de manera eficiente las cargas de la estructura.

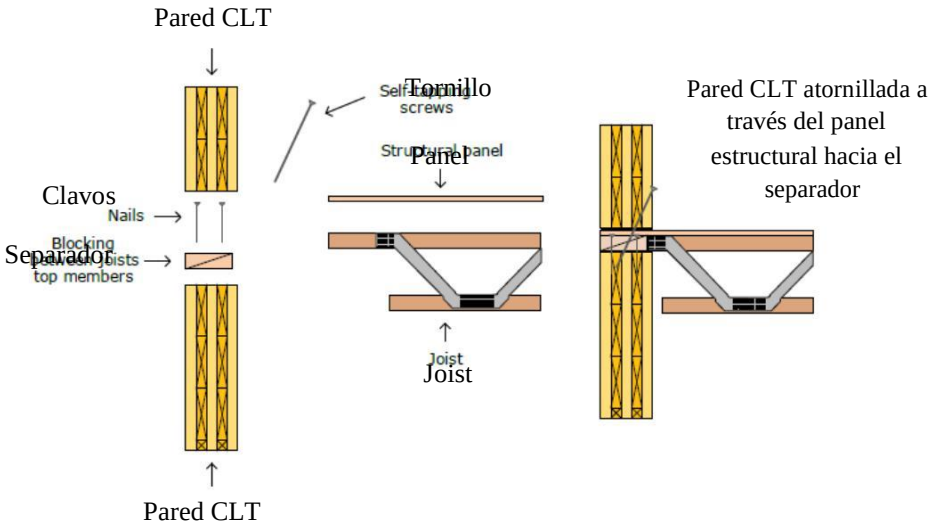
Usualmente se utilizan pedazos de madera estructural para colocar entre el panel de CLT y el elemento estructural de otro tipo. Esto con el objetivo de que se transfieran las cargas verticales y laterales de la pared del piso superior a los pisos inferiores. Dos de los tipos de conexión más utilizados se pueden observar en las Figuras 43 y 44.

Figura 43. Conexión entre paneles de CLT y una viga tipo *joist.*



Fuente: FPInnovations, AWC, 2013

Figura 44. Conexión entre paneles de CLT y una viga tipo *joist.*



Fuente: FPInnovations, AWC, 2013

4. Análisis numérico de las conexiones. Debido a que los paneles CLT tienen láminas contra laminadas de madera, los elementos conectores están sometidos a diferentes esfuerzos dependiendo de la dirección de la carga. Según estudios realizados en Europa, cuando los pernos, tarugos o tornillos son de diámetro grande (igual o mayor a 6 mm), la dirección de la carga en relación con la dirección de la fibra de la madera afecta en el modo de falla de la conexión. Por esta razón hay que tener consideraciones especiales para conexiones que utilicen elementos de diámetro grande. Esto no ocurre con los elementos conectores de diámetro pequeño.

Para los conectores esbeltos o de diámetro pequeño, el modo de falla que domina, por lo general, es el de fluencia. Sin embargo pueden ocurrir modos de falla en la madera, por lo que hay que comprobar el estado límite de la madera cuando se diseñan las conexiones. Estos modos de falla de la madera ocurren con mayor frecuencia cuando la carga es aplicada paralelamente a la fibra de la madera y el panel es delgado. Por otra parte, cuando la carga era aplicada perpendicularmente a la fibra de la madera los elementos conectores mostraban gran ductilidad, como se puede observar en la Figura 43.

Figura 45. Falla dúctil en tornillos auto roscantes en una conexión de medio traslape

Fuente: FPInnovations, AWC, 2013

a. Conexiones para carga lateral. Debido al extenso uso de CLT en Europa, se han realizado varios estudios para conocer el comportamiento del mismo. Las conexiones son parte esencial en la resistencia y el buen comportamiento de la estructura ante un evento sísmico. Por esta razón, se realizaron estudios de las conexiones trabajando a corte para crear una metodología de cálculo para establecer la capacidad de transferencia de carga de la conexión con tarugos perpendiculares a la dirección del panel. Estos estudios utilizaron diferentes tipos de tarugos, diferentes tipos de paneles de CLT y diferente ángulo de carga relativo a la fibra de la madera. Los resultados de estos estudios sugieren que las ecuaciones que definen el comportamiento de las conexiones son similares a las del NDS con ligeras modificaciones.

1) Conectores colocados perpendicularmente al plano del panel. Como se explicó previamente, el tamaño de los elementos conector afecta la capacidad del mismo para soportar carga. Es por esta razón que existen diferentes factores para calcular la resistencia de un conector. Para los conectores con diámetro igual o mayor que 6 mm, la resistencia del elemento se calcula de la siguiente manera:

a) Paralelo a la fibra para la lámina del panel en el plano de corte

$$| = 11200$$

b) Perpendicular a la fibra para la lámina en el plano de corte

$$_{\perp} = 6100^{1.45\ -0.5}$$

$$| = :$$

$$( )$$

$$_{\perp} = ( ) = í \quad = \quad á \qquad ó$$

Para el caso de los conectores de menos de 6 mm de diámetro, la capacidad del conector se calcula con la siguiente ecuación, la cual aplica para cualquier dirección de la carga.

$$= 16{,}600^{\ 1.84}$$

$$:$$

$$= á \quad 6 ( ) = í$$

2) Conectores colocados en el lado delgado del panel. El caso más crítico de conexión se da cuando el elemento conector es insertado en el lado delgado del panel. Por esta razón, es necesario ajustar la capacidad del conector para este tipo de conexión. Para conectores con diámetro igual o mayor a 6 mm la capacidad portante del elemento debe reducirse a 0.55 $_{\perp}$. Para conectores con diámetro menor a 6 mm, se debe utilizar 0.67 , sin importar la dirección de la fibra del elemento penetrado para ambos casos.

3) Conexiones con riesgo de retracción del conector. Se han realizado estudios para conocer la resistencia a la retracción de tornillos auto roscantes. El estudio se hizo con tornillos de diámetro grande (6 mm hasta 12 mm). La conexión fue colocada en la junta entre dos elementos de la misma lámina y en la

junta entre láminas, para probar el caso más crítico. Al comparar los resultados del estudio con las ecuaciones proporcionadas por el NDS, se concluyó que las ecuaciones de esta especificación para tornillos y clavos son aplicables también para CLT y son las siguientes:

Tornillos de cabeza plana hexagonal:

$$= 1800^{\,3/2}\ ^{3/4}$$

Tornillos para madera:

$$= 2850^{\,2}$$

Clavos lisos:

$$= 1380^{\,5/2}$$

Clavos con anillos:

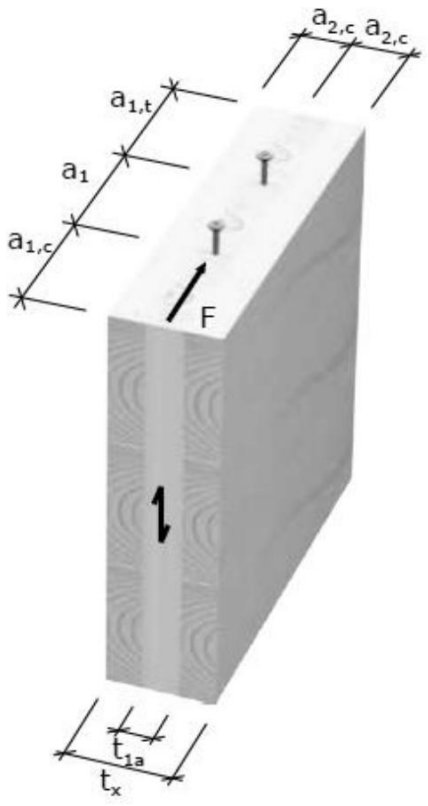
$$= 1800^{\,2}$$

Donde:
W = valor de diseño de retracción (lb) por pulgada de penetración
G = gravedad específica mínima de la madera
D = diametro (in) del conector

b. Colocación de las conexiones. El NDS establece requerimientos mínimos para el espaciamiento en las filas y entre filas de los elementos conectores con diámetros iguales a mayores a 6 mm. En el comentario del NDS se dan recomendaciones para conexiones con elementos delgados, es decir, con diámetro menor a 6 mm. Estas recomendaciones se pueden utilizar conservadoramente para paneles de CLT, ya que el interlaminado fortalece las conexiones perpendiculares al plano del panel. Sin embargo, para las conexiones en el lado delgado del panel, hay que tomar consideraciones importantes.

Debido a la importancia de conocer el comportamiento de los conectores en los lados delgados de los paneles, se realizaron estudios para conocer los modos de falla y el comportamiento de los paneles. En base a estos estudios, se desarrollaron requerimientos mínimos para el espaciamiento de tornillos auto roscantes y tarugos. Esto es necesario para asegurar que el conector desarrolle toda su fuerza resistente y no exista falla por rompimiento de la madera. Las recomendaciones de la colocación de los conectores se especifican en la Tabla 3 y en la Figura 44 a continuación.

Figura 46. Colocación de los conectores en el lado delgado del panel



Fuente: FPInnovations, AWC, 2013

Tabla 7. Distancias mínimas para colocación de conectores

Conector	$a_{1,t}$	$a_{1,c}$	a_1 (en el plano)	$a_{2,c}$	a_2 (perpendicular al plano)
Tarugo	5 d	3 d	4 d	3 d	3 d
Perno	5 d	4 d	4 d	3 d	4 d
Tornillos auto roscantes	12 d	7 d	10 d	5 d	3 d

Fuente: American Wood Council, 2015

c. Sistema de secciones laminadas. El sistema estructural de paneles de madera laminada depende mucho de las conexiones entre elementos. Debido a que los paneles de piso tienen que actuar como diafragma y las paredes deben resistir las fuerzas laterales es de suma importancia que las conexiones estén diseñadas para soportar las demandas de carga. Las conexiones juegan un papel importante en el diseño ya que de ellas depende mucho la resistencia, rigidez, estabilidad y ductilidad de la estructura. Luego de un sismo u otro desastre natural de gran tamaño, se ha observado que la mayoría de fallas estructurales ocurren debido a un mal diseño o instalación de las conexiones. Además, la eficiencia constructiva depende en gran parte en la facilidad que exista para conectar los elementos entre sí.

El sistema constructivo más eficiente para los paneles de madera es el de plataforma. En este método, los paneles de piso descansas directamente encima de los paneles de pared, creando una plataforma para los pisos que le sigan. Este es el sistema más utilizado debido a que trae beneficios como: simplifica el trabajo de construcción, se pueden utilizar conexiones simples entre elementos y el camino de la carga está bien definido.

1) Sistemas de conexión. El método de paneles de madera laminadas es semejante al sistema de paneles CLT, por consecuente muchos aspectos y recomendaciones fueron tomadas del sistema CLT. Muchas de las recomendaciones y cálculos para las conexiones fueron hechas en base al Handbook del CLT, ya que el sistema es muy parecido. Actualmente existe variedad de elementos y detalles que pueden ser utilizados para establecer las conexiones necesarias entre paneles de madera laminada e incluso madera con otros materiales como el concreto y el acero. Los fabricantes de CLT recomiendan el uso de tornillos sin encaminamiento o auto-roscantes y son los más utilizados para conectar los elementos. Sin embargo existen otros elementos como los tornillos para madera, clavos, tarugos y pernos también pueden ser utilizados efectivamente para realizar las conexiones. Además, se están realizando estudios para otros tipos de conexión innovadores como los pernos previamente pegados y las placas de corte para poder integrarlos a las construcciones en CLT en un futuro.

Se utilizó el manual de tornillos de la empresa Rothoblaas especializada en equipo de construcción en madera. Este catálogo tiene como opciones tornillos estructurales así como de carpintería. Se fueron seleccionando según las características de conexión y capacidad.

a) Tornillos sin Encaminamiento. Los tornillos sin encaminamiento o auto-roscantes son muy populares en las construcciones de estructuras de madera en Europa y América. La fácil instalación y la alta resistencia lateral y de retracción los hacen muy efectivos para conectar elementos, ya que son capaces de soportar cargas axiales y laterales combinadas. Estos tornillos vienen en diferentes tamaños y longitudes, pueden llegar a los 14 mm de diámetro y 1 metros de longitud. Una de las mayores ventajas de estos

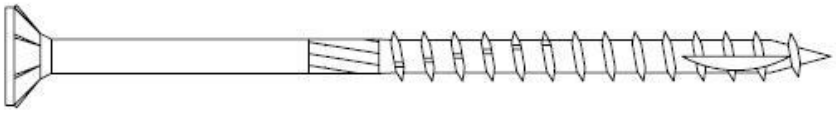
elementos es que no es necesario perforar previamente el agujero. Esto hace que la instalación sea más rápida en comparación con los tornillos tradicionales.

Se utilizó una empresa Europea multi-nacional llamada Rotho Blaas que ya posee sedes en Latinoamérica, esta es especializada en todo tipo de conexiones para estructuras de madera. La misión de Rotho Blaas es la de proponer soluciones para la mejora en la construcción de edificio/estructuras de madera, a través de la investigación y desarrollo de producto técnico con la finalidad de mejorar la calidad de vida y la sostenibilidad ambiental. (Rotho Blaas, 2015)

Algunos de los tornillos que se utilizaran en el diseño de esta casa de paneles de madera laminada son los siguientes:

b) HBS. Este es un tornillo de cabeza avellanada de acero al carbono zincado galvanizado. Este tipo de tornillo tiene un módulo de elasticidad igual a 145ksi lo que lo hace un tornillo dúctil a la hora de recibir carga ya sea a corte o tracción. Estos tornillos poseen una gran capacidad a corte debido al ángulo de estrías que poseen. Debido a la cabeza avellanada garantizan un gran acabado superficial. Poseen una punta especial para el fácil atornillado.

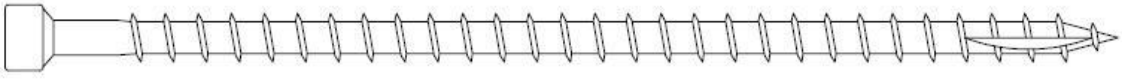
Figura 47. Tornillo HBS



Fuente: Manual de Tornillos Rothoblaas, 2015

c) VGZ. Este es un tornillo de conector total con cabeza cilíndrica. Es de acero al carbono con zincado galvanizado. Este tipo de tornillo tiene un módulo de elasticidad igual a 145ksi lo que lo hace un tornillo dúctil a la hora de recibir carga ya sea a corte o tracción. Una de las propiedades importantes del tipo de cabeza cilíndrica es que se puede esconder dentro de la madera para que no se mire el tornillo. Es un tornillo de rosca completa lo cual es lo ideal para conectar dos paneles de madera que van a tener fuerza a tracción.

Figura 48. Tornillo VGZ

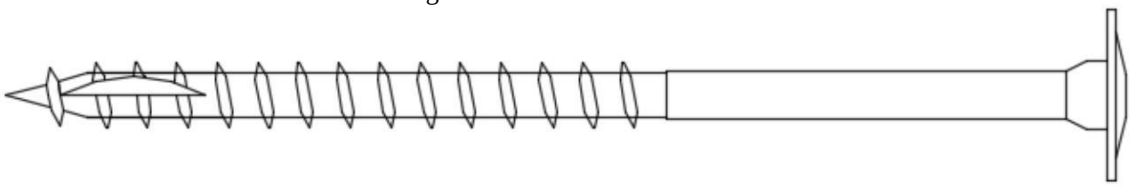


Fuente: Manual de Tornillos Rothoblaas, 2015

TBS

d) TBS. Este tornillo es de cabeza ancha, garantiza una elevada resistencia a la tracción. Es de acero al carbono con zincado galvanizado. Este tipo de tornillo tiene un módulo de elasticidad igual a 145ksi lo que lo hace un tornillo dúctil a la hora de recibir carga ya sea a corte o tracción. La cabeza ancha permite una elevada capacidad de cierre de la unión; el diámetro de la cabeza es optimizado en función de la longitud de la rosca.

Figura 49. Tornillo TBS



Fuente: Manual de Tornillos Rothoblaas, 2015

5. Duración de la carga y deformaciones. Cualquier obra de infraestructura se diseña para cierto número de años, es decir su vida útil. Durante este periodo de tiempo, e incluso superado este intervalo, la estructura debe mantener su integridad y brindar el servicio para el cual fue destinada. Por esta razón, se debe tomar en cuenta la duración de las cargas que estarán presentes y las deformaciones a largo plazo que puedan sufrir los elementos. Actualmente no existen factores para ajustar la duración de las cargas en sistemas constructivos que utilicen CLT debido a la reciente introducción del sistema en diversos mercados.

Para tomar en cuenta estos efectos, se utilizan los factores y parámetros normalmente utilizados para la madera. Estos factores se obtuvieron en base a ensayos y derivaron en la Curva de Madison. Esta curva muestra la relación entre la resistencia flexionante de la madera y la duración de la carga. Algunos de estos ensayos duraron más de diez años, por lo que realizarlos nuevamente para el CLT no sería práctico. Entonces, para tomar en cuenta el efecto de las cargas sobre los elementos de CLT se utilizan los factores del NDS. Es importante saber que esta especificación de diseño no toma en cuenta la humedad de la madera. Por esta razón, al utilizar los factores que a continuación se presentan se asume que los paneles de madera están secos (humedad menor al 16%).

Para el diseño ASD, se utiliza un factor Cd especificado en el NDS para seis diferentes categorías: permanente, diez años, dos meses, siete días, diez minutos y fuerzas de impacto. Estos valores se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8. Factores de duración de carga para diseño ASD

Duración de la carga	Cd	Cargas típicas de diseño
Permanente	0.9	Carga muerta
Diez años	1.0	Carga viva de ocupación
Dos meses	1.15	Carga de nieve
Siete días	1.25	Carga de construcción
Diez minutos	1.6	Viento y Sismo
Impacto	2.0	-

Fuente: American Wood Council, 2015

Para el diseño LRFD, como se especificó en la sección de factores de ajuste para la madera, este factor es representado con la letra griega lambda (λ) y es 0.8. El CLT se incluyó como material constructivo en el NDS 2015 por primera vez. Esto permite utilizar factores de ajuste específicos para este material, a diferencia de años anteriores en donde se debían asumir factores de otros materiales similares.

6. Vibración. La vibración es un factor que hay que considerar como diseñador únicamente como requisito de comodidad para el usuario. Es importante que la vibración producida por los pasos de las personas no sea sentida por otras personas. El CLT es un material diferente a la construcción en madera tradicional, pues sus propiedades de peso y frecuencia de vibración son distintas. Según estudios realizados sobre vibración en suelos de CLT por FPInnovations el peso varía entre 30 kg/ft2 y 150 kg/ft2 con una frecuencia natural debajo de los 9 Hz. De acuerdo a estudios realizados por SINTEF, una organización noruega dedicada a la investigación, sobre vibración en losas de CLT el diseño propuesto por FPInnovations para sistemas de vigas y losas se apega bastante bien al comportamiento del CLT.

El *CLT Handbook* propone un método de diseño basado en los estudios de FPInnovations, con ciertas modificaciones, para controlar la vibración de losas con paneles CLT. Este método se basa en controlar la combinación de rigidez longitudinal y la masa de los sistemas de piso para contrarrestar la vibración en las losas. Este concepto resulto en una ecuación para calcular directamente la vibración en los pisos de CLT. Posteriormente los resultados fueron comparados con un software llamado *CLTdesigner* y estos fueron muy similares, lo que comprueba el buen funcionamiento de la ecuación. Por esta razón, el *Handbook* adopto este método de diseño para el control de vibraciones.

a. Fuerza de los pasos del usuario. Se han realizado diversos estudios (Reiner y Pernica, 1986; Ohlsson, 1991; Ebrahimpour *et al.,* 1994; Keer y Bishop, 2001) para conocer la naturaleza de la fuerza de los pasos de los humanos cuando se camina normalmente. Basándose en estos estudios, se puede concluir que la fuerza de un paso al caminar se compone de dos elementos, como describe Ohlsson (1991). El primer elemento o componente es una fuerza corta de impacto producida por el talón. La duración de esta fuerza

varía entre 30 ms hasta 100 ms, dependiendo en la condición de los materiales del piso y del calzado en contacto, del peso de la persona y de su forma de caminar. El otro componente es el ritmo de la caminata, esta es una serie de pasos que forman un tren de ondas armónicas en múltiplos de aproximadamente 2 Hz. (FPInnovations, AWC 2013)

b. Propiedades esenciales del CLT. Como ya se dijo anteriormente, las losas fabricadas con paneles de CLT difieren en comportamiento a los sistemas tradicionales de construcción en madera y aún más de los sistemas de losas de concreto. Esta diferencia se da debido a propiedades especiales del CLT, las cuales serán descritas a continuación:

1) Construcción. La construcción de pisos en madera convencional usualmente consiste en un sistema de vigas espaciadas a no más de 60 cm con un sobre piso instalado sobre las mismas. En cambio, el CLT es un sistema que no requiere vigas para soportar el piso. El panel soporta la carga y al mismo tiempo funciona como losa. En este aspecto el CLT es parecido a una losa de concreto. En comparación con el sistema de vigas, los elementos de CLT tienden a ser de menor peralte. Para cubrir la misma luz, un sistema de vigas puede requerir elementos aproximadamente 30% más peraltados que un sistema utilizando CLT.

2) Carga muerta. El sistema de paneles se encuentra en el medio entre el sistema convencional de madera con vigas y losas de concreto, en cuanto a peso se refiere. El ancho mínimo para paneles de piso es de 10 cm, por lo que el peso de un sistema de losa se encuentra entre 50 kg/m^2 y 150 kg/m^2. El sistema de piso con vigas tiene la ventaja de ser más liviano con un peso entre los 20 kg/m^2 a los 110 kg/m^2, dependiendo del acabo que se le aplique. En el otro extremo se encuentran las losas de concreto que normalmente tienen un peso arriba de los 200 kg/m^2.

3) Frecuencia natural. Debido al arreglo en el que los paneles son fabricados, las características vibratorias de los paneles del CLT tienen comportamientos únicos. Se ha encontrado que la frecuencia satisfactoria para pisos de paneles CLT estaba alrededor de los 10 Hz. Para los sistemas de tradicionales de madera, la frecuencia natural satisfactoria para las losas es de 15 Hz para pisos sin recubrimiento de concreto y de 10 Hz para losas que si cuentan con recubrimiento de concreto.

Los seres humanos son sensibles frecuencias vibratorias en el rango de 4-8 Hz. Por lo tanto, entre más alejado se esté de esta frecuencia en las losas menor será la sensibilidad a las vibraciones.

4) Amortiguamiento. Según estudios realizados por FPInnovations con pisos de CLT de 5 y 7 capas sin ningún tipo de acabado, el amortiguamiento de las vibraciones fue del 1%. Para los pisos tradicionales de madera con vigas el amortiguamiento se encuentra alrededor del 3%. El amortiguamiento es favorable para eliminar la vibración, pues es la capacidad de la losa a absorber la energía inducida por los

pasos o golpes que esta reciba. El amortiguamiento está determinado por el material y los detalles constructivos, incluyendo elementos estructurales y no estructurales.

c. Diseño de los pisos. El método de diseño para controlar las vibraciones de los pisos, basado en el modelo de FPInnovations, es aplicable para paneles de CLT bajo las siguientes situaciones:

Pisos con o sin sobre piso y con cielo falso

Sistema con una sola luz o varias luces

Vibraciones inducidas por caminata normal Pisos bien soportados

Paneles CLT bien conectados

Este método de diseño utiliza únicamente la carga muerta de la estructura en sus cálculos, ya que según el estudio de FPInnovations se encontró que la carga viva ayuda al desempeño del piso en cuanto a reducir la vibración. Además, debido a que la carga viva puede cambiar en el tiempo, no debe ser tomada en cuenta para el cálculo. El criterio que se utiliza para determinar si la vibración del piso es aceptable es la siguiente:

$$\overline{0.7} \geq 125.1$$

Donde:

f = frecuencia natural fundamental (Hz)
d = deflexión de una carga puntual estatica en el centro del claro de una viga (in)

Para poder usar el criterio de diseño anterior, se definen las ecuaciones para calcular la frecuencia natural fundamental del panel y la deflexión en el centro del claro de una viga bajo el efecto de una carga puntual.

$$2.188 = {}_2 2 \sqrt{}$$

Donde:

f = frecuencia natural de un panel de 1 ft de ancho simplemente soportado (Hz) l = longitud del claro a cubrir (ft)

Elapp = rigidez aparente de un panel de 1 ft de ancho ($lb - in^2$) ρ = gravedad especifica del CLT
A = area de seccion de un panel de 1 ft de ancho (in^2)

Para calcular la deflexión de una viga en el centro del claro debido a una carga puntual se utiliza la siguiente ecuación:

$$= \frac{1728\ ^{3}}{48} = 68.56$$

Estas ecuaciones surgen en base a los estudios realizados sobre la vibración de pisos de madera. En dichos estudios, la aceptación o no aceptación del piso era subjetiva, ya que era determinada por personas cuando estas caminaban sobre el mismo. Es decir, una parte del estudio fue subjetiva.

7. Cimentación. Para cualquier proceso constructivo que se realice, con cualquier tipo de estructura y material, uno de los primeros pasos a realizar y a tomar en cuenta es la cimentación.

a. ¿Qué es una cimentación? Es el elemento estructural que ayuda a transmitir las cargas de la edificación hacia el terreno, sobre el cual se proyecta construir. Además se encarga de distribuir estas cargas para que el suelo sea capaz de soportar la edificación. (Das, 1999)

Las cimentaciones son de los elementos más importantes en cualquier tipo de edificación, existiendo varios tipos. Por lo anterior se recomienda diseñar el cimiento más adecuado para la estructura que se desea construir.

b. Tipos de cimentación. Existen dos tipos de cimentación, llamados principales, con las cuales se puede trabajar, estas son las superficiales, las cuales consisten en la utilización de los estratos más cercanos a la superficie, y el otro tipo es el cimiento profundo, el cual consiste en utilizar los estratos de suelo más bajos para buscar un suelo que sea apropiado para las cargas que se desean transmitir. (Das, 1999)

1) Cimentaciones superficiales. Este tipo de cimentaciones se caracterizan por ser apoyadas en los estratos más superficiales de suelo, esto generalmente se debe, a que estos tienen la suficiente capacidad de soporte. (Das, 1999)

También se suelen utilizar cuando la estructura que se desea cimentar es liviana y por lo tanto no necesita un suelo con mucha capacidad para transmitir sus cargas. (Das, 1999)

En este tipo de cimentación se pueden clasificar las siguientes:

Zapatas aisladas.

Zapatas corridas.

Zapatas combinadas.

Losas de cimentación. (Das, 1999)

2) Cimentaciones profundas. Este tipo de cimentaciones se caracteriza porque se busca que sean apoyadas en los estratos más profundos del suelo a utilizar. Lo anterior se debe principalmente a que los niveles más altos no tienen buena capacidad de soporte. (Das, 1999)

Para que estas sean necesarias, generalmente se da cuando las edificaciones que se van a realizar son de pesos muy elevados y necesitan suelos muy estables para poder ser cimentadas. (Das, 1999)

En este tipo de cimentación se pueden clasificar las siguientes:

Pilotes

Micropilotes (se pueden considerar semi profunda) (Das, 1999)

c. Selección de la cimentación. Siendo la cimentación parte vital de cualquier estructura, es importante seleccionar la cimentación adecuada para la casa de madera que se propone. Por lo tanto hay que tomar en cuenta los aspectos de la misma.

Al ser el suelo muy variable, y debido a que esta es una propuesta, no se puede definir un suelo único para realizar este tipo de casas, si no que dependerá del lugar en donde se realizara la misma.

La casa se puede considerar una edificación liviana y tomando en cuenta el bajo peso de la misma, se puede utilizar cualquier tipo de cimentación deseado.

Según las características de la casa se proponen dos tipos de cimentación para utilizar en la obra. Estos son pilotes y losa de cimentación.

1) Pilotes. Este tipo de cimentación consiste en elementos constructivos tipo columna, que son utilizados para transmitir las cargas de la edificación hacia estratos más resistentes del suelo. (Das, 1999)

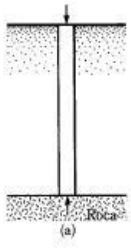
Estos son colocados estratégicamente para distribuir las cargas de la mejor manera posible. Se utilizan generalmente cuando las cimentaciones convencionales como losas o zapatas, son económicamente poco viables o representen mucho trabajo. (Das, 1999)

Estos son miembros estructurales hechos generalmente de acero, concreto o madera cuando se necesite una cimentación profunda. (Das, 1999)

En términos económicos suelen ser estas cimentaciones más caras que las cimentaciones superficiales, sin embargo su utilización es necesaria muchas veces para que se puede garantizar la seguridad estructural. (Das, 1999)

Existen diferentes situaciones en las que generalmente se recomienda utilizar cimentación con pilotes. La primera es cuando el estrato o los estratos superiores del suelo son compresibles o débiles para soportar las cargas transmitidas por la estructura construida. Por lo tanto se utilizan los pilotes para transmitir la carga a lechos rocosos o a estratos más duros como la siguiente imagen. (Das, 1999)

Figura 50. Uso de pilotes.



Fuente: Das. B, 1999

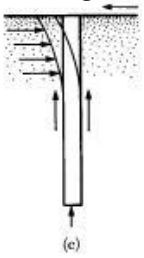
La resistencia a las cargas estructurales transmitidas se deriva principalmente de la fricción que genera el pilote con el suelo. (Das, 1999)

Figura 51. Fricción generada entre pilotes y el suelo.

Fuente: Das. B, 1999

Cuando estas estén sometidas a fuerzas horizontales, las cimentaciones con pilotes son capaces de resistir por flexión, mientras soportan las cargas verticales que transmite la estructura. Esta se da generalmente cuando se quieren hacer estructuras para retención de tierras o cuando se desea cimentar estructuras muy altas que puedan estar sometidas a grandes cargas de viento o incluso sismo. Lo anterior se puede observar en la siguiente imagen. (Das, 1999)

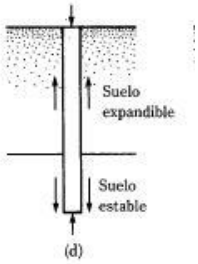
Figura 52. Pilotes con cargas laterales y verticales.



Fuente: Das. B, 1999

En muchas ocasiones se trabaja con suelos expansivos o colapsables en el sitio en el que se desea cimentar, estos además suelen extenderse a profundidades muy por debajo a la de la superficie del terreno. Los suelos expansivos suelen contraerse o hincharse según sea el contenido de agua, esta expansión es considerable. Por otro lado los suelos colapsables sufren de rupturas en su estructura cuando los contenidos de agua aumentan, por lo tanto los pilotes pueden ser una solución a esto si se extienden hasta estratos estables. (Das, 1999)

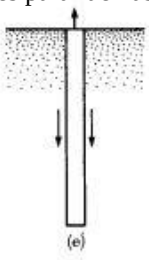
Figura 53. Pilotes en suelos expandibles o colapsables.



Fuente: Das. B, 1999

Algunas cimentaciones, en ciertas ocasiones son sometidas a fuerzas de levantamiento. En estas situaciones se suelen usar los pilotes para poder resistir estas fuerzas. (Das, 1999)

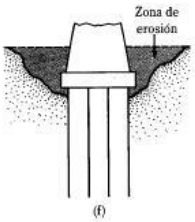
Figura 54. Pilotes para fuerzas de levantamiento.



Fuente: Das. B, 1999

Cuando los suelos superiores pueden llegar a sufrir erosión y por lo tanto disminuya su capacidad de carga, se suelen utilizar pilotes para evitar esa posible perdida. (Das, 1999)

Figura 55. Pilotes para zonas de erosión del suelo.



Fuente: Das. B, 1999

Tipos de pilotes:

En los trabajos de construcción que requieran una cimentación de pilotes, se puede utilizar diferentes tipos de los mismos, dependiendo el tipo de carga que se desea soportar, condiciones del subsuelo y la colocación del nivel freático. (Das, 1999)

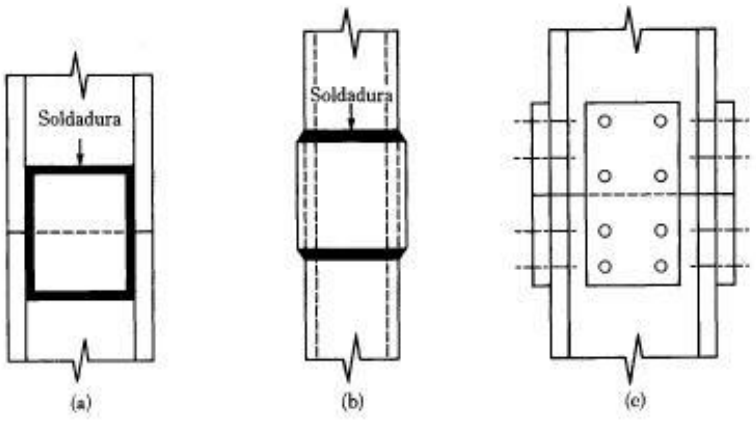
Los pilotes pueden ser de diferentes materiales los cuales se explican a continuación:

Pilotes de acero: Este tipo de pilote esta hecho generalmente a base de tubos o de perfiles H laminados. Los pilotes de tubo se tienen que hincar en el terreno con sus extremos abiertos o cerrados. (Das, 1999)

A pesar de que otro tipo de perfiles de acero pueden ser utilizados como cimentaciones de pilotes, se prefieren los perfiles H por el hecho de que los espesores de sus patines y almas son iguales. (Das, 1999)

Algunas veces es necesario que los pilotes se empalmen por medio de soldaduras, remaches o tornillos. (Das, 1999)

Figura 56. Tipos de empalme en pilotes de acero.

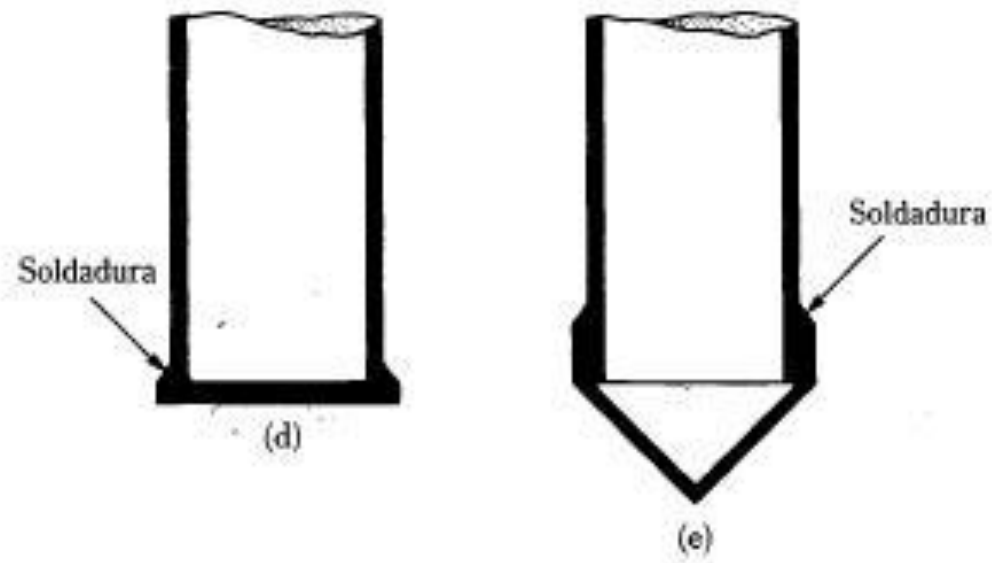


Fuente: Das. B, 1999

En las figuras a, b y c se puede observar un típico caso de empalme por soldadura remaches y tornillos respectivamente.

Cuando se tiene condiciones muy difíciles en el terreno que se está trabajando, como grava densa, lutitas o roca blanda, se deben de usar, adaptados con puntas o zapatas de hincado en los pilotes de acero. (Das, 1999)

Figura 57. Puntas de hincado de pilotes de acero.



Fuente: Das. B, 1999

Para los pilotes de acero, en ciertas circunstancias como pantanos, turbas o suelos orgánicos, se debe de tomar en cuenta la corrosión que puede llegar a sufrir la cimentación. Por lo tanto se pueden considerar las siguientes alternativas para evitarlo:

Considerar espesor adicional del acero.

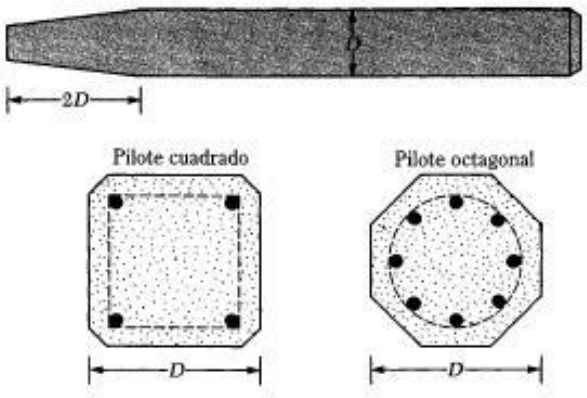
Recubrimiento epóxicos (aplicados en la fábrica).

Recubrimientos de concreto. (Das, 1999)

Pilotes de concreto: Dentro de este tipo de pilotes existen dos categorías, pilotes prefabricados y pilotes colados in situ. Los prefabricados se preparan utilizando refuerzo ordinario y generalmente son cuadrados y octagonales en su sección transversal.

El refuerzo en este tipo de cimentación se utiliza para que el pilote resista el momento flexionante que se puede llegar a desarrollar durante la manipulación y transporte. Para la carga vertical y el momento flexionante causados por cargas laterales, de igual manera colabora el refuerzo escogido.

Figura 58. Pilotes prefabricados.



Fuente: Fuente: Das. B, 1999

Este tipo de pilotes entrega una facilidad grande a la obra y es que estos son fabricados a longitudes deseadas por el constructor y además son curados antes de ser transportados al sitio de trabajo. (Das, 1999)

Por otro lado estos suelen ser preesforzados, utilizando cables de preesfuerzo de acero de alta resistencia. Esto con el fin de que se produzca una fuerza de compresión en la sección del pilote. (Das, 1999)

Por otro lado los pilotes colados in situ se construyen mediante la perforación de un agujero en el terreno y llenándolo de concreto. Luego existen dos amplias categorías de este tipo de pilotes. (Das, 1999)

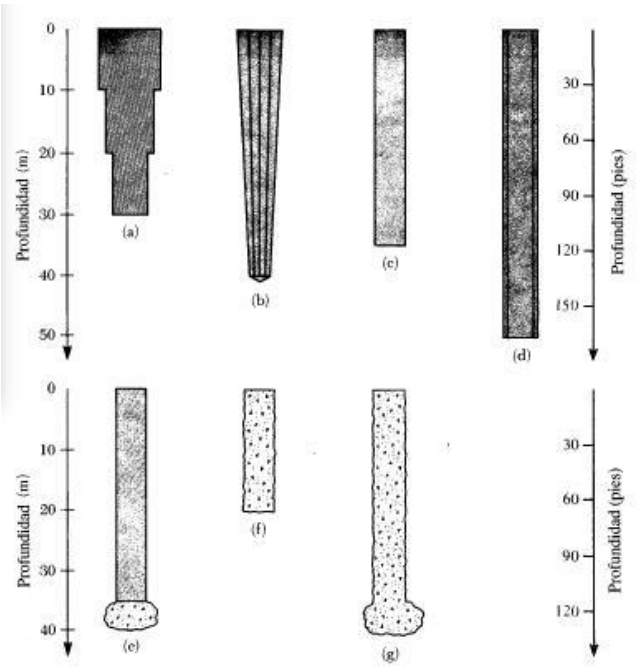
Los ademados consisten en que se hinca un tubo de acero en el suelo hasta alcanzar la profundidad deseada para luego llenarlo de concreto. (Das, 1999)

Por otro lado los pilotes no ademados se hacen al igual hincando el tubo a la profundidad deseada y se llena de concreto, con la diferencia de que el tubo se retira gradualmente. (Das, 1999)

La única diferencia es que el pilote ademado cuenta también con la resistencia del tubo de acero que permanece en el suelo con el concreto. (Das, 1999)

La siguiente imagen contiene diferentes tipos de pilotes de concreto colados *in situ.*

Figura 59. Pilotes colados *in situ*.



Fuente: Das. B, 1999

Pilotes de madera. Los pilotes de madera suelen ser troncos de árboles cuyas ramas fueron cortadas cuidadosamente. Estos pilotes suelen tener longitudes de entre 10m y 20m. Es importante tomar en cuenta que para que puedan ser calificados como pilotes, la madera debe de ser recta, sana y sin defectos. (Das, 1999)

El *Manual of Practice, No 17* de la *American Society of Civil Engineers* divide este tipo de pilotes en tres clases:

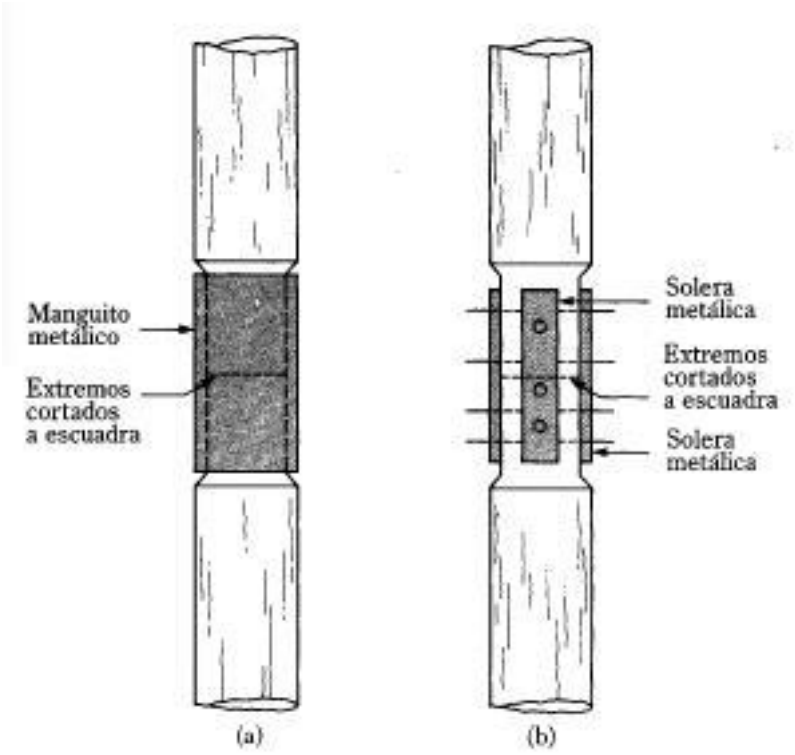
> Pilotes clase A: Estos pilotes son los que soportan cargas pesadas, suelen tener un diámetro mínimo de 14 pulgadas.
>
> Pilotes clase B: Estos se utilizan para tomar cargas medias, el diámetro mínimo de estos suele estar entre 12 y 13 pulgadas.
>
> Pilotes clase C: Se utilizan generalmente para trabajos provisionales de construcción, específicamente, cuando todo el pilote está por debajo del nivel freático y su diámetro mínimo debe ser de 12 pulgadas.

En cualquiera de los tres casos anteriores la punta del pilote no debe de bajar de 6 pulgadas de diámetro. Por otro lado se debe de tener cuidado que los pilotes de madera no pueden soportar tanto esfuerzo a la hora de ser hincados, por lo que hay que mantener su capacidad limitada a 25-30 toneladas. (Das, 1999)

Se recomienda también para utilizar los pilotes de madera, que se utilicen zapatas de acero para hincarlo con el fin de no dañar el pilote, además para no dañar la cabeza del mismo hay que utilizar bandas metálicas.

Aunque no es recomendable, si fuera necesario un empalme en un pilote de madera, se deben de utilizar manguitos de tubo o soleras metálicas con tornillos. El manguito debe de tener una longitud de por lo menos 5 veces el diámetro del pilote.

Figura 60. Empalmes en pilotes de madera.



Fuente: Das. B, 1999

Pilotes compuestos: Este tipo de pilote están hechos de diferentes materiales en sus porciones superiores e inferiores, por ejemplo pueden ser de acero y concreto o madera y concreto. (Das, 1999)

Este tipo de pilotes es utilizado generalmente cuando la longitud del pilote requerido es superior a la capacidad de un pilote simple de concreto colado in situ. (Das, 1999)

La siguiente tabla es muy útil para comparar todos los tipos de pilotes mencionados en la sección anterior.

Tabla 9. Comparación entre pilotes.

Tipo de pilote	Longitud usual del pilote	Longitud máxima del pilote	Carga usual	Carga máxima aproximada	Comentarios
Acero	50–200 pies (15–60 m)	Prácticamente ilimitada	67-270 klb (300–1200 kN)	Ec. (9.1)	*Ventajas* a. Fácil de manipular respecto al corte y extensión a la longitud deseada b. Resiste altos esfuerzos de hincado c. Penetra estratos duros como gravas densas y roca blanda d. Alta capacidad de carga *Desventajas* a. Material relativamente caro b. Alto nivel de ruido durante el hincado c. Susceptible a la corrosión d. Los pilotes H se dañan o deflexionan respecto a la vertical durante el hincado a través de estratos duros u obstrucciones mayores
Concreto prefabricado	*Prefabricado:* 30–50 pies (10–15 m) *Presforzado:* 30–150 pies (10–35 m)	*Prefabricado:* 100 pies (30m) *Presforzado:* 200 pies (60m)	67-675 klb (300–3000 kN)	*Prefabricado:* 180–200 klb (800–900 kN) *Presforzado:* 1700–1900 Klb (7500–8500 kN)	*Ventajas* a. Puede someterse a un fuerte hincado b. Resistente a la corrosión c. Combinable fácilmente con una superestructura de concreto *Desventajas* a. Difícil de lograr un corte apropiado b. Difícil de transportar
Concreto colado *in situ* ademado	15–50 pies (5–15 m)	100–130 pies (30–40 m)	45–115 klb (200–500 kN)	180 klb (800 kN)	*Ventajas* a. Relativamente barato b. Posibilidad de inspección antes de vertir el concreto c. Fácil de alargar *Desventajas* a. Difícil de empalmar después de colar b. Ademes delgados pueden dañarse durante el hincado
Concreto colado *in situ* no ademado	15–50 pies (5–15 m)	100–130 pies (30–40 m)	65–115 klb (300–500 kN)	160 klb (700 kN)	*Ventajas* a. Inicialmente económicos b. Pueden terminarse a cualquier elevación *Desventajas* a. Pueden generarse vacíos si el concreto se cuela rápidamente b. Difícil de empalmar después de colar c. En suelos blandos, los lados del agujero pueden desplomarse, comprimiendo el concreto
Madera	30–50 pies (10–15 m)	100 pies (30 m)	22–45 klb (100–200 kN)	60 klb (270 kN)	*Ventajas* a. Económico b. Fácil de manipular c. Los pilotes permanentemente sumergidos son bastante resistentes al deteriorarse *Desventajas* a. Deterioro arriba del nivel freático b. Pueden dañarse durante un hincado fuerte c. Baja capacidad de carga d. Baja resistencia a carga de tensión al estar empalmados

Fuente: Das. B, 1999

Es de suma importancia saber determinar la longitud del pilote que se va a utilizar. Luego de haber clasificado los pilotes por el material que los constituye, es necesario volver a dividirlos en tres nuevas categorías, las cuales se explican a continuación. (Das, 1999)

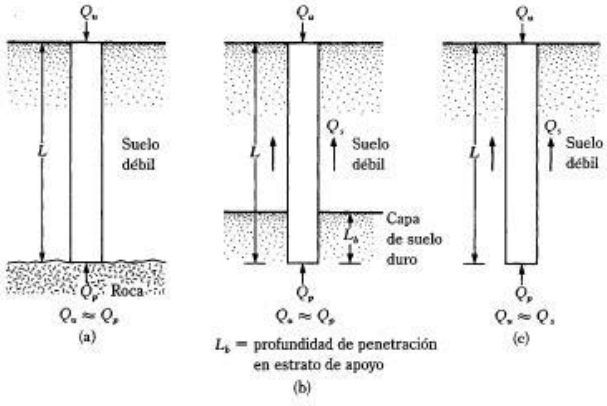
Pilotes de carga de punta: Si el estudio de suelos y registro de perforación establecen que hay presencia de lechos de roca o de materiales rocos a profundidades razonables que puedan interferir con la cimentación,

la capacidad última de los pilotes debe depender por completo de la capacidad de carga del material previsto. Entonces serán llamados pilotes de carga de punta. (Das, 1999)

Si en vez de lechos rocosos existe un estrato de suelo compacto y duro al igual, a profundidad razonable, el pilote debe prolongarse unos cuantos metros adentro de ese estrato. (Das, 1999)

Las longitudes de estos tipos de pilotes deben de estimarse con mucha precaución conociendo los estratos y sus profundidades, por eso es necesario tener los registros de exploración del subsuelo. (Das, 1999)

Figura 61. Comparación de pilotes de punta y fricción.



Fuente: Das. B, 1999

Pilotes de fricción: Cuando la distancia que hay desde el suelo hasta una capa de roca o material duro es bastante considerable, resulta muy poco económico utilizar pilotes de carga de punta. (Das, 1999)

Cuando existe este tipo de condición en el subsuelo, los pilotes se deben de hincar en el material más blando en ciertas profundidades. (Das, 1999)

Este tipo de pilotes se denominan pilotes de fricción, ya que la mayor parte de la resistencia que generan, se debe a la fricción que existe entre ellos y el suelo que lo rodea. Se debe de tomar en cuenta que en suelos arcillosos, la resistencia es generada también por adhesión. (Das, 1999)

Para definir la longitud de estos pilotes, hay que tomar en cuenta las siguientes condiciones.

La resistencia cortante del suelo.

La resistencia cortante de la carga aplicada. El tamaño del pilote. (Das, 1999)

Por lo tanto para determinar la longitud necesaria, se debe tener un buen entendimiento de la interacción que existe, entre el suelo y el pilote, además de un buen juicio y experiencia. (Das, 1999)

Pilotes de compactación: En algunas situaciones, los pilotes se hincan en suelos granulares con el fin de generar una compactación apropiada en el suelo cercano a la superficie, estos son denominados pilotes de compactación. (Das, 1999)

La longitud de estos pilotes depende de los siguientes factores.

La compacidad relativa del suelo antes de la compactación.

La compacidad relativa deseada del suelo después de la compactación.

La profundidad requerida de compactación. (Das, 1999)

Estos suelen ser cortos generalmente; sin embargo se deben realizar pruebas de campo para determinar una longitud razonable. (Das, 1999)

Otro aspecto importante, que hay que tomar en cuenta para la utilización de pilotes, como cimentación en la casa, es la instalación de los mismos.

Es cierto que la mayoría de los pilotes que se utilizan son hincados en el terreno por cualquiera de los medios adecuados como, martillos o hincadores vibratorios. Aún así hay que tomar en cuenta que en circunstancias especiales, los pilotes también pueden ser insertados con otros medios como chorro de agua a gran presión o barrenado parcial.

Los tipos de martillo más utilizados para la hincada de pilotes son.

Martillo de caída libre.

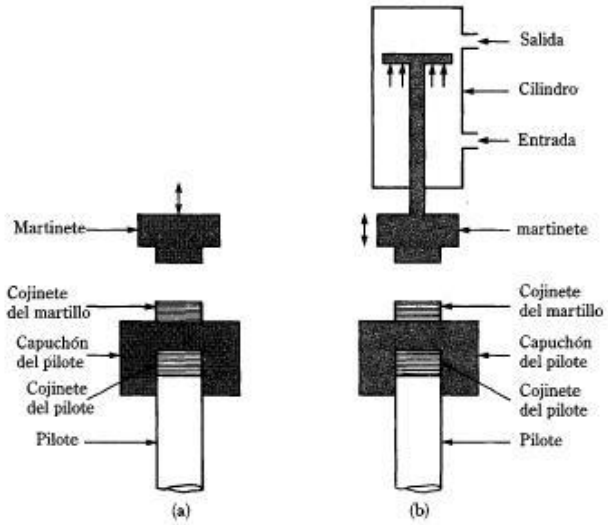
Martillo de aire o vapor de acción simple.

Martillo de aire o vapor de acción doble y diferencial.

Martillo diésel.

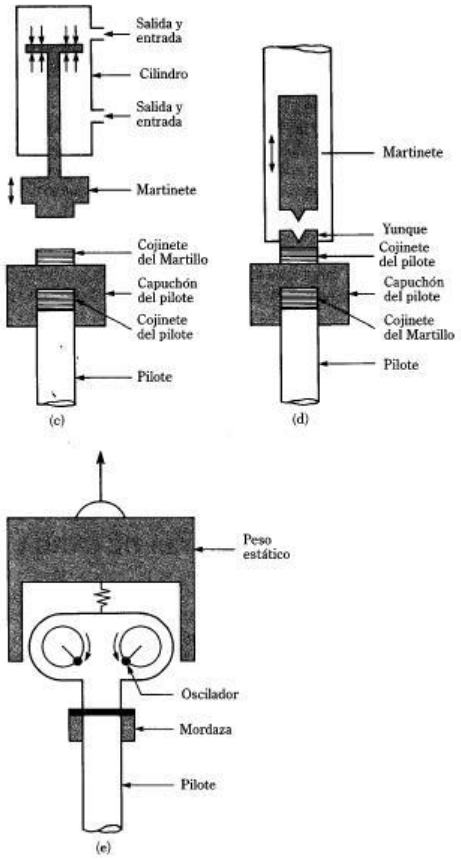
Cuando se habla de hincado, se debe de colocar en la parte superior del pilote, un capuchón o cabezal en todas las ocasiones. Además se debe utilizar un cojinete entre el capuchón y el pilote para reducir las fuerzas de impacto.

Figura 62. (a) Martillo de caída libre y (b) martillo de aire o vapor de acción simple.



Fuente: Das. B, 1999

Figura 63. (c) Martillo de aire o vapor de acción doble y diferencial, (d) Martillo diésel y (e) clavador vibratorio de pilotes.



Fuente: Das. B, 1999

El hincador vibratorio consiste en dos pesos contra giratorios, así los componentes horizontales de la fuerza centrífuga se cancelan mutuamente y se produce una fuerza vertical dinámica sobre el pilote que ayuda a hincarlo. (Das, 1999)

El procedimiento de perforación por chorro de agua a presión se utiliza generalmente cuando el pilote utilizado tiene que penetrar un estrato delgado de suelo duro, que esté sobre un estrato de suelo más blando. El procedimiento consiste en depositar agua en la punta del pilote con un tubo para lavar y aflojar la arena y grava. (Das, 1999)

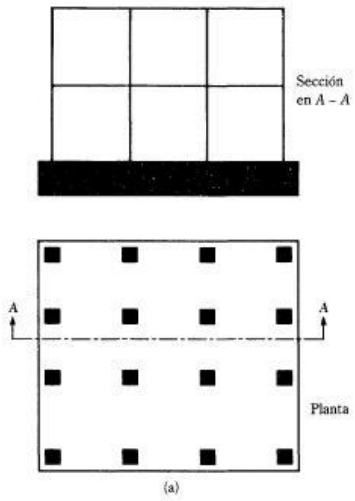
2) Losa de cimentación. La losa de cimentación es una plataforma de concreto que se apoya en el suelo y sirve para distribuir las cargas emitidas por una edificación, hacia el suelo que la va a soportar.

Estas se utilizan generalmente cuando el suelo que se va a utilizar es poco homogéneo y se pueden prever asentamientos diferenciales.

Hoy en día se manejan diferentes tipos de losas de cimentación, los más comunes son:

Placa plana, la cual es de espesor uniforme.

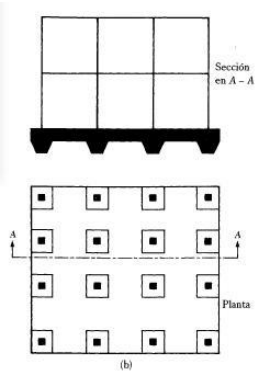
Figura 64. Losa de cimentación placa plana.



Fuente: Das. B, 1999

Placa plana con mayor espesor bajo columnas

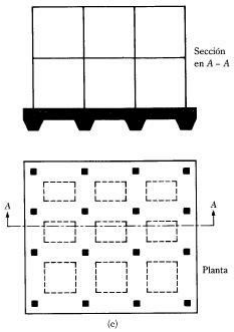
Figura 65. Losa de cimentación placa plana con espesor variable.



Fuente: Das. B, 1999

Vigas y losa.

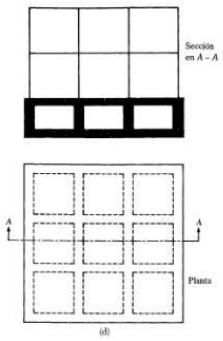
Figura 66. Losa de cimentación de vigas y losa.



Fuente: Das. B, 1999

Losa con muros de sótano.

Figura 67. Losa de cimentación con muros de sótano.



Fuente: Das. B, 1999

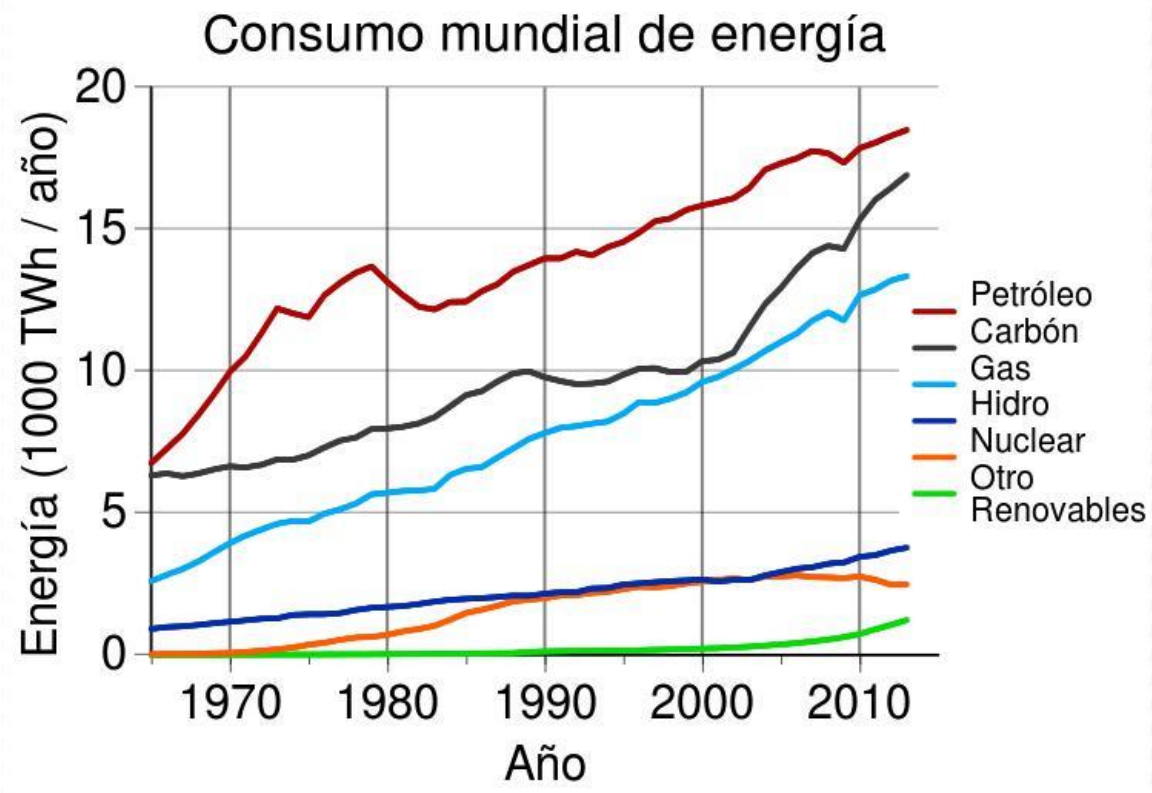
B. Diseño de instalaciones

1. Instalación de energía

a. Generalidades. Las instalaciones eléctricas son de suma importancia en las viviendas, en el mundo actualmente la tecnología forma un pilar del día a día. Todas las comodidades del ser humano funcionan a base de energía eléctrica. Es por esto que la electricidad en una vivienda es tan importante.

b. Consumo mundial. En el año 2005 el consumo energético mundial fue de 500EJ, es decir 5x1020 J o 138TWh, esto derivado en 86.5% de combustibles fósiles y el restante 13.5% de hidroeléctricas, energía eólica, energía solar entre otros, energía renovable.

Figura 68. Consumo mundial de energía



Fuente: Benavent, 1999

c. Energía 110V y 220V. Para la instalación de energía de las viviendas se debe de tomar en cuenta los servicios de contratación de empresas que la proveen, estas empresas cuentan con normativas que deben de cumplirse.

1) Partes de la instalación eléctrica. La acometida es el tramo de la instalación que cumple como unión entre la red pública de la empresa proveedora de energía y al vivienda. Esta acometida debe de realizarse por nombra en el lindero de la propiedad. Debe de instalarse en una caja de protección.

La acometida es una red trifásica de cuatro conductores que constan de tres fases y un neutro, sin embargo, las empresas proveedoras de energía deben de tener la opción de instalar acometidas monofásicas para potencias menores o iguales a 5750W de 220V.

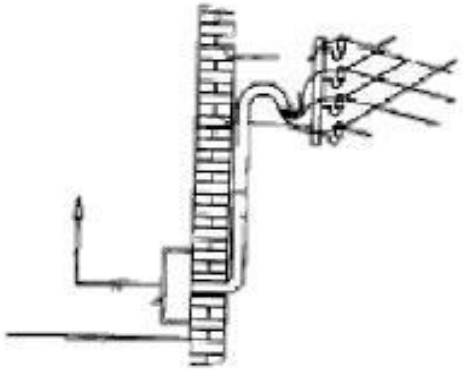
Para este tramo de la instalación eléctrica, la empresa suministradora será la responsable de la ejecución. La empresa siempre buscará que la acometida se realice en el tramo más corto y rectilíneo posible.

Las acometidas pueden ser aéreas, subterráneas o mixtas.

Acometidas aéreas

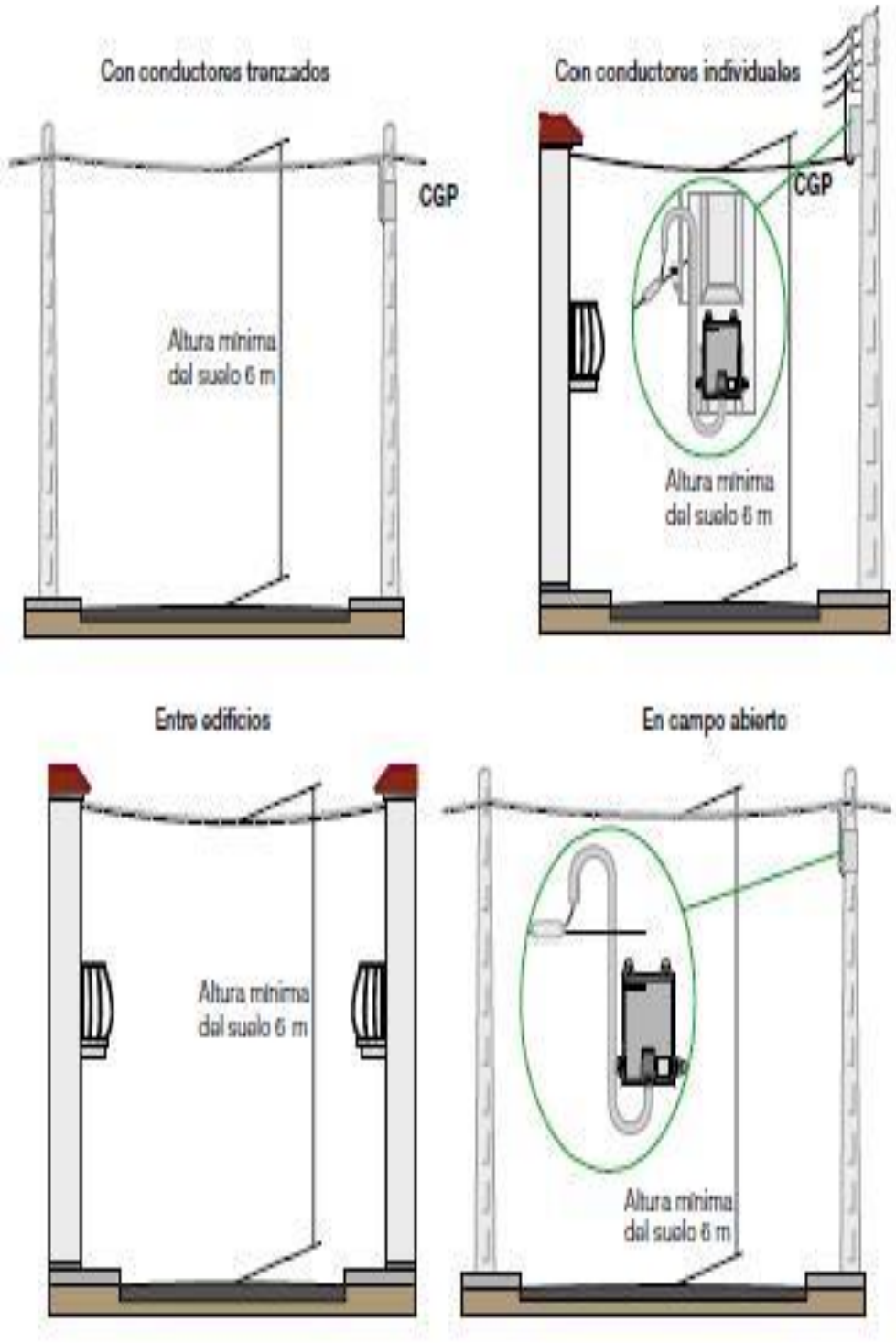
Las acometidas aéreas son instaladas a partir de una red de distribución aérea. Estas a su vez se dividen en la instalación de acometida sobre fachada de vivienda o sobre poste.

Figura 69. Acometida eléctrica



Fuente: Benavent, 1999

Figura 70. Tipos de acometidas

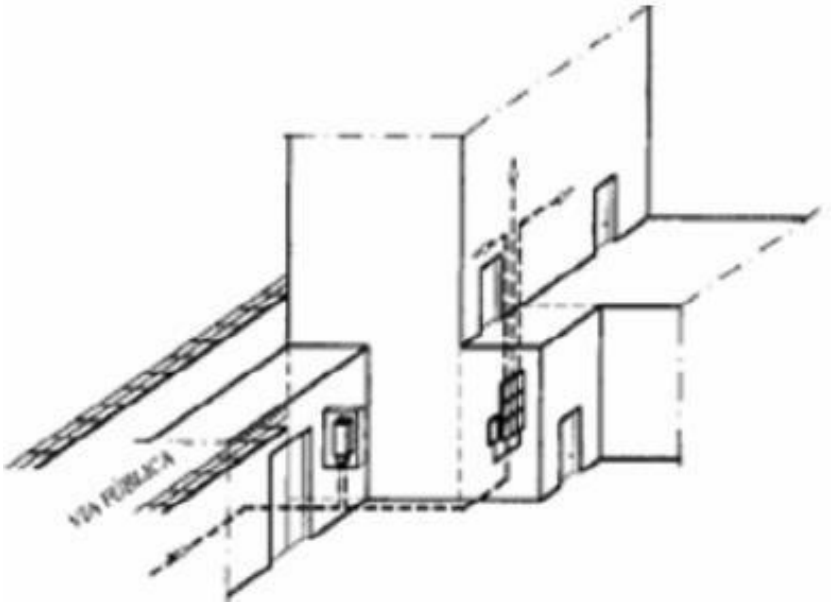


Fuente: Benavent, 1999

Acometida subterránea

Este tipo de acometida es el más común cuando se trata de urbanizaciones, la distribución de energía a las estructuras resulta siendo subterránea y fuera de la vista.

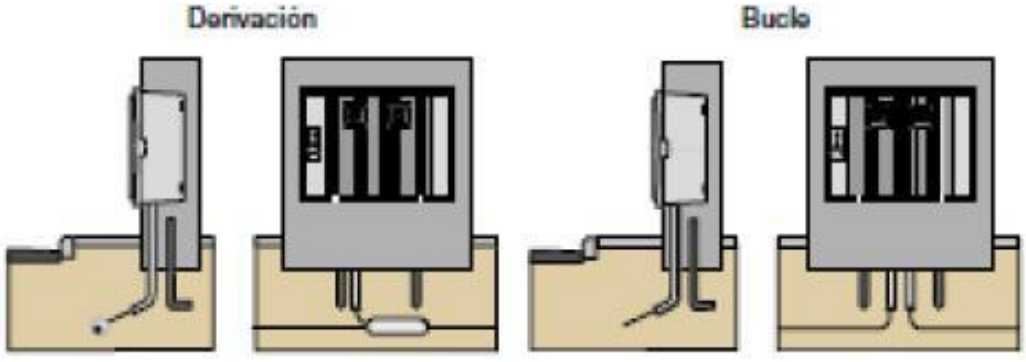
Figura 71. Acometida subterranea



Fuente: Cobarg, 2001

Hay diferentes formas de alimentar energéticamente un edificio, estas formas dependen de la alimentación desde la red de distribución. Esta puede ser de derivación cuando la red es ramificada o puede ser en bucle si la red es en anillo o en huso.

Figura 72. Alimentacion para edificios



Fuente: Cobarg, 2001

Acometidas mixtas

Son las acometidas que se realizan una parte en instalación aérea y otra es subterránea. Los tramos de la conexión deben de realizarse dependiendo de las condiciones del terreno.

Figura 73. Acometidas mixtas

Fuente: España, 2002

Instalaciones de enlace

Las instalaciones de enlace son las partes de la instalación que conectan la red urbana de distribución con la conexión de cada edificio, vivienda, local comercial. Escuela, universidad, etc.

Los elementos que conforman la instalación de enlace son la caja general de protección, la línea general de alimentación, la centralización de contadores, las derivaciones individuales y los cuadros generales de mando y protección.

2) Instalaciones eléctricas en vivienda. La energía eléctrica es de mucha importancia hoy en día porque resuelve problemas que en épocas pasadas resultaban inimaginables, hacen labores, complicadas para un ser humano, haciéndolas parecer simples y sencillas. La energía eléctrica ha revolucionado el mundo como de hoy. Los seres humanos han adaptado su vida a la comodidad de la energía eléctrica, ya sea frente a un televisor o preparando comida instantánea en un microondas, la electricidad ha facilitado la vida grandemente en los últimos 50 años.

Las instalaciones eléctricas en las viviendas son las encargadas de proveer de fuerza e iluminación los hogares de millones de personas. Los tomacorrientes y las luminarias facilitan la vida y hacen al humano adaptarse al entorno que lo rodea.

A continuación se presenta un manual o guía de diseño de instalaciones eléctricas domiciliares. Se presenta la metodología del diseño y la correcta instalación del sistema eléctrico. Se brindan las recomendaciones contraindicaciones de trabajar con energía de alta tensión. Se propone un sistema eléctrico acoplado a una vivienda de madera realizada por medio de dos sistemas estructurales distintos, CLT "*Cross Laminated Timber*" o secciones de paneles estructurales con vigas laminadas.

Se da la opción de trabajar las viviendas con energías alternas, es decir, energía solar, se brindan los parámetros necesarios para la correcta instalación y funcionamiento de los paneles solares, se explica cómo funcionan así como su dimensionamiento.

3) Clasificación de las Instalaciones eléctricas. En las instalaciones eléctricas se debe de cumplir los requisitos de diseño la edificación, ya sea uso industrial o uso residencial. El tipo de sistema tiene su variación en el voltaje. Para distintos servicios se aplican variaciones de voltaje, los más comunes son:

Extra alta Tensión, (más de 400 KV)

Alta tensión (85, 5, 230, 400 KV)

Mediana Tensión (69 KV)

Baja Tensión (600, 440, 220, 110 V)

Para efectos de las instalaciones eléctricas en Guatemala, el término será el de baja tensión. Basándonos en dos líneas de 110 V proporcionadas por la empresa eléctrica dentro de los límites de la cuidad capital, logrando así un voltaje de 220V. Se utiliza el voltaje antes mencionado por las cargas utilizadas en las cocinas, lavanderías, etc.

4) Concepto de instalación eléctrica. La energía eléctrica es el conjunto de elementos necesarios para conducir y transformar el poder en energía utilizable en aparatos eléctricos o para brindar iluminación. La energía eléctrica debe de cumplir con los siguientes requisitos:

Eficiente y económica.

Accesible y de fácil mantenimiento.

Segura ante incendios.

Segura ante descargas energéticas.

Cumplir con normas nacionales e internacionales de instalación.

Las instalaciones eléctricas ideales son las que no representan ningún riesgo para los habitantes del lugar de la misma. Para lograr esto, el diseño debe de ser el adecuado y cumplir con los requisitos tanto eléctricos, arquitectónicos y estructurales.

El sistema eléctrico debe de ser accesible para obtener un fácil mantenimiento, debe de ser flexible para realizar cualquier cambio necesario. Finalmente, la instalación eléctrica debe de cumplir con la normativa especializada para su uso y aplicación. La normativa es distinta para cada país, puede variar por tensiones o corrientes, pero siempre termina teniendo la misma función, ser segura para el usuario.

5) Elementos de una instalación eléctrica. Los elementos de una instalación eléctrica son los que funcionan en armonía con la finalidad de realizar una conexión exitosa y segura para los usuarios. Los elementos deben de conducir, proteger y controlar la energía eléctrica. Los componentes para una instalación eléctrica son:

Conductores eléctricos.

Canalizaciones eléctricas.

Conectores para canalizaciones eléctricas. Dispositivos de protección.

Los conductores de una instalación eléctrica deben de cumplir con los requerimientos de seguridad y que tengan buena conductividad, y que básicamente cumplan con los requisitos de NOM-001 específicamente en el artículo 301 que especifica los conductores para alambrado general.

Los conductores eléctricos o cables son los encargados de conducir la corriente de un lugar a otro. Su medida viene dada por la norma americana, tomando en cuenta el *"American wire gage"* (AWG) que es la encargada de dar los calibres de los conductores necesarios dependiendo del requerimiento de la instalación. En las unidades de áreas de los conductores se puede utilizar la designación americana (AWG) o en el sistema internacional de medidas (mm2), para los conductores mayores del 4/0 se emplea una unidad denominada Circular Mil. Que es la sección de un círculo que tiene un diámetro de milésima de pulgada (0.0001plg).

Tabla 10. American wire gage

Conversion table - American Wire Gauge - mm. - mm^2					
AWG N°	Diam. mm.	Area mm^2	AWG N°	Diam. mm.	Area mm^2
1	7,350	42,400	16	1,290	1,3100
2	6,540	33,600	17	1,150	1,0400
3	5,830	26,700	18	1,024	0,8230
4	5,190	21,200	19	0,912	0,6530
5	4,620	16,800	20	0,812	0,5190
6	4,110	13,300	21	0,723	0,4120
7	3,670	10,600	22	0,644	0,3250
8	3,260	8,350	23	0,573	0,2590
9	2,910	6,620	24	0,511	0,2050
10	2,590	5,270	25	0,455	0,1630
11	2,300	4,150	26	0,405	0,1280
12	2,050	3,310	27	0,361	0,1020
13	1,830	2,630	28	0,321	0,0804
14	1,630	2,080	29	0,286	0,0646
15	1,450	1,650	30	0,255	0,0503

Fuente: Ortiz, 2010

Las canalizaciones son los elementos que se emplean con el propósito de conectar de manera ordenada los conductores. Las canalizaciones evitan el deterioro de las propiedades mecánicas de los mismos. Los métodos de canalización más comunes del uso comercial son:

Tubos Conduit.

Ductos.

Charolas.

Poliducto.

En las instalaciones residenciales, la mejor canalización la brinda la tubería conduit. Sus características de fácil manejo y la apropiada distribución de los conductores eléctricos antes mencionados. En el mercado se encuentran diversos tipos de tuberías, entre los más comunes están

Tubo de acero galvanizado de pared gruesa.

Tubo de acero galvanizado de pared delgada.

Tubo de acero esmaltado de pared gruesa.

Tubo de aluminio tubo flexible.

Tubo de plástico flexible.

De estos ejemplos el que más se utiliza es el tubo de plástico flexible. La tubería eléctrica en Guatemala es instalada usualmente con poliducto en primeros niveles, es decir, en donde la tubería se entierra en el suelo. Posteriormente se utiliza tubo ducto, este es fácil de instalar en los entrepisos y proporciona un mejor orden en las instalaciones eléctricas. El poliducto cumple con la característica de ser ligero y resistente al agua.

Se puede usar tubería conduit de plástico:

En cualquier edificio que no supere los tres pisos sobre el nivel de la calle.

Embebidos en concreto colado, siempre que se utilicen para las conexiones accesorios aprobados para ese uso.

Enterrados a una profundidad no menor que 50 cm. condicionado a que se proteja con un recubrimiento de concreto de 5 cm. de espesor como mínimo.

No se aprueba el uso de conduit de plástico:

En áreas peligrosas (clasificadas).

Como soporte de aparatos y otro equipo.

Cuando estén sometidas a temperatura ambiente que supere aquélla para la que está aprobado el tubo (conduit).

Para conductores cuya limitación de la temperatura de operación del aislamiento exceda la temperatura a la cual el tubo (conduit) está aprobado.

Conectores para las canalizaciones eléctricas

Son los accesorios utilizados para realizar las conexiones entre canalizaciones eléctricas entre sí. Se utilizan como cajas de registro en diversas situaciones. Los conectores para canalizaciones se realizan de tal forma que ningún conector quede expuesto. Los conductores se aíslan y esconden de la vista de los usuarios.

Las canalizaciones son básicamente dos tipos:

Condulets.

Cajas de conexión.

Los condulets son cajas de conexión y accesorios empleados en instalaciones de tubería conduit de aleaciones de aluminio y otros metales. Las tapaderas se fijan por medio de tornillos junto con empaques para evitar la entrada de agua, polvo y gases. Se fabrican principalmente tres tipos de condulets:

Ordinario.

A prueba de polvo y vapor.

A prueba de explosión.

Las cajas de conexión son elementos que se utilizan en los circuitos de fuerza e iluminación para la conexión de las unidades. En los circuitos de fuerza, los cables salen del tablero de circuitos hacia las unidades de fuerza, en cada unidad de fuerza se conecta una caja, usualmente de tipo rectangular, para colocar los tomacorrientes. En los circuitos de iluminación, el cableado sale nuevamente del tablero de circuitos hacia

las unidades luminarias ubicadas en techos y paredes. Las luminarias usualmente se colocan en cajas octogonales, y las derivaciones de los interruptores en cajas rectangulares.

Figura 74. Cajas de conexión para instalaciones eléctricas

Fuente: Ortiz, 2010

6) Dispositivos de protección. Los dispositivos de control y protección de las instalaciones eléctricas cumplen con las normas de electricidad para evitar desastres por malas instalaciones y uso. Los circuitos de las instalaciones eléctricas deben de separarse entre sí, es decir, los circuitos de iluminación o fuerza de una vivienda deben de estar separados. En el caso de la iluminación, la norma permite no más de 12 luminarias por circuito, hablando de 10 watts por luminaria. En el caso de la fuerza solo se permiten 8 unidades por circuito.

Los circuitos de las viviendas salen desde un tablero de circuitos. Al tablero de circuitos llegan las líneas de fuerza proporcionadas por la empresa de energía, a este tablero llegan dos líneas en las viviendas, dos líneas de 110V para formar un voltaje de 220V.

Este voltaje de 110V será el proporcionado a cada circuito de fuerza e iluminación. Sin embargo, existen circuitos que requieren fuerza de 220V, tales como la estufa eléctrica, la secadora de ropa y el calentador de agua.

Para controlar la energía brindada a cada circuito se utiliza un fusible o controlador. Un fusible es un dispositivo diseñado para abrirse e interrumpir el flujo de corriente hacia un circuito cuando se excede la capacidad del mismo. Cuando existe una sobrecarga eléctrica en algún circuito, el fusible termo magnético abre y de esta forma evita que continúe la circulación de corriente.

Figura 75. Tableros y flipones para protección eléctrica

Fuente: Ortiz, 2010

d. Diseño de la instalación eléctrica. El diseño de la instalación eléctrica de una vivienda es la elaboración del cableado, ubicación y distribución eléctrica adecuada para cumplir con los requisitos del usuario. El objetivo es elaborar la instalación de tal manera que todos los componentes anteriormente mencionados en este texto funcionen de manera armónica. Los cables conductores deben de encajar perfectamente dentro de las canalizaciones y estas a su vez guiarlos hacia el punto en el que serán de uso.

1) Tipo de construcción. En primera instancia se debe analizar el sistema estructural de la vivienda, si es de concreto, block prefabricado o madera. De la misma manera se debe analizar cuáles son los ambientes que se requieren con instalaciones eléctricas. Analizar las medidas de las áreas en las viviendas. También se debe tomar en cuenta el uso específico de la instalación.

2) Evaluación eléctrica general. Se debe considerar la carga por alimentar, se estima una aproximación de potencia por metro cuadrado Watts/m^2. Dependiendo del tipo de uso para la edificación, la norma mexicana marca una determinada potencia.

Tabla 11. Evaluación eléctrica según tipo de construcción

Tipo de local	Parte de la carga de alumbrado a la que se aplica el factor de demanda (en VA)	Factor de demanda por ciento
Almacenes	Primeros 12500 o menos	100
	A partir de 12500	50
Hospitales*	Primeros 50000 o menos	40
	A partir de 50000	20
Hoteles y moteles, incluyendo los bloques de apartamentos sin cocina*	Primeros 20000 o menos	50
	De 20001 a 100000	40
	A partir de 100000	30
Unidades de vivienda	Primeros 3000 o menos	100
	De 3001 a 120000	35
	A partir de 120000	25
Todos los demás	Total VA	100

Fuente: Ortiz, 2010

3) Procedimiento de diseño de la instalación eléctrica. El procedimiento de cualquier instalación eléctrica se realiza de forma general, el diseño contiene planos de instalación, cuadro de cargas, simbología, lista de materiales, diagramas de conexión, cuantificación de cable conductor.

Plano eléctrico de la vivienda

Para comenzar con el diseño de la instalación eléctrica de la vivienda se debe de ubicar los centros de los ambientes de la casa. Esto brinda la ubicación de las luminarias de techo y las lámparas de pared. Este procedimiento se aplica para todos los cuartos y ambientes.

Para ubicar la carga mínima es necesario calcular el área de construcción, planta baja, planta alta, patio, terreno.

Simbología

La simbología de una instalación eléctrica será la guía para leer los planos. En este apartado deben de incluirse los símbolos de los elementos eléctricos con sus especificaciones respectivas.

Tabla 12. Simbología de fuerza e iluminación

SIMBOLOGÍA FUERZA	
	POLIDUCTO ø 3/4" SUBTERRANEO EN PISO
	DUCTO PVC ø 3/4" EN LOSA
	POLIDUCTO ø 1 1/4" PARA 220 V.
	DUCTO PVC ø 3/4" PARA TV EN LOSA POLIDUCTO ø 3/4" PARA TV EN SUELO
	DUCTO PVC ø 3/4" PARA TEL. EN LOSA POLIDUCTO ø 3/4" PARA TEL. EN SUELO
GAS	POLIDUCTO ø 3/4" PARA GAS ADENTRO TUBERIA DE COBRE ø 3/8"
	POLIDUCTO ø 1 1/2" SUBTERRANEO PARA INSTALACION DE TV, TELEFONO E INTERNET
	TABLERO DE CIRCUITOS, ALTURA DE 1.60 M
	CAJA CENTRAL PARA INSTALACION DE TV, TELEFONO E INTERNET
	TOMACORRIENTE 110V. ALTO 0.30 M. SNPT. salvo indicación
	TOMACORRIENTE 110V. ALTO 1.15 M. SNPT.
	TOMACORRIENTE DE INTEMPERIE 110V. ALTO 0.30 M. SNPT.
	TOMACORRIENTE 220V. ALTO S/INDICACIÓN
	INTERRUPTOR DOBLE + 1 TOMACORRIENTE CON PLACA TRIPLE
	CABLE ALTO SEGON INDICACIÓN
	CAJA CUADRADA DE 4" X 4" EN PARED
	TELEFONO A SEGON INDICACIÓN
	PULSOR DE TIMBRE O INTERCOM A 1.30 M. SNPT.

SIMBOLOGÍA ILUMINACIÓN			
	DUCTO PVC ø 3/4" EN CIELO		FOCO EN MURO 2.10 DE ALTO SNPT. EN LAVAMANOS
	DUCTO PVC ø 3/4" EN PISO		FOCO EN CIELO
	DUCTO ø 3/4" DE TIMBRE E INTERCOMUNICADOR		REFLECTOR SIMPLE
	DUCTO INTERRUPTOR ø 1/2"a 3/4"		INTERRUPTOR SIMPLE A 1.30 DE ALTO
	TABLERO DE CIRCUITOS ALTURA DE 1.60 M		INTERRUPTOR DOBLE A 1.30 DE ALTO
	INTERRUPTOR DOBLE + 1 TOMACORRIENTE CON PLACA TRIPLE		INTERRUPTOR TRIPLE A 1.30 DE ALTO
3W	INTERRUPTOR DE TRES VIAS		PULSOR DE TIMBRE ALTURA 1.60 SNPT.
	INTERCOMUNICADOR A 1.60 DE ALTO		DIN-DON A 2.10 DE ALTO

Fuente: Elaboración propia

Cuadro de cargas

Lo más importante del cuadro de cargas es lograr que todos los circuitos tengan la misma potencia, es decir, el cuadro de cargas debe de estar balanceado. Logrando este balance se evitan las sobrecargas en las instalaciones. Este cometido se alcanza sumando las cargas por circuito y comparándolas entre sí.

El cuadro de cargas se basa en el número de circuitos de la instalación, para obtener este número utilizamos la carga mínima del área total de construcción obtenida anteriormente, y basándose en circuitos de 15A de corriente y 110V de tensión. Para efectos de instalaciones de viviendas se utiliza un factor de potencia de 0.9.

El número de circuitos en la vivienda se obtiene mediante

Cálculo de la corriente para circuitos derivados

El cálculo que se desarrollara será para una vivienda bifásica. La acometida debe de ser de dos fases y un neutro. Con siguiente fórmula se calcula la corriente en cada circuito derivado.

=

En donde:

I = Corriente.
P = Potencia real.
V = Voltaje.
FP = factor de potencia.

Tomacorrientes

En todos los ambientes de las viviendas, cocinas, comedores, salas, baños, dormitorios, estudios, parqueos, jardines, etc. deben de instalarse tomacorrientes para facilidad de los usuarios. La instalación de los tomacorrientes debe seguir con las siguientes disposiciones:

- Separación

La separación entre tomacorrientes no debe de superar los 5m entre sí. Para todos los aspectos de la vivienda deben aparecer tomacorrientes.

- Tomacorrientes en ambientes de vivienda

Los tomacorrientes en la cocina deben instalarse a una altura no mayor de 35cm sobre el mostrador. Esta medida es para proteger el circuito de cualquier derrame en áreas húmedas como lo son las cocinas y parqueos. Para el área de los baños, los tomacorrientes se instalan en las paredes sobre los lavamanos siempre respetando la altura de 1.50m, esta medida sirve, nuevamente, para evitar derrames de líquidos dentro del circuito eléctrico. También existen los tomacorrientes de 220V, estos levantan la energía de aparatos tales como la estufa eléctrica, la secadora de ropa y el calentador de agua.

Cálculo del cable conductor para la caída de voltaje

Es necesario que los cables conductores resistan la caída de voltaje impuesta por la instalación eléctrica, la caída de voltaje viene dada por la siguiente fórmula para sistemas bifásicos:

% =

En donde:
e% = caída de voltaje en porcentaje. L
= longitud del conductor en metros.

E_f = voltaje en la línea.
S = sección transversal del conductor.

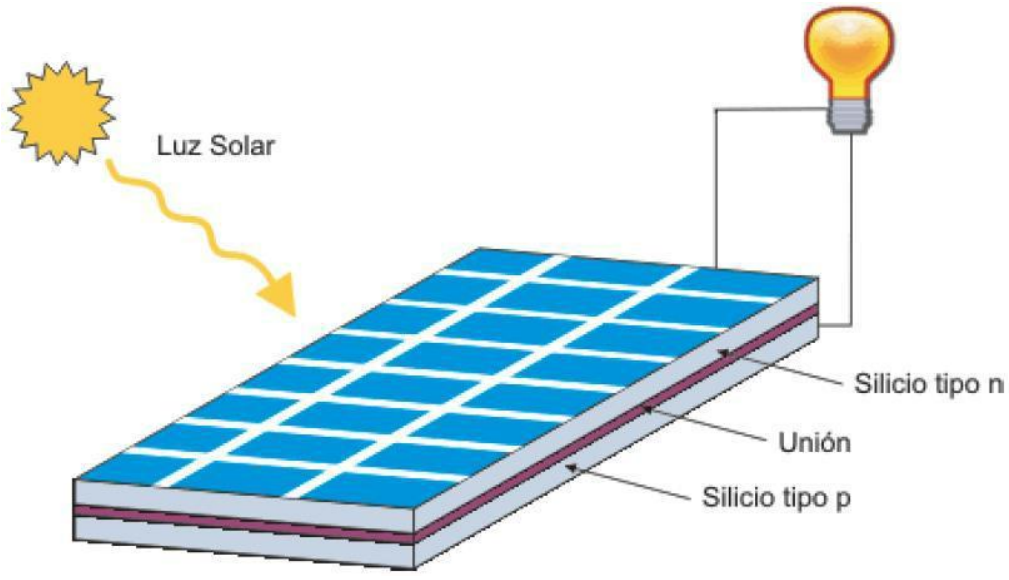
Es importante considerar que la longitud del cable conductor debe de tomarse desde el último tomacorriente o luminaria hacia el tablero de circuitos, de esta forma se toma la longitud más larga posible del conductor.

2. Energía solar y energía a 12V

a. ¿Qué es la energía solar? Es la energía de radiación producida por el sol como resultado de las reacciones nucleares que se dan en la estrella. Esta energía llega a la tierra por medio de rayos o fotones de energía. La energía solar es la responsable de la vida en el planeta y todos los sistemas de energía son derivados indirectamente del sol, por ejemplo, el petróleo es obtenido de fósiles de animal y plantas de millones de años atrás. Estos fósiles alguna vez fueron seres con vida que se desarrollaron gracias a la energía irradiada por el sol.

b. El efecto fotovoltáico. El efecto fotovoltáico se produce cuando el material de las celdas solares absorbe parte de los fotones del sol. El fotón absorbido libera un electrón que se encentra en el interior de la celda, ambos lados de la celda están conectados por cables eléctricos logrando de esta forma generar una corriente eléctrica.

Figura 76. Esquema de efecto fotovoltaico



Fuente: Obregozo, 2010

La eficiencia de las celdas solares es determínate para deducir los costos de los sistemas fotovoltaicos, ya que constituye el costo más elevado en todo el sistema y la instalación. En el siguiente cuadro se muestran las eficiencias que las diferentes celdas pueden alcanzar.

Tabla 13. Eficiencia de celdas

Tecnología	Símbolo	Característica	Eficiencia de celdas en laboratorio (%)	Eficiencia típica en módulos comerciales (%)
Silicio monocristalino	sc-Si	Tipo oblea	24	13 – 15
Silicio policristalino	mc-Si	Tipo oblea	19	12 – 14
Películas de silicio cristalino sobre cerámica	f-Si	Tipo oblea	17	(8 – 11)
Películas de silicio cristalino sobre vidrio		Película delgada	9	
Silicio amorfo (incluye tandems silicio-germanio)	a-Si	Película delgada	13	6 – 9
Diseleniuro de cobre-indio / galio	CIGS	Película delgada	18	(8 – 11)
Telurio de cadmio	CdTe	Película delgada	18	(7 – 10)
Celdas orgánicas (incluye celdas de TiO_2 sensibles a la humedad)		Película delgada	11	
Celdas tandem de alta eficiencia	III-V	Tipo oblea y película delgada	30	
Celdas concentradoras de alta eficiencia	III-V	Tipo oblea y película delgada	33 (tandem) 28 (solo)	

Fuente: Obregozo, 2010

La restricción más grande de los sistemas solares el costo. Esta limitación es la que la mayoría de posibles usuarios consideran para su vivienda. Los factores que se mencionaran muestran que el precio no es lo único a considerar ya que diversos factores influyen de mayor manera en las instalaciones.
Si bien es cierto que se deben de tomar en cuenta los costos y la instalación también se deben de tomar en cuenta la operación y mantenimiento, la organización y el impacto ambiental.

En la operación y mantenimiento se hace énfasis la poca necesidad del mismo, los sistemas solares fotovoltaicos necesitan poco mantenimiento y a largo plazo resultan ser de menor costo por este mismo factor,

La organización también es clave ya que los paquetes de sistemas solares fotovoltaicos vienen adaptados a las necesidades de los usuarios y son adaptables al cambio.

Analizando el impacto ambiental se puede ver que las emisiones de CO2 son nulas por ser sistemas de radiación solar, comparándolos con sistemas de combustibles fósiles.

En la siguiente tabla se detallan de mejor manera los aspectos anteriores.

Tabla 14. Factores de energía solar

Sector	Potencial	Limitación	Resultados
Equipo e inversión	Flexibilidad: facilidad de aumentar de pocos a más watts pico (Wp)	Gastos elevados de inversión por unidad (Wp)	Los sistemas FV son competitivos sobre todo en el rango de poco consumo de energía en zonas alejadas sin electricidad. Necesidad de sistemas de financiación (debido a poca disponibilidad de capital en las zonas rurales)
Operación y mantenimiento	Fiabilidad: pocos gastos y poca necesidad de mantenimiento y supervisión	Necesidad de respaldo o almacenamiento para uso nocturno y en días nublados. La batería es el punto débil de los sistemas FV	Los sistemas FV a menudo son competitivos por la relación de su costo y duración
Organización	Integración fácil en "paquetes" de consumo adaptados a las necesidades del usuario	Una mayor participación del usuario es más necesaria en los proyectos de energía FV que en los de extensión de la red eléctrica	Necesidad de introducir cambios institucionales en el sector eléctrico para proyectos de electrificación rural con sistemas FV
Consecuencias ambientales	No perjudican al ambiente, emiten poco CO_2 y otros gases, en comparación con los sistemas que consumen combustibles fósiles	La eliminación de baterías es un aspecto ambiental importante	Posible financiación conjunta de los programas interesados en el cambio climático

Fuente: Obregozo, 2010

c. Unidades utilizadas en energía solar. La radiación solar, la potencia solar y diversas variables más pueden medirse con distintos tipos de unidades, El cuadro a continuación se detallan las unidades utilizadas en sistemas de paneles solares.

Tabla 15. Unidades utilizadas en energía solar

Unidad	Explicación	Conversión
Potencia solar		
Wp	Watt pico	-
W	Watt	-
KW	Kilowatt (1000 W)	-
W/m^2	Watt por metro cuadrado	-
Energía solar		**a KWh/m^2**
KWh/m^2	KWh por metro cuadrado	1
KJ/cm^2	KJ por centímetro cuadrado	2.778
MJ/m^2	MJ por metro cuadrado	0.2778
$KCal/cm^2$	1 000 Calorías por centímetro cuadrado	11.67
Btu/ft^2	Unidades térmicas británicas por pie cuadrado	0.0428
Langley	Caloría por centímetro cuadrado	0.0116

Fuente: Obregozo, 2010

Los módulos de energía solar fotovoltaica están inclinados para recolectar de mejor forma los rayos solares, la cantidad de energía mayor se recolecta cuando el modelo está inclinado en el mismo Angulo que el Angulo de latitud del sitio.

Es de tomar en cuenta que el ángulo mínimo de inclinación deberá ser de por lo menos quince grados para asegurar que el agua de las lluvias pueda fluir libremente y a su vez limpiar el polvo que se almacena el en modulo solar.

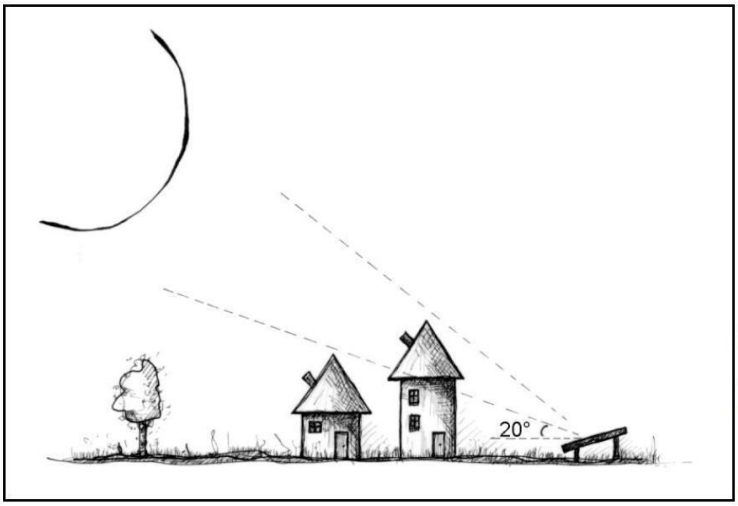
Cuando las latitudes son mayores de 30º Norte o Sur, los modelos deberán estar inclinados sobre el ángulo de latitud para tratar de nivelar las fluctuaciones por estaciones.

Es de vital importancia que los módulos estén inclinados en la dirección correcta, esto significa que en el hemisferio norte los módulos estén direccionados hacia el sur y en el hemisferio sur los módulos deben de estar inclinados hacia el hemisferio norte.

Los países más cercanos al ecuador no necesitan inclinación, sin embargo es recomendable dejarles cierto desnivel para que las lluvias puedan correr fluidamente y se auto limpien de polvo y suciedades.

También es importante que no existan obstáculos que detengan a los rayos solares de alcanzar el panel. Deben de buscarse ubicaciones sin sombras o que no estén parcialmente soleadas, esto debido a que si una región del ponen recibe sol y otra no, esta puede calentarse mucho, los paneles solares están conectados entre sí por cables eléctricos, estos sin sol no pueden producir energía y para liberar la energía captada por las celdas se produce el efecto Joule o liberación de calor.

Figura 77. Ángulos de radiación solar



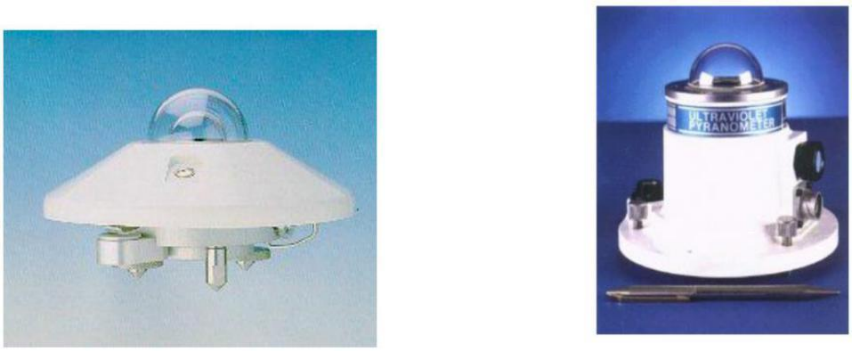
Fuente: Obregozo, 2010

d. Mediciones de energía solar. Cuando se calcula del tamaño de un sistema solar fotovoltaico no es necesario medir la radiación solar porque los valores son conocidos para la mayoría de lugares en el planeta. Los valores pueden usarse y esto resulta suficientemente exacto para los estudios de factibilidad. Es necesario conmiserar las mediciones in situ para lugares en donde se realizara una gran instalación que requiera inversiones grandes.

El instrumento que sirve para medir la energía solar es el salirímetro. Existen dos tipos de Solari metros, el piranómetro u el medidor fotovoltaico.

El piranómetro posee una pequeña plancha de metal negro con una termo cúpula unida a ella, esta plancha se caliente al sol y así es como se mide la energía solar, la plancha está cubierta por una cúpula de vidrio.

Figura 78. Piranómetro



Fuente: Obregozo, 2010

El medidor fotovoltaico es una pequeña célula fotovoltaica que genera electricidad, la cantidad de electricidad es medida para conocer la radiación instantánea. Estos medidores son más económicos que los Piranómetro pero menos exactos.

Figura 79. Medidor fotovoltaico

Fuente: Obregozo, 2010

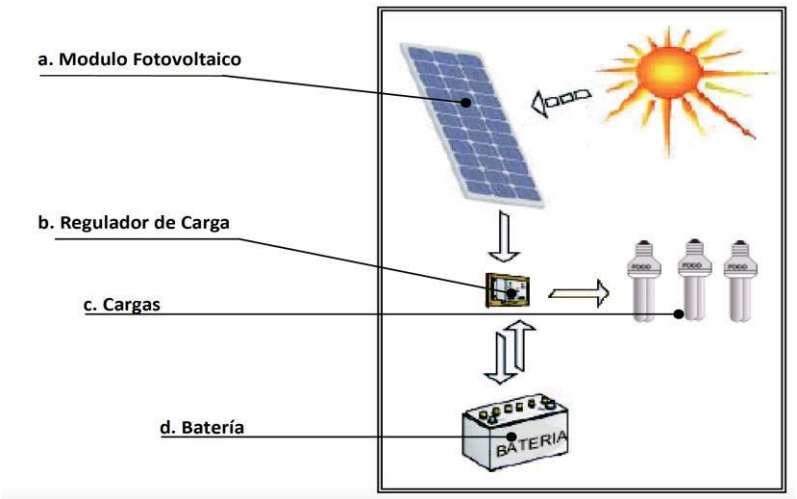
e. Operación y funcionamiento de los sistemas solares fotovoltaicos. El sistema fotovoltaico domiciliario produce energía eléctrica directamente de la radiación solar. La función básica de convertir la radiación solar en electricidad la realiza el modulo fotovoltaico. La corriente producida por el modulo fotovoltaico es corriente continua a un voltaje generalmente de 12V que puede variar a 24V o 48V dependiendo de la configuración.

La energía eléctrica producida se almacena en baterías, para ser utilizada en cualquier momento, y no solo cuando está disponible la radiación solar. Esta acumulación de energía debe de estar dimensionada de forma que el sistema funcione con periodos largos de mal tiempo o cuando la radiación solar sea mínima. Logrando esto, se garantiza que la energía esté disponible siempre y sin ningún tipo de restricción incluso a falta de sol.

El regulador de carga en un sistema es el componente responsable de controlar el buen funcionamiento del sistema evitando la sobrecarga y la descarga de la batería, este aparato proporciona alarmas visuales en caso de gallas y asegura el uso eficiente prolongando la vida útil.

El sistema fotovoltaico domiciliario permite la alimentación autónoma de equipos de iluminación y fuerza, garantiza un servicio de energía eléctrica ininterrumpido de larga vida útil y con el minimizo de mantenimiento. Los componentes del sistema son el modulo fotovoltaico o panel solar, una batería, un regulador de carga y las cargas continuas de corriente. A esto se le debe agregar los elementos de infraestructura que soportan la armazón del sistema.

Figura 80. Sistema fotovoltaico domiciliario



Fuente: Obregozo, 2010

1) Módulo fotovoltaico o panel solar. Son un conjunto de celdas fotovoltaicas que sirven para transformar la radiación solar en energía eléctrica. Estas celdas fotovoltaicas generar un voltaje y corriente óptimo para que las cargas tengan un funcionamiento adecuado. La energía generada es de 12V DC y se utiliza para aparatos tales como radiograbadoras, lámparas, bombas de agua, televisores, etc.

Para utilizar artefactos de corriente alterna, es decir 110V o 220V, es necesario convertir la corriente y para eso se utiliza un aparato llamado inversor de carga.

En los módulos fotovoltaicos o paneles solares se maneja la siguiente nomenclatura:

Potencia Pico [Wp] = Máxima salida de potencia en Watts pico.

Corriente de cortocircuito [A] = Corriente entre los polos conectados de un módulo.

Tensión de circuito abierto [V] = Voltaje entre los polos de un módulo sin carga.

Figura 81. Panel solar

Fuente: Obregozo, 2010

2) Regulador de carga. Es el componente que tiene el propósito de producir el correcto funcionamiento entre el modulo o panel solar, la bacteria y las cargas del sistema. Este es el encargado de cumplir con las funciones tales como recibir carga de los módulos solares, transmitirla a los componentes de la casa.

Dirige la electricidad generada en los módulos fotovoltaicos o paneles solares hacia el uso final, también de dirigir la electricidad generada hacia las baterías, en caso de que exista alguna falla en el panel solar, este impide los daños de la bacteria y logra que esta tenga una mayor vida útil.

El regulador de carga también protege e impide la fluencia de energía desde las baterías hacia los paneles solares, es importante que nunca circule energía de las baterías al panel solar pues esto generaría un flujo e bidireccional y el sistema no es compatible con esto.

El regulador de carga se encarga de proporcionar solo la cantidad de energía necesaria hacia las cargas de la vivienda, evitando de esta forma una posible sobrecargar algún electrodoméstico o en alguna luminaria.

Figura 82. Regulador de carga

Fuente: Obregozo, 2010

3) Baterías solares. La batería es uno de los componentes más importantes en los sistemas solares fotovoltaicos. Su función es almacenar la energía generada por los paneles solares expuestos a la radiación solar. Una vez almacenada, esta puede suministrarla hacia las cargas que la requiera.

Las baterías usadas en los sistemas solares fotovoltaicos son las Baterías de Ciclo Profundo especiales para los sistemas solares.

Las baterías de ciclo profundo deben instalarse en lugares secos y ventilados, esto prolonga su vida y aumentar su eficiencia.

Durante el día, y mientras el panel solar esté expuesto a la radiación solar, la vivienda estará funcionando desde la energía recibida, sin embargo no toda la energía se utiliza por lo que el excedente es almacenado en baterías. La energía almacenada en estas baterías es la que se utilizará cuando el sistema demande y no pueda surtirse debido a la falta de radiación solar, es decir, noche, días nublados o interferencias de sombra.

La cantidad de energía que una bacteria pueda almacenar se denomina capacidad, es decir, la cantidad de energía que una bacteria puede retener para ser utilizada posteriormente. La capacidad de la batería es medida en Amperio-Hora (Ah), esto es la cantidad de energía que puede generar una batería antes de descargarse.

En una batería, la corriente de carga es la corriente eléctrica almacenada y está prevista para su uso. Dependiendo de la capacidad de captación de los paneles solares será la velocidad con la que la batería lograra cargarse.

Resulta sencillo calcular la cantidad de energía recibida por una batería si se conoce la corriente de carga y el tiempo.

$$^{Q}\text{Cantidad de carga en amperios} = {}^{I}\text{Corriente de carga en amperios} \times {}^{T}\text{tiempo en horas}$$

Es importante mencionar que nunca debe cargarse una batería a una corriente mayor a un décimo de la capacidad estimada.

Las baterías solares han sido diseñadas especialmente para usos con paneles solares y de esta forma poder superar los problemas causados por las baterías convencionales. Las características de las baterías solares incluyen, vida de 1000 a 2000 ciclos siempre y cuando no se prolonguen los ciclos profundos con frecuencia. Las baterías solares cuentan con un porcentaje de descarga bajo, entre 2% y 4% al mes.

Figura 83. Bateria de ciclo profundo

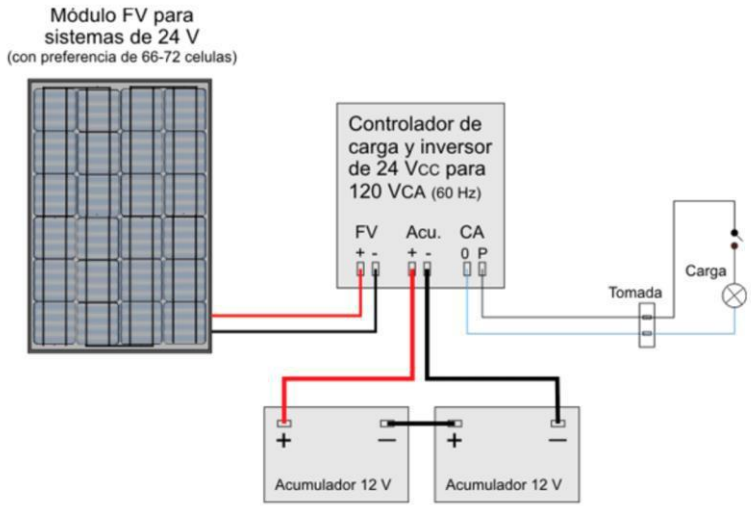
Fuente: Obregozo, 2010

4) Inversores de voltaje. Cuando se quiere utilizar cargas convencionales, es decir cargas que utilicen 110V o 220V se utiliza un inversor de voltaje para convertir el voltaje producido por el panel solar de 12V a 110V o 220V. Este sistema puede sonar ideal para el consume energético, sin embargo resulta de poca eficiencia ya que es demasiada la cantidad de energía necesaria para que el inversor funcione.

Figura 84. Inversor de carga

Fuente: Obregozo, 2010

Figura 85. Esquema de energía solar



Fuente: Obregozo, 2010

5) Adaptadores o convertidores. Los adaptadores son aparatos utilizados para graduar el voltaje de un sistema solar. Este aparato se utiliza cuando, por ejemplo, se quiere reducir el voltaje producido por el sistema solar desde 24V para poder hacer uso de aparatos de 6V o 12V.

Un convertidor es un aparato capaz de graduar el voltaje, la ventaja es que cuenta con una eficiencia mayor que los adaptadores pero es mucho más complicado encontrarlos en el Mercado.

Figura 86. Adaptadores o convertidores solares

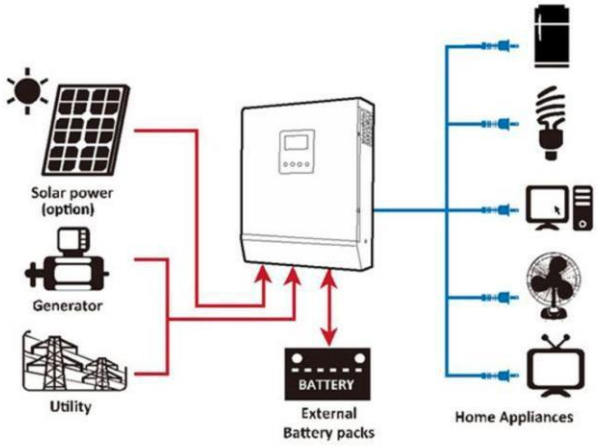


Figura 1 Sistema Hibrido

Fuente: Obregozo, 2010

6) Cables eléctricos

Los cables que se utilizan en los sistemas solares fotovoltaicos son diseñados especialmente para esto. El voltaje producido por uno de estos sistemas es generalmente bajo, 12V o 24V, por esto que las Corrientes que circularan en estos sistemas serán mucho más altas que las producidas en sistemas de 110V o 220V. Se puede calcular la cantidad de potencia que circular por el sistema estará dada por la fórmula:

= *

En donde V es la tensión en voltios e I es la corriente en amperios.

Cuando se quiere suministrar una potencia a 12V, la corriente será casi 20 veces más grande que la de un sistema de 220V. Por lo mismo es importante utilizar cables de mayor grosor para transportar mayor cantidad de corriente sin provocar recalentamiento del cable.

A continuación se muestra una tabla con los distintos tamaños de cables y la potencia que se puede producir a distintos voltajes.

Tabla 16. Tamaños de cables

Tamaño del cable, corte de área seccional [mm^2]	Corriente máxima [A]	Potencia generada [W]		
		12 V	24 V	220 V
1.0	10	120	240	2200
1.5	15	180	360	3300
2.5	20	240	480	4400
4.0	30	360	720	6600
6.0	35	420	840	7700
10.0	50	600	1200	11000
16.0	70	840	1680	15400
25.0	90	1080	2160	19800

Fuente: Obregozo, 2010

Analizando esta tabla se aprecia que los voltajes son bajos, solamente se pueden abastecer bajas demandas de potencia y por ende deben de utilizarse cables más gruesos. Es siempre recomendable utilizar fusibles para proteger los sistemas, estos no deben de exceder a la proporción máxima del cable.

f. Infraestructura del sistema. Como se mencionó anteriormente, los sistemas solares deben estar orientados en la dirección necesaria dependiendo de la ubicación geográfica con respecto al sol. Se debe tomar en cuenta que no haya obstáculos que impidan que los rayos lleguen al panel solar y que estén en un lugar elevado. Dependiendo de en dónde se van a ubicar los paneles se pueden realizar torres de materiales tales como madera para sostener la infraestructura del panel y mantenerlo firme ante amenazas ambientales tales como tormentas o viento.

Lo ideal es siempre instalar los paneles en niveles altos de techos, sin embargo, debemos de tomar en consideración los casos en los que esto no es posible. Cuando no se puede instalar el panel en un techo se debe instalar a cierta altura tal que no exista sombra de edificaciones o árboles que impidan el correcto funcionamiento. Nuevamente es importante que la infraestructura dedicada al soporte del panel sea lo suficientemente resistente.

Cabe mencionar que los paneles o módulos solares deben ser accesibles, deben limpiarse con regularidad y maniobrarlos con facilidad, si existiera alguna falla en el sistema.

Figura 87. Estructuras para paneles solares

Fuente: Obregozo, 2010

g. Dimensionamiento de los sistemas solares fotovoltaicos. El dimensionamiento de un sistema solar consiste en determinar cuando la capacidad del sistema es capaz de soportar la demanda de los usuarios. Existen zonas en las que la energía eléctrica proporcionada por alguna empresa no es viable, ya sea por lejanía o algún otro factor, los sistemas solares deben de ser altamente confiables para que pueda dependerse de ellos.

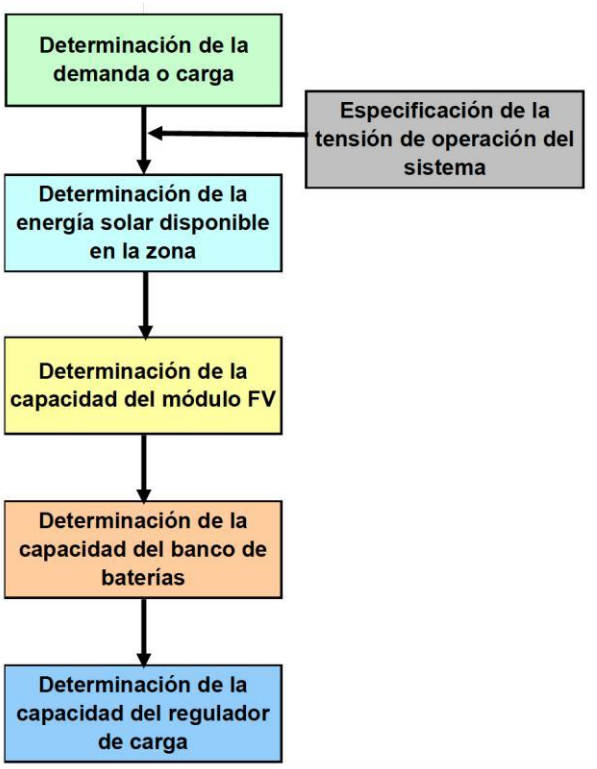
El método del dimensionamiento se fundamenta en el balance de energía:

Energía Generada = Energía Consumida + pérdidas propias del sistema fotovoltaico

El diseño inicia con los requerimientos del usuario, y los factores climáticos que deben de considerarse siempre para la instalación. El sistema fotovoltaico busca siempre satisfacer las necesidades de los usuarios de una manera confiable a los más bajos precios.

El siguiente diagrama de flujo detalla los pasos que deben de considerarse a la hora de diseñar un sistema solar fotovoltaico.

Figura 88. Pasos para el diseño de sistemas solares



Fuente: Obregozo, 2010

Para diseñar un sistema solar fotovoltaico se utiliza el método simplificado. Lo más conveniente es realizar un balance de carga (Ah/día) ya que la batería tendrá una tensión variable a lo largo del día de trabajo dependiendo siempre del estado de la misma.

Este método utiliza valores medios mensuales diarios de radiación global y de la carga, además el sistema se diseña para el día más desfavorable de las condiciones climáticas y se debe tomar en cuenta las características climáticas de la zona y la finalidad de la instalación.

A continuación se debe hacer el cálculo de consumo de energía. Se multiplica la potencia (W) de cada uno de los equipos de los cuales se dispone por el número de horas (h) de su utilización respectivamente (W/h).

Estos factores están siempre disponibles al cambio dependiendo de la época del año, la cantidad de usuarios y las condiciones socioeconómicas de la zona de utilización. Por esto es que se hace una estimación siempre de un lado conservador para que el sistema funcione en todo tipo de condiciones.

Para estimar la carga de consumo diaria (Ah/día) se divide la energía de consume diaria por la tensión nominal del sistema (V). La carga real necesaria a suministrar por el sistema solar fotovoltaico (L) se calcula teniendo en cuenta las eficiencias y pérdidas de los subsistemas que operan dentro de un sistema solar.

En donde:

L es la carga real necesaria.

L_{dc} son las cargas en corriente continua.

L_{ac} son las cargas en corriente alterna.

N_{inv} es la eficiencia media del inversor, 85%.

A continuación se muestra un ejemplo de cómo se debe calcular la estimación de la carga

Tabla 17. Ejemplo de estimación de cargas

Estimación de carga						
Descripción	**Unidades**	**Potencia AC (W)**	**Potencia DC (W)**	**Horas uso (h)**	**Energía/día (Wh/día)**	**Carga/día (Ah/día)**
Luminaria	3		11	4	132	11.00
Televisor B/N	1		20	4	80	6.67
Radio portátil	1		16	4	64	5.33
TOTAL					**276**	**23.00**

Fuente: Obregozo, 2010

1) Cálculo del generador fotovoltaico. La potencia máxima del generador fotovoltaico se encuentra teniendo en cuenta la relación total daría que incide sobre la superficie de los paneles. Y el rendimiento del sistema tomando en cuenta las perdidas total por las conexiones del mismo.

El cálculo del número de paneles viene dado por la ecuación:

$$= \quad *$$

En donde:

N_{ps} es el número de módulos asociados en serie trabajando en tensión nominal en el sistema.

N_{pp} es el número de módulos asociados en paralelo para entregar la intensidad adecuada de energía.

V_{gn} es la tensión nominal del sistema.

V_{np} es la tensión nominal del modulo

L es la energía al a suministrar

I_m es el valor que toma a intensidad en el rango de tensión de trabajo, desde el punto máximo al corto circuito.

G_{dm} es la radiación global media mensual.

2) Cálculo de la batería. Para realizar el cálculo de la batería es necesario estimar el número de días de autonomía, d, requeridos en la instalación. Estos días dependen de la cantidad máxima de días sin sol que pueden dares en la zona estipulada. La batería en Ah, amperios hora, vendrá dado por,

$$h = \quad *$$

En donde:

C es capacidad de la batería en Amperios hora.

L es la carga real de consumo.

D son los días de autonomía de la instalación.

Pd es la profundidad de descarga máxima de trabajo, este parámetro depende de la batería, los valores son de 0.5 para barrerías de automoción, 0.6 para baterías de placa plana espesa y 0.8 para baterías tubulares o de varilla

Es de suma importancia que las baterías no se descarguen a menos del 60% ya que esto disminuye significativamente la vida de las mismas.

3) Cálculo del regulador de carga. El regulador de carga es escogido en función de la aplicación, la tensión nominal del sistema y la corriente máxima de generación. La corriente n operación continua que debe ser soportada por el regulador de carga, será como máximo la intensidad de corto circuito de los módulos multiplicado por el número de módulos del sistema.

$$= \quad *$$

En donde:

I_{mg} es la intensidad máxima a soportar por parte del controlador de carga.

N_{pp} es el número de módulos en paralelo que constituyen el sistema.

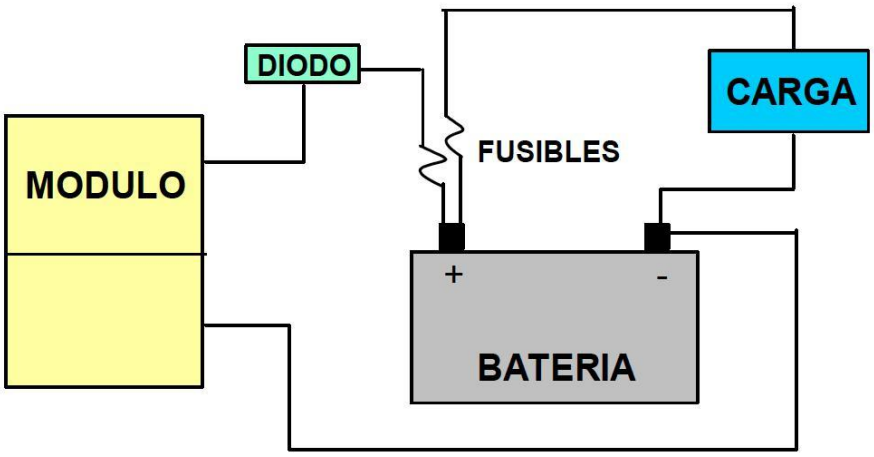
I_{cc} es la intensidad de cortocircuito del sistema.

4) Cálculo del inversor de carga DC/AC. En muchas de las instalaciones fotovoltaicas de energía solar es necesario subintrar energía en corriente alterna AC por lo que se necesita un dispositivo para invertir la corriente directa producto del sistema fotovoltaico en corriente alterna. Siempre debe conectarse el inversor de carga directamente a la batería para que los picos de carga no dañen el controlador de carga.

Se suman las potencias de los equipos de corriente alterna AC, este resultado es la capacidad del inversor de carga. Por supuesto que el inversor debe de tener una capacidad mayor para evitar problemas de sobrecarga cuando los equipos necesiten mayor potencia, como por ejemplo en el arranque de los mismos.

5) Cableado. Para realizar un correcto cableado se debe hacer un diagrama eléctrico unifilar en el cual se representan en la que se representan todas las partes del sistema eléctrico de modo gráfico, siempre tomando en cuenta las conexiones que hay entre ellos.

Figura 89. Cableado de sistemas solares



Fuente: Obregozo, 2010

Siempre se debe tomar en cuenta si el sistema es de mayor complejidad, en este caso se hará lo siguiente:

Dividir el arreglo de paneles solares en grupos de generadores, cada uno con su regulador de carga. Cablear los módulos en serie y paralelo.

Cablear las baterías en un banco.

Crear centros de manejo de la carga.

Instalar diodos de bloqueo.

Instalar fusibles para controlar las descargas de energía.

El cableado debe cumplir con las siguientes condiciones:

Deben ser aptos para el ambiente en que se instalan, dígase para intemperie o interiores.

Deben tener la capacidad requerida para soportar la corriente máxima que fluye por ellos. La caída de voltaje debe ser menor al 2.5% siempre

En la tabla siguiente se presentan los distintos tipos de cables y sus capacidades.

Tabla 18. Capacidades de distintos cables

CALIBRE [AWG]	AMPACIDAD [A]	Ω/1000m [Ohm]	Ω/1000ft [Ohm]
16	6	14.7277	4.489
14	15	9.2618	2.823
12	20	5.8235	1.775
10	25	3.6647	1.117
8	35	2.3041	0.7023
6	50	1.4488	0.4416
5	55	1.1490	0.3502
4	70	0.9114	0.2778
3	80	0.7228	0.2203
2	90	0.5732	0.1747
1	100	0.4544	0.1385
0	125	0.3606	0.1099
00	150	0.2858	0.08712
000	175	0.2267	0.06909
0000	225	0.1798	0.05479

Fuente: Obregozo, 2010

Ω es la Resistencia del cable

Ω **/1000ft** es la Resistencia específica para cada 1000 pies de cable de cobre

h. Instalación de los sistemas solares fotovoltaicos

Paso # 1, Selección del lugar de instalación

El modulo solar debe instalarse siempre en un lugar elevado, libre de sombra e inclinado en dirección al sol, previamente se mencionaron las características a tomar en cuenta. Puede hacerse uso de una brújula para buscar la orientación correcta de la salida del sol y cuando se oculta, la idea es que el panel reciba la mayor cantidad de rayos solares durante el día.

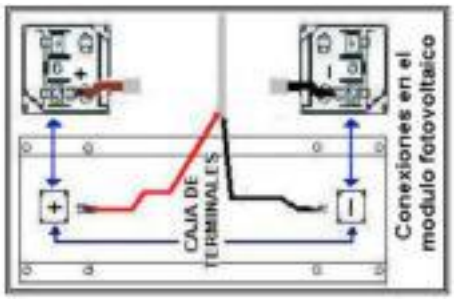
Paso # 2 Instalación de los paneles solares

Usualmente el proveedor del sistema solar fotovoltaico brinda la infraestructura necesaria para la correcta instalación y fijación del panel, sin embargo, si en alguno de los casos no es apto el equipo suministrado por alguna razón se debe de tomar en cuenta que las bases son de acero inoxidable o aluminio, deben pernearse si se montan en bases de madera o fundirse si están sobre una base de concreto.

Paso # 3 Conexiones del panel solar

- Revisión y preparación de paneles solares.
- Revisión y preparación de los cables de conexión.
- Medir la distancia entre el panel solar y el regulador de carga, esta no debe de ser mayor a diez metros y el cable a utilizar es conductor bipolar vulcanizado 12 AWG, flexible para exteriores.
- Pelar los cables y conectarlos, de acuerdo a su polaridad, a las bases previamente instaladas en el panel solar.
- Hacer las conexiones en las cajas de terminales (borne positivo y borne negativo). Cable rojo para el positivo y cable negro para el negativo.
- Montar el panel solar a su lugar final y fijarlo.

Figura 90. Conexión del panel solar

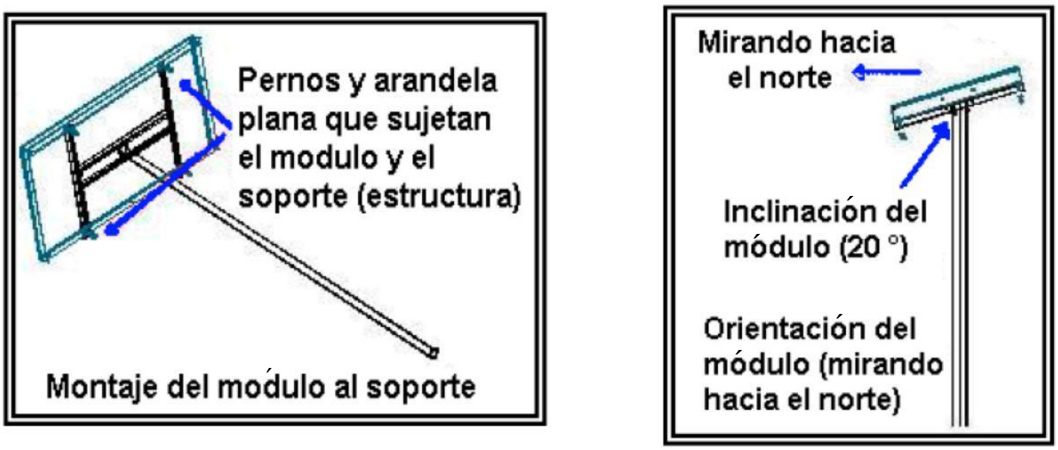


Fuente: Obregozo, 2010

Paso # 4 Conexiones con el soporte

Conectar una varilla de cobre al soporte y dirigirla hacia el suelo en donde se conecta por medio por una medio de una mordaza al cable TSJ calibre # 8 y enterrados 3 metros en el suelo.

Figura 91. Soporte para paneles solares

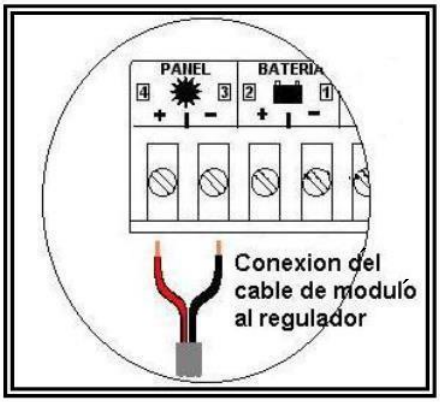


Fuente: Obregozo, 2010

Paso # 5 Conexiones al regulador de carga

Se procede a conectar el cable positivo y negativo procedentes del panel solar a las conexiones del regulador en la sección destinada para el panel siempre respetando las polaridades de los cables, es recomendable utilizar colores rojo y negro y destinar el rojo para positivo y el negro para negativo.

Figura 92. Conexión al regulador de carga



Fuente: Obregozo, 2010

3. Instalaciones eléctricas en casa de madera CLT y secciones laminadas. Las viviendas son diseñadas con cables y calibres mínimos, los valores de tensión que circulan por las instalaciones son básicamente de 110V siempre tomando en cuenta las recomendaciones básicas de instalación. No se debe exceder de ocho tomacorrientes por circuito de fuerza, las unidades de fuerza de 220V siempre se instalan como un circuito individual. Las unidades de iluminación son instaladas con un máximo de doce por circuito.

El cableado utilizado para las instalaciones es el siguiente. En todas las unidades de fuerza corren tres cables. Cable Negro # 12 para el vivo, cable blanco # 12 para en neutro y el cable verde # 12 para la tierra física. Para la iluminación se utiliza cable negro # 12 para el vivo, cable blanco # 12 para el neutro, cable amarillo # 14 para los retornos y el cable rojo # 14 para el 3-W. en los planos siguientes se presenta la instalación terminada para la casa de madera. Todas las unidades de fuerza corren por un tubo conduit de ¾", las unidades de iluminación por medio de tubería conduit de ½".

La casa diseñada en la sección de diseño estructural es de paneles de madera sólida, siguiendo el ejemplo de los europeos, las instalaciones eléctricas están sobrepuestas. En las paredes se está utilizando un sistema de tubería con abrazaderas. La tubería se coloca en los lugares requeridos llegando a cajas rectangulares en unidades de fuerza 110V y cajas cuadradas en unidades de fuerza 220V. Esta tubería se fija a la pared por medio de abrazaderas y por consiguiente la instalación queda vista en las paredes interiores de la vivienda. Es importante mencionar que esto es aceptado en países europeos, esto facilita mucho la instalación y reduce costos de instalación.

Las unidades de iluminación constan en cajas octogonales en donde saldrán las luminarias, cajas rectangulares en donde estarán conectados los interruptores. Nuevamente se está tomando en cuenta que las instalaciones quedaran vistas. La instalación respeta en todo momento las normas de instalación eléctrica. La caja de flipones tiene la ubicación en la lavandería de la casa, como se puede apreciar en los planos de fuerza e iluminación. La salida de tierra física se encuentra enterrada en la misma lavandería, esto no es más que una varilla de cobre enterrada tres metros bajo el suelo al cual le llega un cable de cobre # 8 amarrado a la barra de neutros de la caja y una mordaza en la varilla de cobre.

4. Instalaciones hidráulicas plomería

a. Tubería. Las instalaciones de plomería e hidráulica en una vivienda son para abastecer los ambientes de agua potable de manera eficiente y sin interrupciones. Para esto se utilizan tuberías, estas son usualmente de material PVC o de hierro galvanizado. Los materiales antes mencionados son los ideales ya que soportan vibraciones y cargas.

1) Tubería galvanizada. La tubería de acero galvanizado de acero y su proceso es estirado o con soldadura con la diferencia que ha sido sometida a procesos de galvanizado interior y exterior. Primero se debe moldear el tubo y posteriormente aplicarle el galvanizado. La tubería de acero galvanizada es usada en exteriores debido a que tiene una gran resistencia a golpes por las mismas características del material. Las conexiones de esta tubería deben realizarse también con acero galvanizado para conservar las características del mismo en los puntos débiles como las uniones o quiebres.

El tipo de conexión más común en el área de las viviendas está en los puntos de atravesar las calles en urbanizaciones, ya que tendrían que soportar el tráfico. También se deben utilizar en las salidas de plomería, conectándolas a las redes de PVC, es decir, el PVC será el que conforma la red de plomería mientras que la salida será de acero galvanizado para evitar quebraduras por golpes. Es importante mencionar también que el acero galvanizado ira fundido dentro de las paredes, dando así un mejor soporte. Este es el uso de los Niples.

Figura 93. Tubería y accesorios galvanizados

Fuente: Rodríguez, 2004

2) Tubería PVC. El PVC o poli cloruro de vinilo es un material de una alta calidad, larga durabilidad y fácil de trabajar debido a sus características mecánicas. El PVC es moldeable a altas temperaturas y rígido a bajas, esto lo vuelve ideal para conformar redes de plomería y drenajes. El PVC puede ser una solución al trabajar redes de plomería de agua fría, estas usualmente están enterradas y en ellas circula agua a bajas temperaturas.

En comparación con el aluminio y el acero galvanizado el PVC puede tener menor resistencia por sus propiedades mecánicas pero cumple al ser más liviano y al mismo tiempo ofrecer una muy alta resistencia que le permite manejar altas presiones. El PVC es muy bueno para resistir factores de corrosión y resistentes a químicos, esto es ideal para manejar agua potable. Otra de las ventajas del PVC es que su interior es liso, esto permite que se disminuya la fricción.

El PVC puede trabajarse con pegamento especial para este material. Con esto se logran conexiones y quiebres con velocidad y eficacia. El pegamento PVC es de secado rápido, y cuando ya ha secado es flexible. La flexibilidad le permite deformarse cuando hay variaciones en la temperatura.

Figura 94. Accesorios PVC para agua potable

Fuente: Rodríguez, 2004

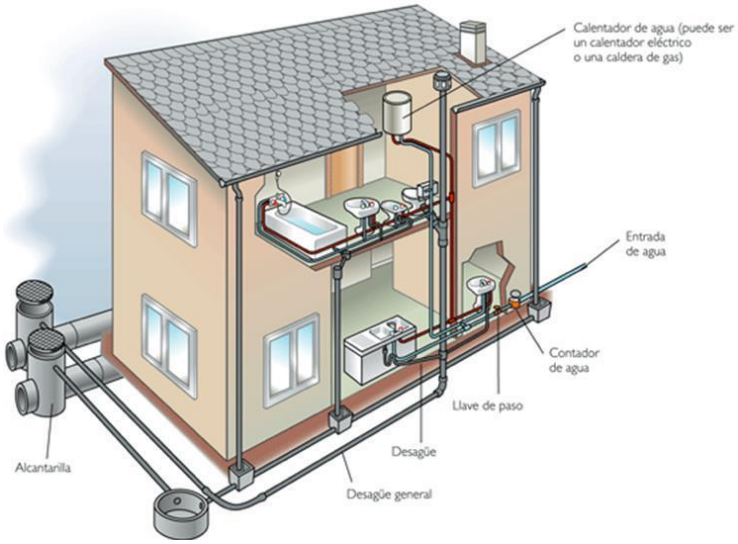
Las medidas de la tubería PVC van desde media pulgada hasta cuatro pulgadas.

Figura 95. Tubería PVC

Fuente: Rodríguez, 2004

b. Instalación de agua potable, agua fría . La instalación de agua potable en una vivienda comprende dos grandes áreas, el agua caliente y el agua fría. Estas dos áreas comprenden las necesidades básicas de los habitantes de las casas, tener agua potable para todos los procedimientos de higiene tales como limpieza del hogar, lado de ropa, platos, etc. Y la combinación de agua fría y caliente para la higiene personal, duchas y lavamanos.

Figura 96. Esquema de instalacion de agua potable



Fuente: Rodríguez, 2004

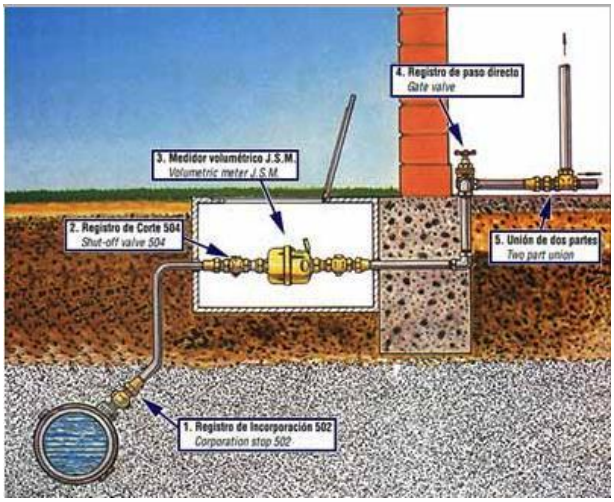
Las instalaciones de agua en las viviendas comienzan en la llave de paso. El presente caso de la vivienda es el de una instalación con contadores divisionarios o un contador único. La llave de paso está ubicada inmediatamente después del contador. En una vivienda siempre debe existir una llave de paso para emergencias y reparaciones, esta llave de paso debe tener acceso fácil.

Partiendo de la llave de paso, la instalación de agua potable se ramifica formando la red o la instalación interior que abastece cada uno de los aparatos de consumo. Un local húmedo es una habitación con aparatos de consumo de agua. Considerados como locales húmedos están las cocinas, lavaderos, retretes, cuartos de aseo y cuartos de baño. Dependiendo de la cantidad de locales húmedos instalados en la vivienda será la complicación de la instalación hidráulica.

c. Partes de la instalación hidráulica

1) La acometida. Una acometida es la parte de la instalación hidráulica que una la red pública de agua con la red interna de la estructura. Sus partes son el ramal y la llave de registro.

Figura 97. Acometida de agua potable



Fuente: Zepeda, 2008

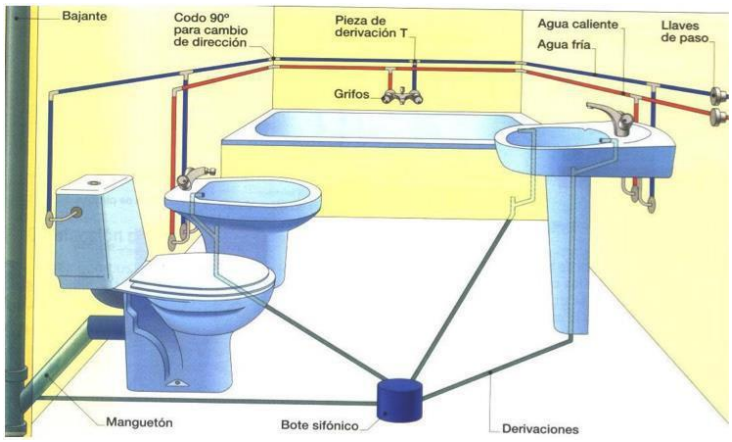
2) El contador. El contador es un dispositivo instalado después de la acometida, ya dentro del terreno de la propiedad, que sirve para medir el consumo de agua. Por medio de estos aparatos es que se realizan los cobros pertinentes cuando el lugar es abastecido por red pública.

Figura 98. Contador de agua potable

Fuente: DURMAN, 2001

3) Red de distribución. Luego de que el agua entra a la propiedad debe crear una red de plomería. Esta se realiza con materiales de tubería convenientes dependiendo de las circunstancias del caso, ya sea económicos o estructurales. Es importante calcular el diámetro de los tubos que van a ser instalados, dependiendo de la cantidad de agua que va a recorrer el circuito así como la demanda del mismo. La idea de que el circuito de agua vaya cerrado es que en todos los puntos de la red se maneje la misma presión y esta no se vea afectada porque distintas salidas estén abiertas al mismo tiempo, como se mencionó, la presión debe ser constante en todos los puntos de la red, incluso cuando estén abiertas todas las salidas de agua.

Figura 99. Esquema de agua potable en baño



Fuente: García, 2009

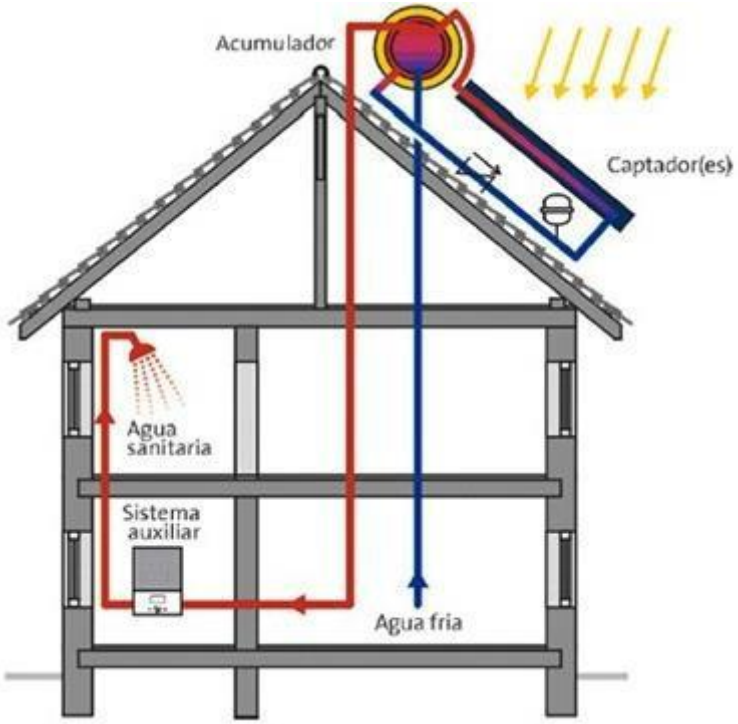
4) Instalación de agua caliente. Las viviendas deben tener una red interna de agua caliente que debe conectarse desde un aparato que eleve la temperatura del agua para poder ser transportada así hacia los puntos de descarga. Esta agua caliente se usa en baños, lavamanos, duchas, lavatrastos, lavadoras de ropa. Etc.

Para la instalación de agua caliente debe contarse con un calentador de agua, este puede ser eléctrico o solar. Este también debe tener la capacidad suficiente de galones dependiendo de las necesidades de los habitantes. El calentador estará ubicado en una zona cercana a los puntos de descarga, esto disminuirá la baja de temperatura dentro de las tuberías por largas distancias.

Existe también una tubería especial para el movimiento de agua caliente. El agua caliente puede circular por tubería galvanizada sin ningún problema, pero de la misma forma puede hacerlo por PVC, lo único es que la tubería debe de ser especial para agua caliente. CPVC es la tubería ideal.

Al igual que las redes de agua fría, el agua caliente debe de circular por un circuito cerrado, esto garantizara la misma presión en todos los puntos de la misma. Los diámetros pequeños de tubería de CPVC son buenos en viviendas ya que se conserva de mejor manera la temperatura.

Figura 100. Agua caliente desde calentado solar



Fuente: Zepeda, 2008

d. Instalación en casa de madera CLT y secciones laminadas. Una vez estudiados los temas de instalaciones de plomería, tanto agua fría como agua caliente, se puede estudiar cómo sería la instalación en una vivienda construida con secciones laminadas o CLT. Como sucedió en el caso de la energía, una vivienda de CLT o Secciones laminadas no cuenta con los espacios en paredes que cuentan las casas de block tradicional. Una vivienda en madera es de paredes sólidas por lo que, siguiendo nuevamente el ejemplo de los europeos, las instalaciones de agua potable y agua caliente son sobrepuestas en las paredes. Utilizando el sistema de abrazaderas se fija la tubería a los muros y se conectan todos los artefactos.

Esta vivienda, como cualquier otra, tendrá instalaciones básicas, una red principal formada por tubería PVC de 1" de 250 psi. Las redes internas, como se demostrara en planos, están formadas por tubería PVC de ¾' de 250 psi. La salida de los artefactos de todas las redes está formadas por tubería PVC de ½" de 315 psi.

Las redes de agua potable están instaladas bajo el piso de la vivienda ya que esta será suspendida sobre pilotes. Instalar la tubería en este sistema facilita el armado pues la tubería pasa directamente debajo del lugar de la instalación del artefacto. Las subidas de plomería hacia el segundo nivel están colocadas sobre las paredes y amarradas con abrazaderas, a elección de los posibles clientes, esta instalación puede esconderse con madera contrachapada o cajones del mismo material de las paredes.

1) Instalación en cuartos húmedos. Con el fin de facilitar la instalación y hacer mucho más segura la vivienda, la instalación de agua potable está estrictamente restringida a los cuartos húmedos de la casa. Un cuarto húmedo es aquel que tiene artefactos de uso hídrico. Se realiza una red principal que abarca desde la entrada de agua, pasando por el baño de visitas, baño de servicio, lavandería y cocina. Esto garantiza que en la eventualidad de tubos quebrados o tapones, los ambientes que estarían expuestos a fugas son los cuartos húmedos.

2) Consumo promedio de habitantes. El diseño de agua potable en una vivienda está realizado por la cantidad de habitantes y la dotación diaria de cada uno. Tomando en cuenta una dotación diaria de 250Lhab/día, se llegó a la conclusión que el diámetro de la turbia es el mínimo, como cualquier otra casa de habitación. Enfocando la casa a un nivel socioeconómico alto, la dotación promedio para los habitantes es alta, 250Lhab/día.

3) Fuente de abastecimiento. Una vivienda necesita una fuente de abastecimiento de agua potable, sea cual sea la fuente debe de mantener una presión constante para que pueda llegar a todos los ambientes que se necesitan en la vivienda. Las fuentes de abastecimiento de agua potable son muchas, puede ser proporcionado por la red de la urbanización, puede ser proporcionada por la municipalidad o puede ser extraída de los mantos acuíferos del suelo. Sea cual sea la fuente debe de ser suficiente para cumplir la demanda de 250Lha/día.

Cuando la fuente de abastecimiento está proporcionada por la red de la urbanización, todos los trámites de papelería deben llevarse a cabo por medio de la administración de la misma. El usuario es el responsable de solicitar el servicio y la urbanización la encargada de llevar la conexión hasta el contador de agua, de allí en adelante es responsabilidad del usuario la correcta instalación.

Cuando la fuente es suministrada por la municipalidad, el usuario debe solicitar el servicio en la entidad encargada de proveerlo, fuese la alcaldía o cualquier ramificación de la misma. Ellos realizarán el estudio pertinente para comprobar que si es factible realizar la conexión y que será suficiente para abastecer los requerimientos del cliente. Si esto no se cumpliera, queda en el diseñador disminuir la dotación diaria del usuario.

La tercera opción para abastecimiento de agua es la de los mantos acuíferos. Esta opción es la que hace que una vivienda sea auto sostenible. Excavar un pozo, colocar una bomba para extraer el agua y abastecer la vivienda es una responsabilidad que comienza con el estudio pertinente, que dictará si la cantidad de agua es suficiente para satisfacer las necesidades. La alcaldía del lugar también forma parte en este punto, si ella

lo considera pertinente se realizara el proyecto. El pozo se excava hasta la profundidad en la que el agua encontrada sea la adecuada. Luego se sumerge una bomba para extraer el líquido y así abastecer la vivienda.

5. Instalaciones hidráulicas drenajes

a. Redes de drenajes aguas pluviales. Las redes de drenaje de aguas pluviales evacuan el exceso de agua producido por precipitaciones o irrigaciones que no logran infiltrarse en el suelo. Estas aguas provocan un excedente en las viviendas, por lo que es de vital importancia sacarlas. El agua pluvial no evacuada provoca problemas como molestias a zonas jardineadas, erosiones superficiales en lugares en donde esta se empoza, y sobrecargas innecesarias en techos. Estas aguas pueden llegar a ocasionar daño estructural de las losas de concreto y otras estructuras de construcción.

Figura 101. Problemas y soluciones de aguas pluviales

Fuente: García, 2009

1) El suelo. El suelo es el intermediario por el cual debe de circular el agua antes de comenzar su proceso de infiltración en el subsuelo. El paso del agua está regido por el porcentaje de infiltración del suelo, que porosidad tiene este y cuál es el material por el cual está conformado. Los materiales tales como la arena y la roca tienen una gran permeabilidad, es decir, permiten el paso del agua. Materiales arcillosos y limos son de poca permeabilidad, estos no permiten que el agua circule, un buen ejemplo es el barro. Otro factor de suma importancia es el porcentaje de compactación que tenga un suelo, el tráfico constante puede reducir de gran manera la infiltración del agua en un lugar. Para verificar si el suelo es apto para absorber agua se puede sondear con una varilla de 90 cm de largo, tratar de perforar el suelo y ver cuánto es que esta logra penetrar. Si se pasa de los 25 centímetros, la tierra no está compactada y puede filtrar con más facilidad el agua.

2) Tuberías de drenajes. Cuando se trata de la tubería que se utiliza para la extracción de aguas pluviales a pendiente o inclinación es un tema muy importante a considerar. La pendiente es el porcentaje que una tubería subirá o bajara con respecto a un nivel específico. Es importante que las tuberías tengan inclinación, esto se debe a que el agua sigue la ruta de la gravedad, si se le da una inclinación a la tubería, el líquido que circule por ella seguirá la ruta de la gravedad. El porcentaje ideal en inclinación es del 2%, es decir. 2cm de profundidad por cada metro recorrido.

3) Diseño de drenajes. Son tres las funciones básicas en un sistema de drenajes para aguas pluviales: Recolectar agua, Transportar el agua recolectada por medio de tuberías y descargar el agua.

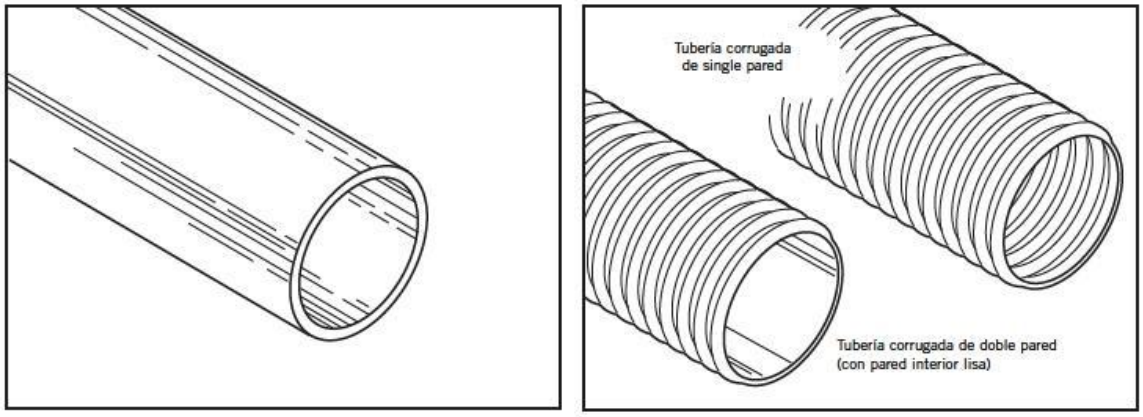
Tuberías de drenaje

Los dos tipos de tubería más comunes para drenajes son las tuberías corrugadas y las de alcantarilla de interior liso.

Las tuberías corrugadas de interior liso son conocidas por su economía, son flexibles y fáciles de instalar, su desventaja es que no tienen un interior liso que reduzca la fricción dentro de la tubería y facilite el movimiento del agua. Las tuberías corrugadas son fabricadas con polietileno de alta densidad (HDPE) por lo que las uniones deben de hacerse con rosca y no pueden pegarse.

Las tuberías de alcantarilla y drenaje resultan ser más rígidas que las corrugadas, esto hace que sea mucho más fácil manejar una pendiente constante en zonas críticas. Su interior es liso por lo que reduce de gran manera la fricción del liquida y facilita el movimiento del agua. Estas tuberías están fabricadas con cloruro de polivinilo (PVC) por lo que las conexiones de estos tubos pueden realizarse con pegamento. La mayor desventaja es el precio, son más costosas que las corrugadas.

Figura 102. Tuberías para alcantarillas y drenajes



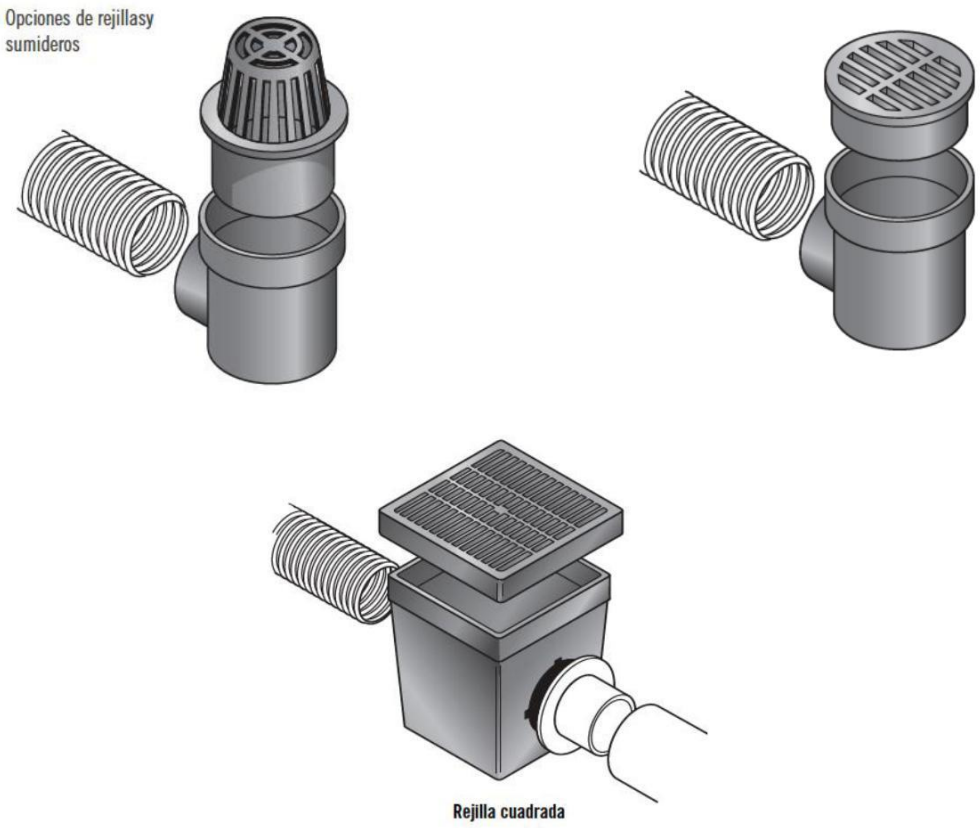
Fuente: Zepeda, 2008

Instalación de tuberías de drenaje

Como se mencionó anteriormente, la gravedad juega un papel de suma importancia con el agua drenada, la pendiente requerida es de 1% para las tuberías de interior liso o PVC, siendo el ideal el 2%. Cuando se trata con tuberías corrugadas, la pendiente puede incrementarse hasta en un 25% para compensar el interior corrugado contra el liso.

4) Colectores de materiales. Los colectores son utilizados con el fin de recolectar desechos que el gua pueda llevar consigo a la hora de fluir, estos desechos pueden ser de gran tamaño y ocasionar tapones, por ello es que resultan de gran importancia los colectores. El área de recolección del sistema se denomina rejilla para detener los desechos tanto naturales y artificiales que pueda llevar el agua. Los colectores deben de utilizarse en áreas en los cuales son frecuentes desechos como hojas, arena, hierba cortada, tierra o basura. Existe gran variedad de colectores, vienen en todo tipo de formas y tamaños, son fáciles de instalar y requieren mantenimiento con frecuencia relativo al entorno en el que se instalen.

Figura 103. Colectores de drenajes



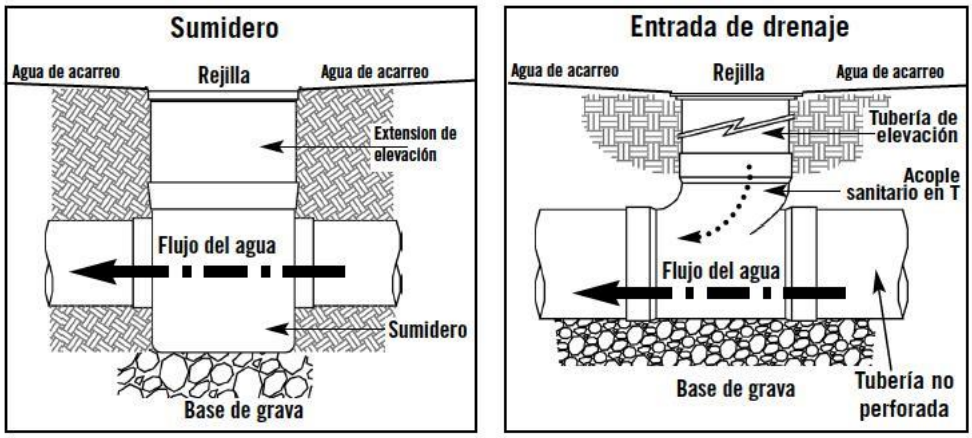
Fuente: INFOM, 1997

Instalación de sumideros y rejillas

Se debe escoger el tamaño de la rejilla de acuerdo a la cantidad de agua de las precipitaciones del lugar, el área superficial y el tipo de suelo. En ocasiones es necesario instalar más de un sumidero para poder trabajar con la cantidad de agua existente. Es necesario que el sumidero este ubicado en un lugar estratégico en el cual seca capaz de recolectar todos los desechos mencionados con anterioridad.

Se deben localizar los puntos bajos o las áreas en las cuales sea visible que se acumula agua. Se excava un agujero con la profundidad necesaria para que entre el sumidero y la rejilla, se instala el sumidero sobre una base firme, en ocasiones una fundición de concreto. Se conecta la tubería al sumidero y se rellena la zanja. A continuación se ilustra cómo debe instalarse el sumidero:

Figura 104. Sumideros y rejillas

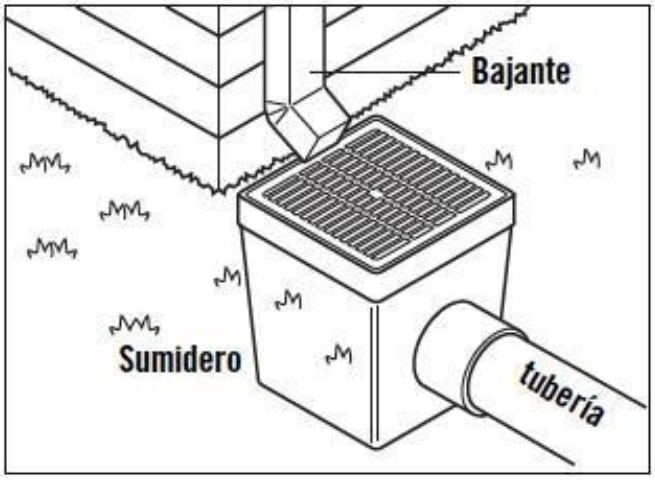


Fuente: INFOM, 1997

Bajadas de drenaje pluvial

Las bajadas de drenajes son útiles para eliminar de gran manera el exceso de agua acumulado en losas de techos. Estos tubos son conectados directamente a las redes de drenajes con accesorios tales como tee, codos, uniones, etc. Sin embargo es recomendable conectarlos por medio de un sumidero.

Figura 105. Bajadas de agua pluvial

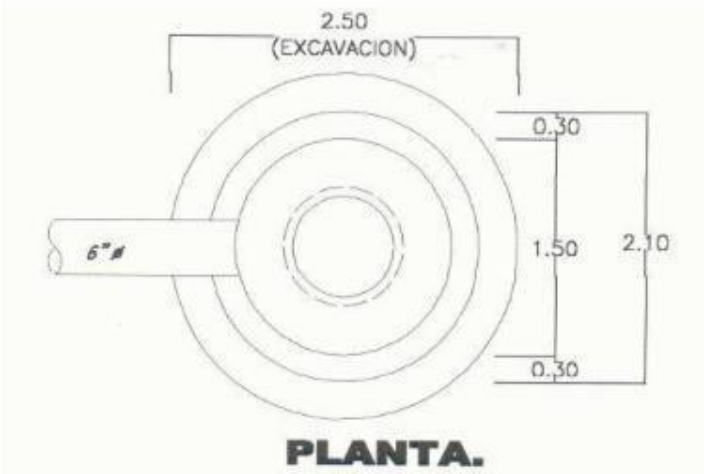


Fuente: INFOM, 1997

5) Desecho de agua. Una vez se haya recolectado el exceso de agua de una vivienda es necesario transportarla a un lugar seguro. Existen diversas opciones para la descarga de aguas pluviales, pueden descargarse a ríos, al drenaje pluvial de la urbanización o directamente al drenaje sanitario de aguas pluviales. La opción más viable es la tercera, pozos de absorción.

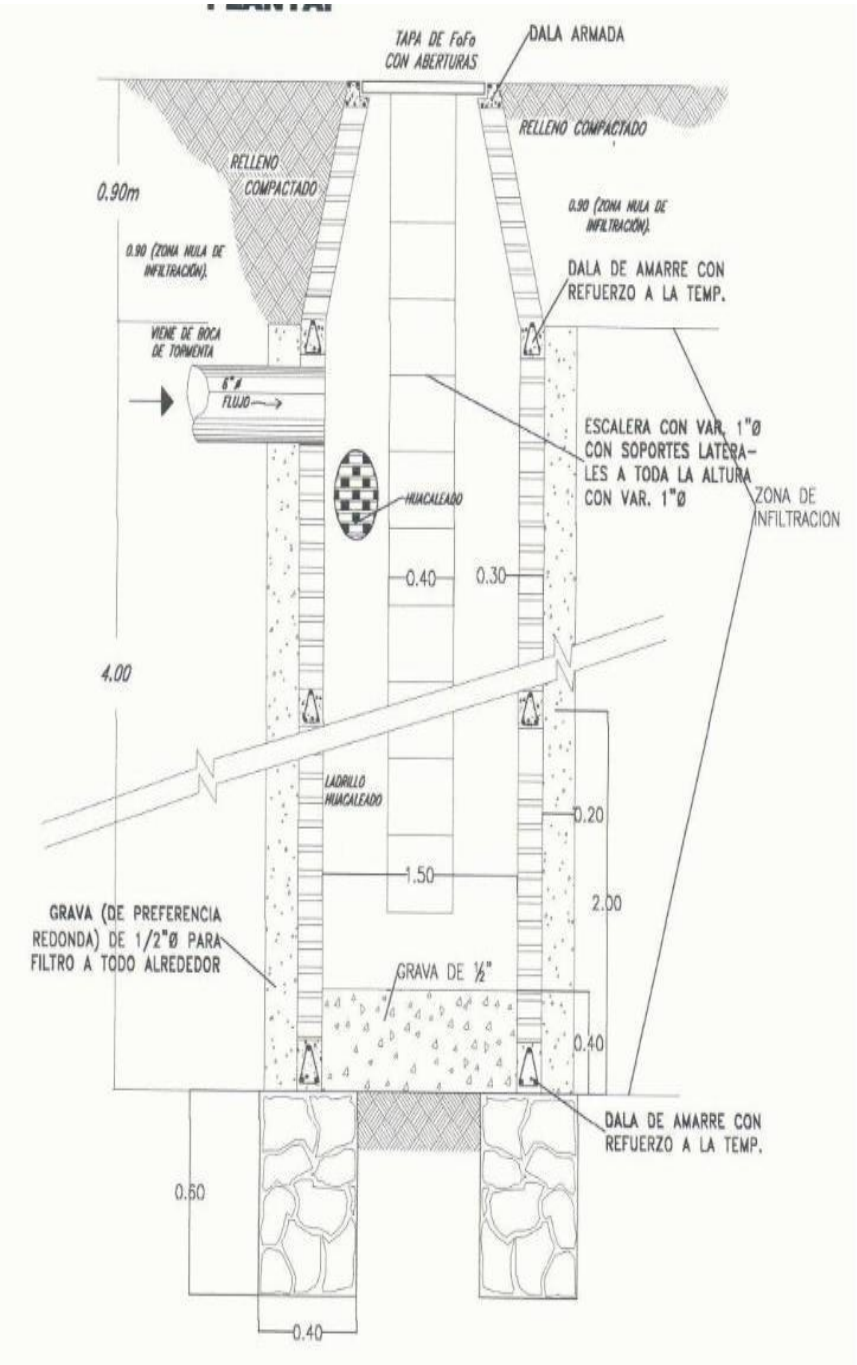
El sistema del pozo de absorción de tabiques circulares tiene una profundidad variable entre 10 y 25 varas, el proceso constructivo con block tabique permite que el agua se filtre por los hoyos del block, de la misma forma provee al terreno de un soporte en casos de desmoronamiento y derrumbes.

Figura 106. Planta de pozo



Miranda, 1995

Figura 107. Pozo de absorción



Fuente: Miranda, 1995

b. Redes de drenajes aguas negras. Las instalaciones de desagüe o evacuación tienen como finalidad recoger las aguas sucias y materias fecales en los ligares de producción y conducirlas fuera de la

edificación para verterlas en las instalaciones de saneamiento externas, redes de alcantarillado, fosas sépticas, biodigestores, pozos de absorción, etc. Dentro de las aguas que se evacuan de las viviendas existen diversos tipos:

Aguas blancas o pluviales.

Aguas amarillas o residuales.

Aguas negras o fecales.

Las aguas blancas o pluviales provienen de la lluvia recogidas en los tejados, terrazas, patios, etc. De las viviendas, su estudio se comprende en el capítulo anterior.

Las aguas amarillas o residuales son las procedentes de aparatos sanitarios de limpieza y aseo, fregaderos, lavabos, duchas, etc. Los retretes no son incluidos en esta parte.

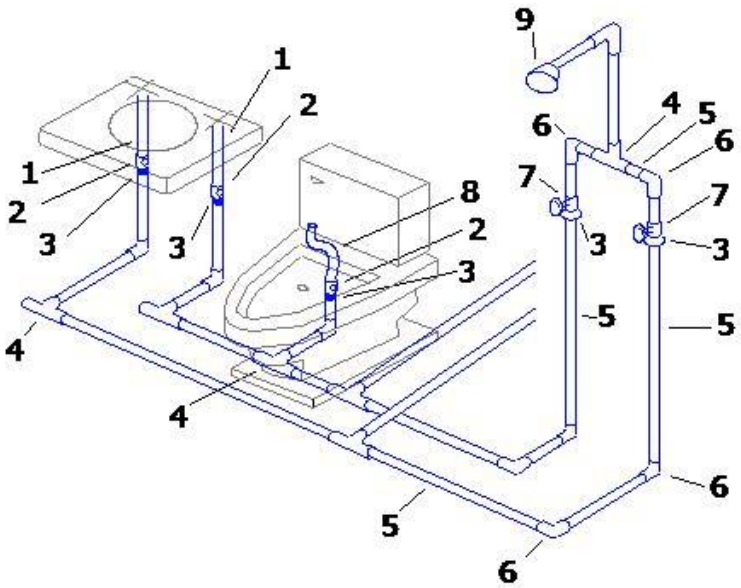
Las aguas negras o fecales son las que arrastran materias fecales y orina, procedentes de retretes e inodoros.

La evacuación de aguas de residuos sanitarios es el proceso por el cual una edificación se deshace de los residuos de carácter sanitario por medio de una red de tuberías estratégicamente ubicadas para realizar el proceso de la manera más eficiente posible. Los drenajes sanitarios deben de cumplir con ciertas condiciones.

Las aguas se deben evacuar rápidamente, llevándolas lejos de los aparatos sanitarios. El paso de aire, olores y organismos deben impedirse hacia el interior de las edificaciones y viviendas. Las redes de tuberías deben realizarse de materiales durables y deben instalarse de manera que no interfieran con el sistema estructural. Las aguas de las tuberías no deben tener efectos corrosivos en las tuberías, por lo que estas deben tener sistemas contra esto. Una red de evacuación de drenaje sanitario está compuesto por la red de tuberías, las trampas y la ventilación.

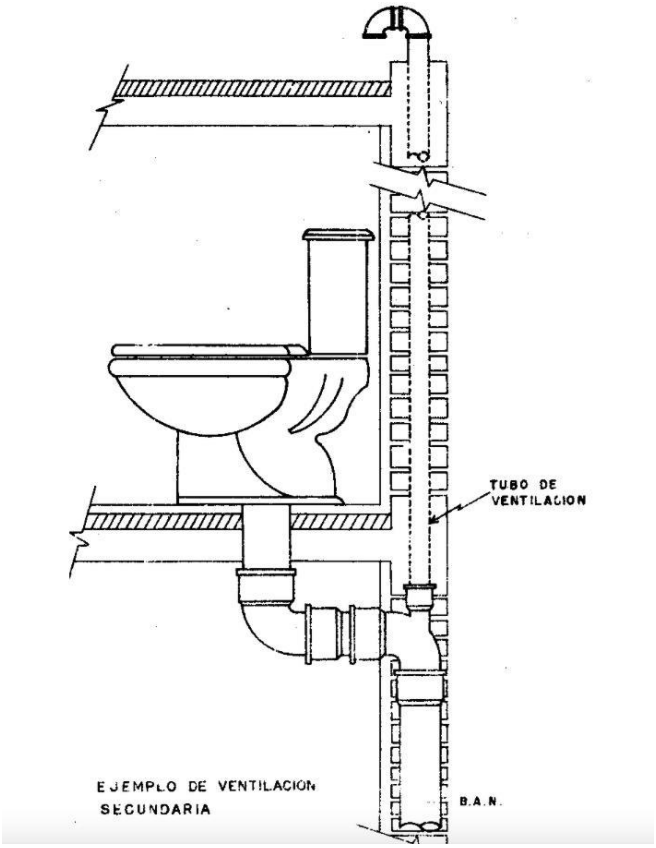
La red de tuberías es el conjunto de tubos que conectados entre sí crea un circuito para la evacuación de los desechos, en los niveles se conecta una red a la que llegan todos los desechos de inodoros, lavamanos, duchas, etc., estas llegan a una tubería madre que luego es transportada a una bajada, en caso de no estar a nivel de suelo, estas bajadas se instalan en una orientación vertical y son las encargadas de transportar los desechos al nivel del suelo. Cuando los desechos son movilizados hacia el nivel del suelo son captados por los colectores que posteriormente son llevados a la red de desagüe o en sistemas verdes, a un biodigestor.

Figura 108. Drenajes en un baño



Fuente: Rodríguez, 2004

Figura 109. Respiradero de sanitario



Fuente: Rodríguez, 2004

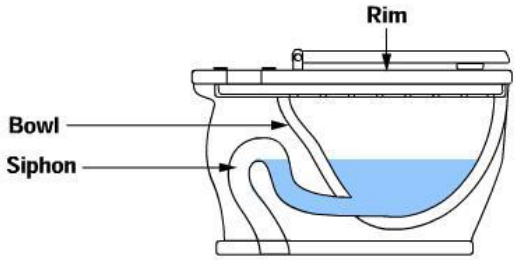
1) Trampas o sifones. Las trampas, también conocidas como sifones son dispositivos que cumplen con el objetivo de no permitir el paso de gases o emanaciones que vienen de la red de drenajes. Los sifones también son útiles para facilitar el paso de materias sólidos por la tubería.

Figura 110. Accesorios para drenajes sanitarios

Fuente: DURMAN, 2001

Los diferentes tipos de sifones cumplen con distintas funciones para distintas acometidas. Los sifones de fregadero, curvo o lavadero son los que se instalan a la salida de los aparatos tales como lavaderos, lavamanos, lavadoras, etc. Los sifones como botella son útiles para aguas sucias sobre patios, lavaderos o parqueos.

Figura 111. Sifón en inodoro

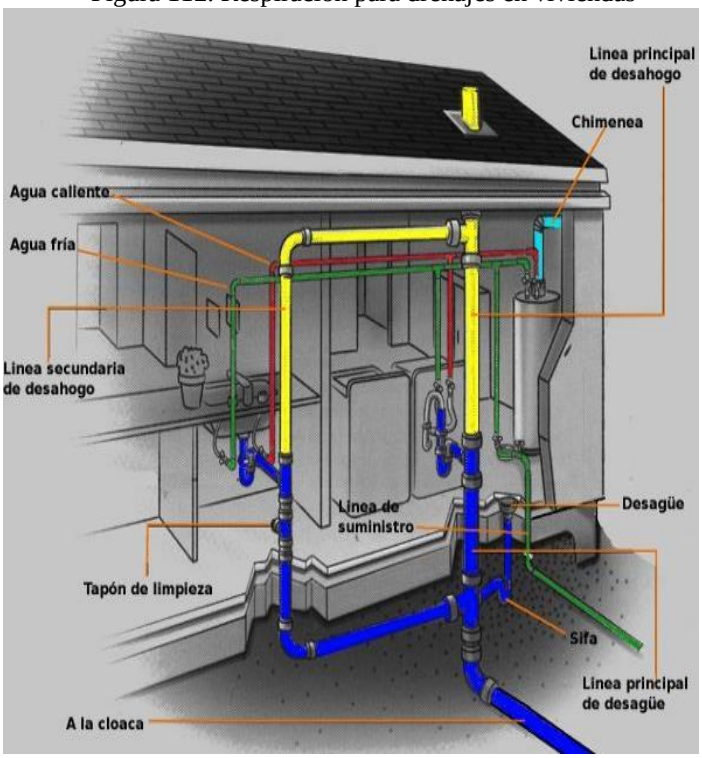


Fuente: (Zepeda, 2008)

2) Redes de ventilación. Las redes de ventilación del drenaje están constituidas por series de tuberías que interrumpen la red en puntos cercanos a los sifones, la principal función de estas es comunicar la red al aire exterior. Es importante tomar en cuenta factores para la instalación de la red de ventilación. Los tubos de respiraderos deben de tener el mismo diámetro en toda su longitud y deben de conectarse a la red de drenajes. Los sistemas de ventilación pueden ser simples o por medio de colectores.

Los sistemas de ventilación simples los sifones son ventilados directamente, este sistema es útil y eficaz, de costo moderado y fácil de instalar.

Figura 112. Respiración para drenajes en viviendas



Fuente: Zepeda, 2008

3) Aparatos sanitarios

Inodoro

Un inodoro consta de dos partes, la cubeta o taza y el depósito de descarga. La cubeta debe ser resistente a la corrosión, de diseño apropiado para evacuar rápidamente y de una manera total las materias fecales, y de facilidad de limpieza. El depósito o cisterna puede estar incorporado detrás del inodoro, o bien estar empotrado en la pared o colgado por encima de la taza. Debe ser de llenado silencioso y rápido y con un mecanismo duradero y sencillo.

Figura 113. Inodoro en drenajes

Fuente: Miranda, 1995

Bidet

La entrada del agua puede ser por el interior del borde de la taza o por la ducha, que puede estar colocada en el piso de la taza o en la parte superior y atrás de la misma. Van equipados con grifería para agua fría y caliente.

Figura 114. Bidet en drenajes

Fuente: Miranda, 1995

Tina

Utilizada universalmente en viviendas familiares, debe construirse con ciertas cualidades. Deberá tener superficie tersa, dura y de preferencia fondo plano a fin de evitar accidentes frecuentes. El desagüe debe tener la succión necesaria para descargar con rapidez el volumen de agua acumulado y el rebose deberá ser suficiente para no permitir que el gasto de entrada rebose hacia fuera de la tina. La tina es diseñada y fabricada en variedad de formas y tamaños así como en diferentes materiales. Sus dimensiones generalmente varían entre 4´ y 6´ y su altura entre 12” y 16”. Es fabricada en fibra de vidrio con los diseños más decorativos e ingeniosos.

Figura 115. Tina en drenaje

Fuente: Miranda, 1995

Ducha

Consiste esencialmente en un rociador que descarga una lluvia fina sobre la persona que la utiliza y va instalada generalmente sobre una poza de material, dentro de gabinetes metálicos y vidrio, o combinando con la tina. La alimentación de agua, ya sea fría o mezclada, se realiza a través de válvulas unitarias o de combinación, instaladas a altura conveniente que fluctúa entre 1.00m y 1.10m. La descarga al desagüe se hace a través de rejilla conectada a la trampa de la red de evacuación. Se considera al baño de ducha como el más ventajoso desde el punto de vista higiénico, por lo que es utilizado con mayor frecuencia en instalaciones públicas, o donde la utilizan mayor número de personas.

Figura 116. Ducha, accesorios de plomería

Fuente: Miranda, 1995

Lavatorio

Es uno de los aparatos más utilizados en el aseo personal, fabricado normalmente en porcelana vitrificada, y, como ningún otro aparato, viene en varios estilos, tamaños y modelos.

Como accesorios indispensables y de funcionamiento, el lavatorio se complementa con las llaves de suministro de agua fría y /o caliente, diseñados y fabricados también en gran variedad, desagüe con rejilla,

tapón o cierre automático para la descarga al sistema de evacuación y la trampa o sifón que sirve para mantener el sello hidráulico que evita la emanación de gases dentro de los ambientes. El lavatorio es instalado generalmente colgado en la pared, existiendo también con pedestal apoyado al piso, y su altura al borde superior se fija normalmente en 0.80m. del nivel del piso terminado.

Figura 117. Lavatorio de baño

Fuente: Miranda, 1995

Lavaderos

Aparatos que se utilizan para el lavado de utensilios, ropa y otros enseres, son diseñados y construidos en varios tipos, dependiendo de la función específica para la que son utilizados

- Lavadero de cocina: utilizado en el lavado de vajilla y utensilios, es el más frecuente. Fabricado en muchos modelos, generalmente con escurrideros, llaves de combinación, desagües automáticos, lavadero eléctrico de platos, triturador de desperdicios, etc.
- Lavadero de ropa: construidos normalmente en material de obra con las dimensiones que se adapten a las necesidades y espacio disponible, son equipados también con llaves individuales o de combinación, desagües con rejilla y tapón.
- Lavaderos de servicio: son fabricados en porcelana vitrificada, fierro enlozado o construidos en obra, son utilizados en edificios públicos, hospitales, clínicas, hoteles, etc., para el lavado de utensilios de aseo y limpieza.

Figura 118. Lavadero para vivienda

Fuente: Miranda, 1995

4) Trampas. Es un dispositivo construido para evitar el paso de gases del desagüe a los ambientes donde están ubicados los aparatos sanitarios, sin afectar la descarga de los mismos. A lo largo del tiempo se han diseñado y construido infinidad de trampas, siendo las más aceptadas por su eficiencia y práctica la trampa S y la trampa P.

Por el tipo de cierre, hay dos trampas conocidas las de cierre común y las de cierre profundo. La trampa de cierre común tiene un sello de agua de 5 cm. de profundidad, mientras que la de cierre profundo tiene un sello de agua de 10 cm. La primera está diseñada para situaciones normales, mientras que la de cierre profundo está diseñada para situaciones especiales como excesivo calor, presiones atmosféricas aumentadas o disminuidas, o circunstancias en las que no se pueda obtener ventilación completa.

No obstante el sello hidráulico con que cuenta la trampa, la descarga continua de los aparatos podría hacer que finalmente se pierda el sello. Para evitar este movimiento es muy importante tener en cuenta las recomendaciones de los sistemas de ventilación.

5) Accesorios complementarios. Existen además una serie de accesorios que no pueden ser considerados como aparatos sanitarios, pero que por su naturaleza y función, deben tenerse en cuenta, aunque podrían ser calificados como accesorios para desagües. Se mencionarán algunos de ellos a fin de que se tengan presente, ya que enumerarlos y detallarlos sería imposible debido a su variedad.

Soportes para aparatos sanitarios: son elementos de fijación para soportar total o parcialmente a los diferentes aparatos sanitarios que se instalan colgados en muros o semi apoyados al piso. Dentro de éstos se encuentran las escuadras para lavatorios, lavaderos, soportes con desagüe incorporado para inodoros, urinarios, pedestales para lavatorios, etc.

Accesorios para drenaje de techos: utilizados para la colección de agua de lluvia. Los diferentes modelos están diseñados para que se adapten a la forma y pendiente de techos, uniones entre tejados y parapetos, encuentros o juntas de techos, etc.

Accesorios para drenaje de pisos: utilizados para la colección de agua de lluvia, de limpieza o de otro origen, en los pisos de patios, zonas de parqueo, o ambientes en que sea necesario desaguar a través de pisos. También diseñados y fabricados para adaptarse a las diferentes formas, pendientes o ángulos de los lugares donde son necesarios, con o sin trampa incorporada.

Interceptores: accesorios, que si bien pueden considerarse como aparatos auxiliares de lavaderos, son, más bien, para evitar que los desagües transporten materias que puedan obstruir las tuberías o redes de alcantarillado. Es cierto que estos accesorios, cuando por necesidad, deben alcanzar

tamaños relativamente grandes, pueden ser construidos de albañilería en algunos casos. Entre los principales tipos de interceptores se encuentran los siguientes:

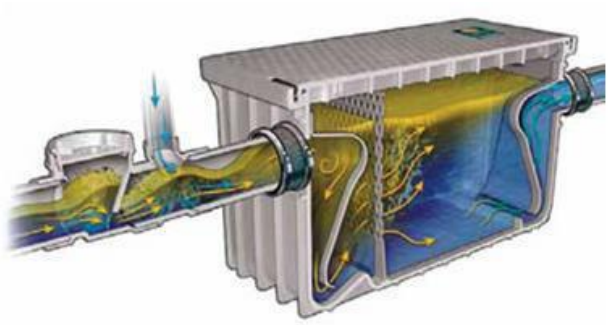
a) Interceptores de grasa: utilizados en lavaderos de cocinas, talleres, fábricas, etc., donde por su naturaleza existe la posibilidad de que algún tipo de grasa ingrese al desagüe.

b) Interceptores de aceite: utilizados en estaciones de servicio, garajes, lavanderías, laboratorios, donde se utilicen lubricantes, aceites, keroseno, gasolina, parafina, etc.

c) Interceptores de sólidos: utilizados en lugares donde cualquier tipo de sólidos podrían ingresar a las líneas de desagüe, como en clínicas dentales, hospitales y establecimientos similares.

d) Interceptores de pelos: utilizados en salones de belleza, peluquerías, hoteles.

Figura 119. Trampa de grasa



Fuente: Miranda, 1995

c. Fosa séptica. En la vivienda que se está proyectando, se plantea que esta será más amigable con el ambiente, que los otros métodos constructivos que se utilizan en Guatemala. Lo anterior debe de extenderse a lo largo de todos los componentes de la casa.

Es importante tomar en cuenta el correcto saneamiento de las aguas residuales que se van a generar en la vivienda. Para lograrlo existen diferentes métodos para realizarlos, hoy en día los más usados son, las fosas sépticas y los biodigestores.

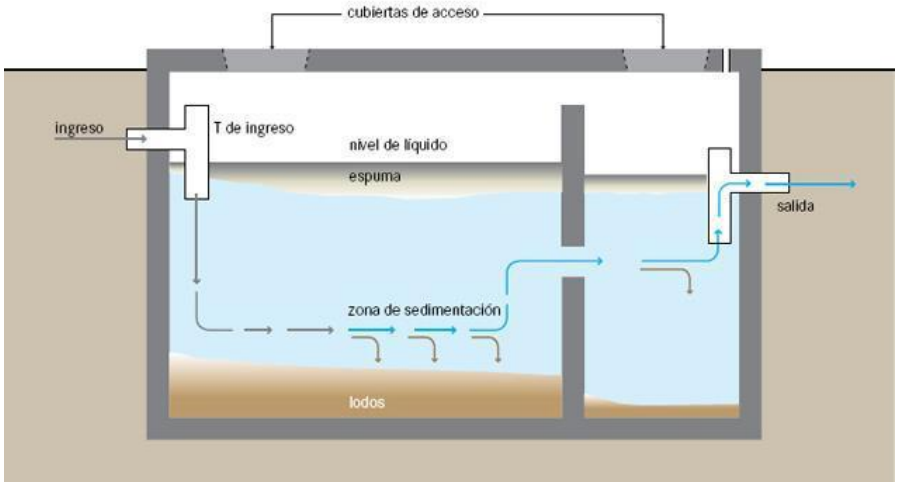
A continuación se encuentra el diseño de un apropiado sistema de fosa séptica y campo de absorción, que requiere la casa según las características que posee.

1) ¿Qué es una fosa séptica? Una fosa séptica es un contenedor hermético al cual llegan las aguas negras para darles un tratamiento primario. Este tratamiento se da separando los sólidos de las aguas negras, esto se lleva a cabo permitiendo que los mismos se asienten en el fondo del tanque. (Lesikar)

Luego los sólidos que flotan suben a la parte superior del tanque. Para realizar este proceso de manera correcta se deben retener las aguas negras por un mínimo de 24 horas. (Lesikar)

Es importante tomar en cuenta que solo algunos de esos sólidos son eliminados, mientras que otros permanecen en el tanque. Un 50% de los sólidos se descomponen y el otro se acumula. Debido a lo anterior se debe de bombear periódicamente el tanque para eliminar los otros sólidos no descompuestos. (Lesikar)

Figura 120. Fosa séptica.



Fuente: Recuperado de http://alianzaporelagua.org/Compendio/tecnologias/s/s9.html

2) Tipos de fosa séptica. Existen tres tipos de fosa séptica que son los más utilizados para el tratamiento del aua.

Fosa séptica de concreto, esta es la más común.

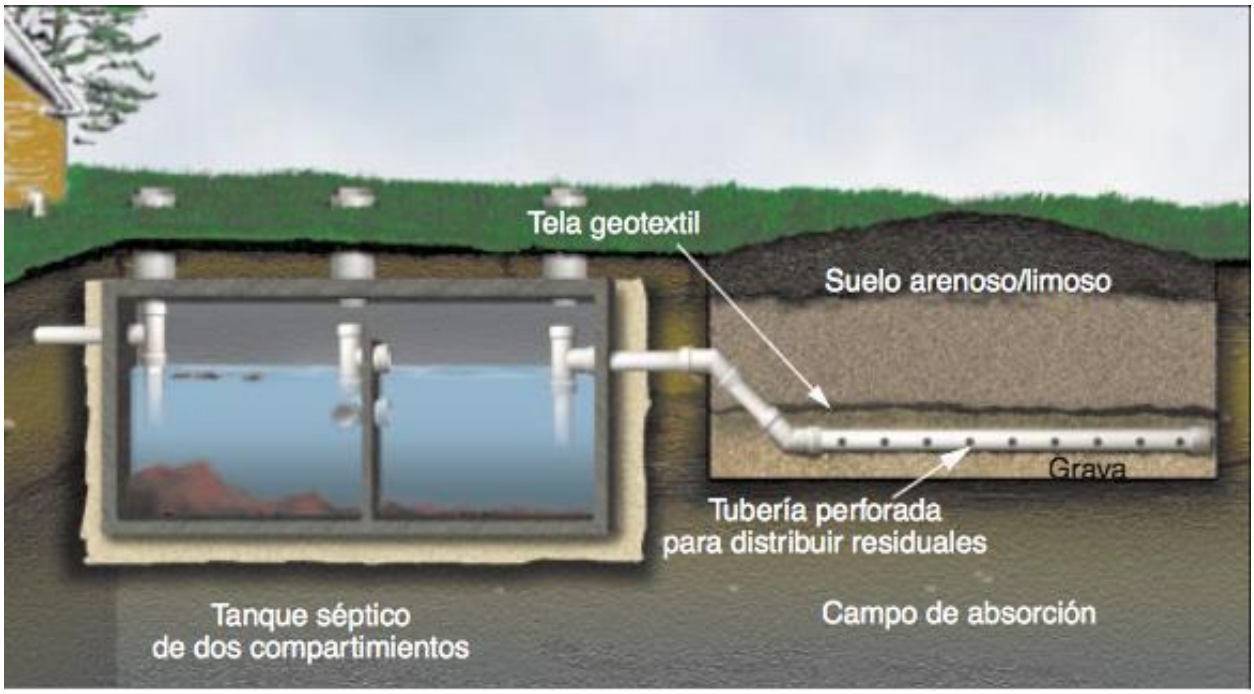
Fosas de fibra de vidrio, utilizadas para lugares de acceso difícil.

Fosas plásticas o de polietileno, son livianas por lo que también son para lugares con accesos difíciles.

Es importante tomar en cuenta también que los tres tipos de fosas deben ser herméticas para evitar que el agua entre o se salga del sistema. (Lesikar)

Para que una fosa séptica sea verdaderamente eficiente, esta se debe complementar con un campo de absorción para dar un tratamiento final a las aguas negras. (Lesikar)

Figura 120. Sistema completo de fosa.



Fuente: Lesikar, B. Recuperada de http://www.h-gac.com/community/water/ossf/ossf-treatment-systems_septic-tank-soil-absorption-field-s.pdf

Los sistemas convencionales se hacen con tuberías perforadas rodeadas de materiales como grava y suelo arcilloso, a veces se complementan con pedazos de llanta envueltos en geotextil. (Lesikar)

Cuando un sistema de fosa séptica es bien utilizado, se reducen la contaminación del agua. La demanda bioquímica de oxigeno se reduce en un 65% y el total de sólidos en suspensión en un 70%. Los aceites y grasas por su lado se reducen entre un 70% y 80%. (Lesikar)

d. Instalación de drenajes en casa de madera CLT y secciones laminadas. La instalación de drenajes, tanto pluviales como de aguas negras resulta siempre complicado dentro de una vivienda, los malos olores por la cantidad de deshecho que se producen dentro de una casa y la cantidad de agua que se evacua por lluvia resultan de gran riesgo si no se hace correctamente.

Una vivienda tradicional de block contiene sus bajadas de drenajes dentro del mismo block, esto le ayuda en el aspecto estético y arquitectónico, sin embargo, si no se marcan correctamente pueden ser perforadas por talaros y provocar filtraciones de desagües.

Para la vivienda propuesta de CLT y secciones laminadas se instalarán los drenajes con tubería de 3” y 2”. Estas tuberías estarán sobrepuestas en las paredes y obviamente a la vista. Esto en Europa no es un problema, instalar los drenajes de esta forma significa un ahorro sustancial para la construcción e inversión. Las bajadas pueden pintarse del color de las paredes, escondiéndolas y dejando de ser problema para el aspecto arquitectónico.

La figura siguiente muestra cómo es que pueden instalarse los drenajes sobrepuestos en las viviendas, cuando estos se realizan de forma ordenada pueden llegar incluso a combinar con la arquitectura. Lo importante de esto es que el drenaje es funcional y puede ser sencillo de inspeccionar en la eventualidad de una falla.

Figura 121. Bajadas de agua pluvial en exterior

Fuente: Miranda, 1995

1) Tubería a utilizar. La tubería que se utiliza como drenajes para una casa de habitación es básica, bajadas de 3” para los drenajes sanitarios y los drenajes acaudalados de los techos. Cuando las bajadas pluviales son de áreas pequeñas como de balcones, las tuberías adecuadas son las de 2”. Usualmente en casa de block las tuberías están metidas en los muros, por esta razón para las bajadas de aguas pluviales se utiliza tubería color naranja, es decir, sin presión. Todas las tuberías que transportan deshechos deben de ser con tubería de presión para evitar quebraduras y filtraciones de material fétido.

En esta vivienda de CLT o secciones laminadas las tuberías están expuestas, por lo mismo se utilizara tubería de presión, 80 psi. La red colectora de drenajes será la encargada de evacuar dos baños de segundo nivel y los de primer nivel, los deshechos de la lavandería y cocina. A pesar que esto parece como demasiado

no lo es. Esta cantidad de deshecho puede circular por una tubería de 3”, por lo mismo la red está diseñada de esta forma. Todas las tuberías son de 3” en los servicios sanitarios y en las bajadas, la tubería que sale de las duchas es de 2” y los respiraderos de 1 ½”.

Para las bajadas de agua pluvial se contempla una red de 3”. La cantidad de agua que se recolecta en los techos inclinados es grande por lo que una tubería de 3” es la ideal.

e. Biodigestores. Un biodigestor es una solución utilizada en viviendas principalmente para el proceso de aguas residuales. El biodigestor funciona para el tratamiento de aguas sanitarias domesticas utilizando un proceso anaeróbico primario en zonas en las que no se cuenta con acceso a redes de drenaje públicas. Los Beneficios de estos sistemas son:

Mayor eficiencia en el tratamiento de aguas residuales Bajos costos
Adaptables a todo tipo de viviendas No emana malos olores.

Los biodigestores deben ubicarse cerca de las viviendas para las que trabajan, siempre deben de ir enterrados y contar con cajas de registro para la eventualidad de un atascamiento. El biodigestor puede trabajar también semi-enterrado y para estos casos una Tee con tapón cumple con la función de registro.

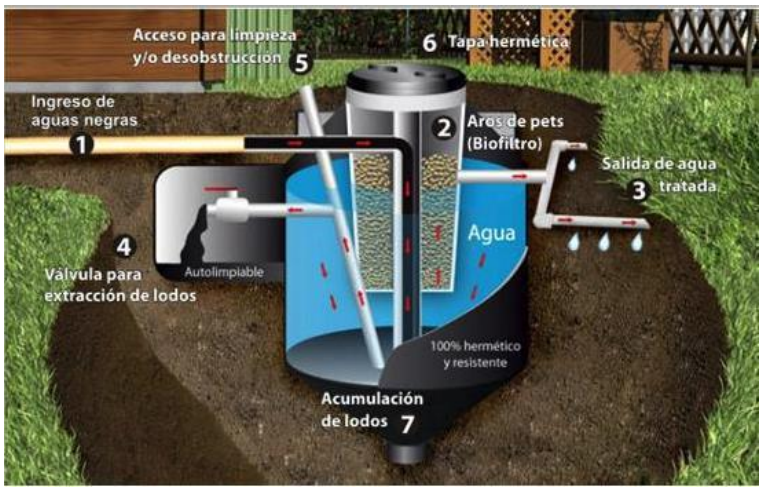
Figura 121. Biodigestores

Fuente: DURMAN, 2001

El funcionamiento de un biodigestor es el siguiente, los desechos ingresan por la entrada principal, esta entrada se conecta al tubo de salida de aguas negras de la vivienda, es decir, todos los desechos de drenaje sanitario de la vivienda entraran al biodigestor por aquí.

El filtro biológico para la salida del efluente evita la salida de los sólidos y mejora el tratamiento de los desechos. En la cámara del biodigestor, que está completamente sellada, se lleva a cabo el proceso de fermentación de solidos tales como heces y vegetales suspendidos en agua. Los microorganismos bacterianos dentro de esta cámara se encargan de procesar estos desechos, transportándolos luego a una acumulación de lodos. El agua que resulta tratada luego del proceso es transportada hacia un pozo de absorción ubicado junto al biodigestor.

Figura 122. Esquema de biodigestor biológico

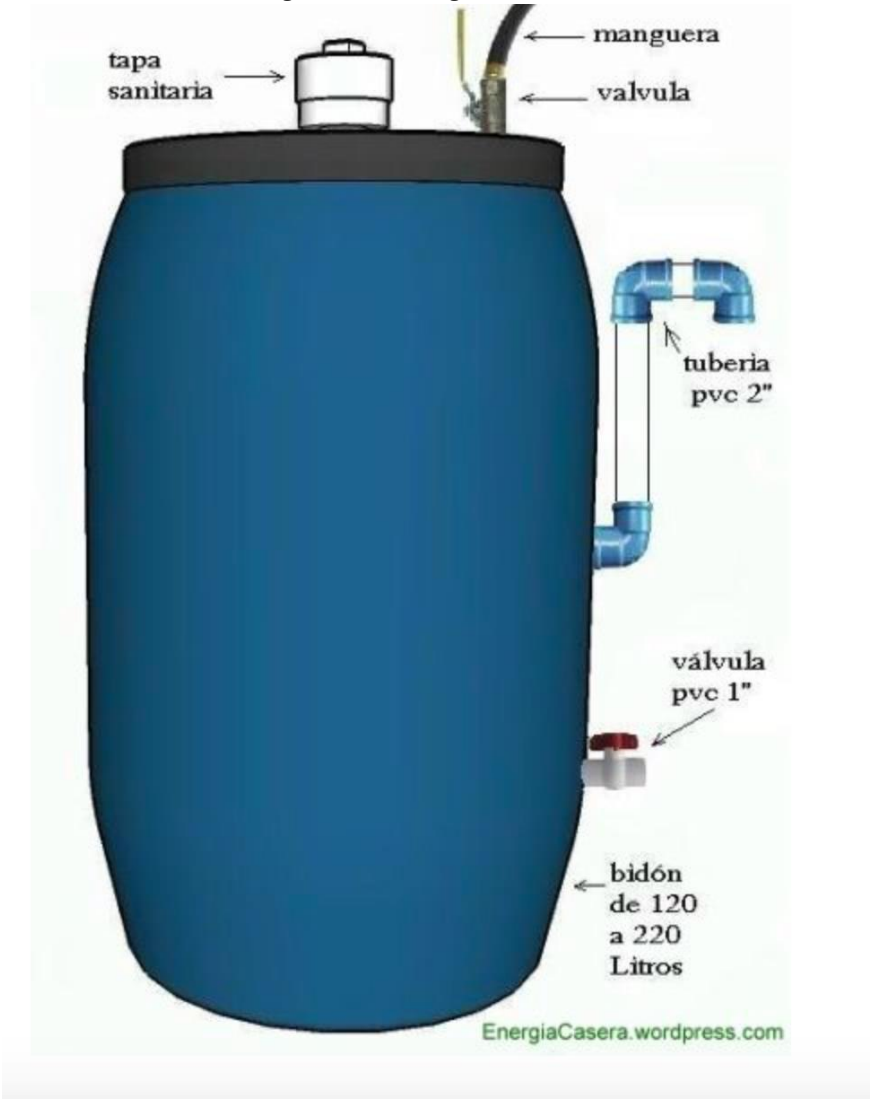


Fuente: DURMAN, 2001

Existen dos tipos de biodigestores: biodigestores aeróbicos y anaeróbicos

1) Biodigestores aeróbicos. El biodigestor aeróbico es característico por trabajar con el oxígeno para acelerar la fermentación de los desechos. Una serie de microorganismos que sobreviven gracias al oxigeno se alimentan de todos los sólidos que llegan al biodigestor, estos microorganismos se multiplican a través del estiércol, descontaminan el caldo preparado y producen finalmente un bioabono que será utilizado en el suelo altamente degradado.

Figura 123. Biodigestor aeróbico

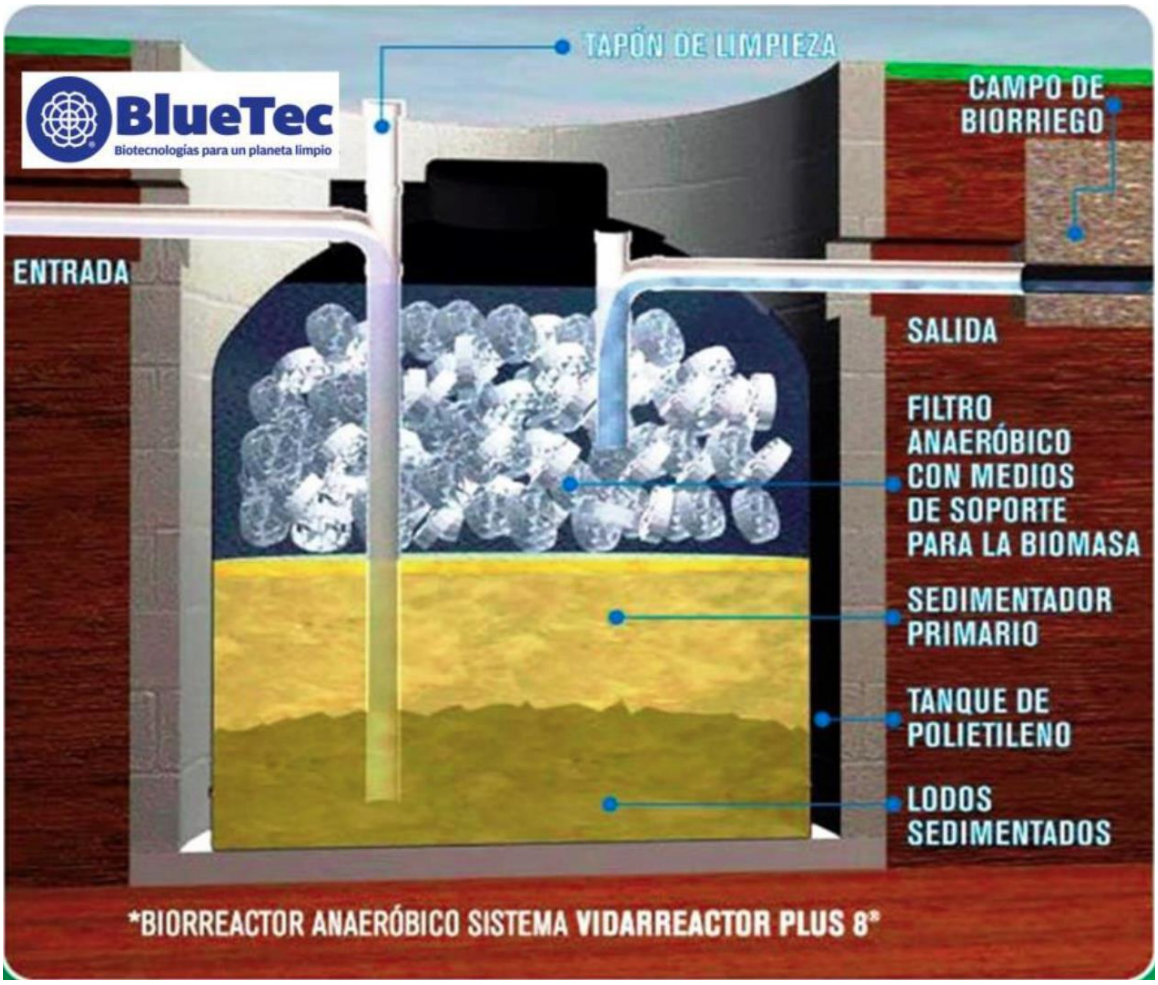


Fuente: DURMAN, 2001

2) Biodigestor anaeróbico. Este es tipo de biodigestor más utilizado en viviendas, estas son plantas de tratamiento funcionan a base de un sedimentador primario y un filtro anaerobio integrado. La finalidad principal de estos biodigestores es tratar las aguas residuales producidas por la actividad humana y disponerlas de tal modo que no sean perjudiciales para la salud ni afecten el medio ambiente.

El funcionamiento de este sistema es el siguiente, el sedimentador primario retiene los sólidos de los desechos en la superficie y precipita el líquido para que sea descompuesto posteriormente por el efecto bacteriano. La eficiencia de este sedimentador es de 30% - 35%, mientas que la eficiencia del filtro anaeróbico es de 70% - 80%.

Figura 124. Biodigestor anaeróbico



Fuente: DURMAN, 2001

6. Aislamiento térmico, de humedad e intemperie

a. Materiales ideales. Las casas de madera que se construyen en los lugares fríos o cálidos deben de ser capaces de conservar la temperatura interna. La madera es un material que transmite el calor por lo que suelen ser de muy alta temperatura en lugares cálidos y de temperaturas muy bajas el lugares fríos. El objetivo principal de instalar aislantes térmicos es reducir todos los costos de mantención de temperatura.

Los materiales más utilizados en la industria de la construcción para aislantes térmicos en casas de madera son: a lana de vidrio, la lana de roca y oveja, material como espuma plástica y demás aislantes que tienen que ver con la celulosa. La mayoría de los materiales para aislantes térmicos provienen del petróleo por lo que su funcionamiento se basa en micro agujeros que absorben el calor impidiendo su circulación.

El material de construcción en aislamiento térmico más utilizado en casas de madera es la lana de roca ya que su falta de rigidez la hace ideal para superficies horizontales, sin embargo cuando se aplica en superficies verticales se debe de fijar con elementos como grapas para que no existan movimientos que permitan la circulación de la temperatura.

Existe otro tipo de material térmico que también se utiliza a menudo, y son los paneles rígidos de aglomerado ofreciendo una conductividad del calor especial. Este material, al ser rígido también puede colocarse en superficies rectas.

La lana de vidrio es utilizada más comúnmente en tejados de casas prefabricadas o de madera, su cualidad es repeler el calor de los techos, asilar la temperatura dentro de la vivienda y mantener un ambiente fresco en los ambientes. Para ambientes de mucho frio la espuma plástica es también un material aislante muy utilizado para todo tipo de construcción de vivienda y sobretodo en la construcción de casas de madera, ya que absorben el calor.

Figura 125. Esquema de aislamiento en viviendas de madera

Fuente: Rodríguez, 2004

b. Instalación de materiales y tratamiento, costos y mano de obra. La instalación de materiales de aislamiento es simple. La madera funciona muy bien como aislante térmico cuando su espesor es suficientemente grande. Cuando las paredes de las casas de madera son delgadas suelen necesitar algún tipo de aislante térmico o para la humedad. Usualmente son pliegos de material, como los explicados anteriormente en el capítulo. En el caso de los techos resulta complicado el aislante. Si el techo está construido con lámina de zinc, el calor y el frio son fáciles de transmitir, por lo que debe de protegerse contra climas extremos. Existen en el mercado ciertos materiales que conservan la temperatura interna de la vivienda repeliendo las altas y bajas temperaturas. La instalación de este material se realiza con grapas ancladas a los perfiles de madera del techo.

El costo de instalación de estos materiales se realiza por mano de obra. El albañil promedio tiene un suelo de Q12.50 la hora, Q100.00 diarios. Lo conveniente en casos como este es trabajarlo por contrato fijándole un precio al metro cuadrado de instalación. Si el trabajo es complicado debe de considerarse el trabajo e incrementar el precio.

7. Otras Instalaciones

a. Instalaciones. Una vivienda necesita siempre de respiración para evitar problemas de humedad. La humedad resulta ser dañina para las casas pues genera problemas como hongos que a su vez pueden manifestarse de forma física como manchas en las paredes. Una buena ventilación puede evitar problemas de este tipo. En muchas ocasiones es necesario tener las ventanas de la vivienda abiertas, un tragaluz en el techo también puede ayudar, el problema con las aberturas en techos son las filtraciones de agua. Si la abertura del techo está mal fabricada puede no ser capaz de retener fuera de la casa el agua. La mejor forma de mantener la vivienda libre de humedad es tratar de mantener puertas y ventanas abiertas siempre que sean posible.

La vivienda contará con vanos estándar para paredes y ventanas, la altura de las puertas será de 2.10m y el ancho variable dependiendo del ambiente. El ancho de las puertas variara entre los 70, 80 y 90 centímetros. Esta vivienda está estandarizada para la instalación de puertas y ventanas de común comercialización por lo que queda a discreción del propietario la elección del diseño de las mismas.

La madera que se utiliza para la vivienda es tratada. Esta cuenta con insecticidas y repelentes para plagas, sin embargo, el acabado de la vivienda puede ser de un esmalte simple para resaltar el color de la madera o una pintura a gusto del comprador. De cualquier forma la aplicación de un acabado incremente sustancialmente la vida de la estructura. Otra protección que se le puede dar a la vivienda es la de comegenol, este es un químico potente contra la polilla.

C. Proceso constructivo

1. Materiales, maquinaria y equipo. Para realizar cualquier proceso constructivo, siempre es necesario contar con diferentes materiales que serán utilizados para levantar la obra. Estos serán utilizados para realizar mezclas o como elementos estructurales directamente.

Además es necesario contar con maquinaria y equipo especifico que ayude a facilitar todos los procesos que se deseen realizar. A continuación se presentan los materiales, maquinaria y equipo que se considera que son necesarios para la construcción de la casa.

a. Materiales

Cemento

Conglomerante hidráulico finamente molido que, al amasarse con agua, forma una pasta para que fragüe y se endurezca por medio de reacciones químicas de hidratación, para producir y conservar una resistencia y estabilidad alta. (IECA, n.d.)

Generalmente es dosificado y mezclado con agua y otros áridos para producir un hormigón que conserve su trabajabilidad durante el tiempo suficiente para ser moldeado y luego alcance niveles de resistencia preestablecidos. (IECA, n.d.)

Arena

Es utilizada como el agregado fino para hacer el concreto, generalmente es el material con porcentaje más alto de la mezcla.

Hierro estructural

Este material es utilizado para las armaduras del concreto con el fin de soportar la tensión en el material.

Piedrín

El piedrín o grava es utilizado como el agregado grueso en el concreto, generalmente en una mezcla es el segundo material con más porcentaje en el mismo.

Madera laminada

La madera laminada es un material estructural versátil que se está utilizando hoy en día. Este se forma con piezas de madera, las cuales se unen con pegamento adhesivo, a lo largo de sus extremos y caras. (Barrera)

Existen dos tipos principales de elementos laminados los cuales dependen únicamente de su laminación, horizontal o vertical. Por razones de secado y económicas hay muchas empresas que utilizan espesores entre 20mm y 45mm. (Barrera)

Figura 126. Madera laminada.

Fuente: Ecuadorforestal (2011), recuperado de http://ecuadorforestal.org/noticias-y-eventos/espana-investigan-sistemas-arquitectonicos-basados-en-madera-laminada-y-vidrio/

b. Maquinaria y equipo

Retroexcavadora

Debido a sus múltiples usos como cargador frontal, topadora y excavadora, la retroexcavadora es utilizada comúnmente para realizar movimientos de tierra en construcciones pequeñas como una casa.

Figura 127. Retroexcavadora.

Fuente: Recuperado de http://multiequipos.net/category/catalogo/movimiento-de-tierra/

Bailarina

Esta maquinaria está diseñada para la compactación de suelos, esta facilita la tarea cuando las áreas a compactar son estrechas o para zonas confinadas.

Figura 128. Bailarina o vibroapisonador.

Fuente: Recuperado de http://multiequipos.net/catalogo/compactacion/compactadora-tipo-bailarina-marca-tacom-modelo-zv75r/

Rodo de compactación

Esta máquina está encargada de la compactación del suelo por medio de vibrado y compresión, gracias a su peso. Esta se utiliza generalmente para áreas pequeñas, ideal para casas individuales.

Figura 129. Rodo de compactación.

Fuente: Recuperado de http://multiequipos.net/catalogo/compactacion/rodillo-doble-no-tripulado-marca-tacom-modelo-tmr55kds/

Mezcladora de concreto

Esta máquina se utiliza para mezclar los componentes del concreto con el fin de hacerlo más homogéneo.

Figura 130. Mezcladora de concreto.

Fuente: Recuperado de http://multiequipos.net/catalogo/concreto/mezcladora-menegotti/

Vibrador de concreto

Este equipo es utilizado para que, mediante su vibración, se logre homogenizar el concreto que se está vertiendo cuando se desea realizar estructuras de hormigón.

Figura 131. Vibrador de concreto.

Fuente: http://www.vimesa.com.mx/images/VIBRADORTEKPRO.jpg

2. Transporte de materiales necesarios de planta a obra. Para construir la obra, es necesario transportar todos los materiales, maquinaria y equipo, necesarios para la misma. Hay que tomar en cuenta además el retiro de todos los desperdicios, restos o ripio que se encuentre en el lugar de la obra.

a. Transporte necesario

Camión de volteo

El camión de volteo es un vehículo utilizado generalmente para el transporte de materiales hacia la obra o desde la obra.

Figura 132. Camión de Volteo.

Fuente: http://www.construccioneszavir.com/images/Camion%20de%20Volteo.png

3. Preparación de superficie. En la construcción es importante tener en cuenta los trabajos de preparación a realizar antes de iniciar la obra, con el fin de facilitar los procesos y de hacerla más segura y económica.

a. ¿Qué es preparación de superficie? La preparación de superficie se refiere a todos los trabajos necesarios que se deben realizar para que el terreno de la casa tenga las condiciones y características propuestas para que la obra sea estable.

b. Movimiento de tierras. Se denomina movimiento de tierras a todas las operaciones realizadas con los terrenos naturales, esto con el fin de modificar las formas naturales o aportar materiales útiles a una obra. (Tiktin, 1997)

Estas operaciones generalmente se refieren a:

Excavación.

Carga.

Acarreo.

Descarga.

Extendido.

Humectación y compactación.

Refinamiento o saneamiento.

El movimiento de tierras se hace necesario principalmente por las formaciones tan diversas que se dan en la naturaleza y Guatemala no es excepción, siendo considerado como un país de topografía muy variable.

c. Consolidación y compactación. La compactación es la operación para reducir el número de vacíos en el suelo a utilizar. Lo anterior con el fin de mejorar las propiedades mecánicas, y que sean adecuadas y útiles para la obra y su periodo de servicio. (Tiktin, 1997)

Se denomina como factor de consolidación a la relación de cambio de volumen que ocurre entre el material en su estado natural y una vez compactado. (Tiktin, 1997)

4. Huella de carbono. Hoy en día, los cambios climáticos que se han generado alrededor del mundo han tomado mucha importancia en todos los ámbitos la protección del planeta. La construcción no es ajena a este tema, por eso se han enfocado los esfuerzos a nivel mundial por realizar obras más "verdes".

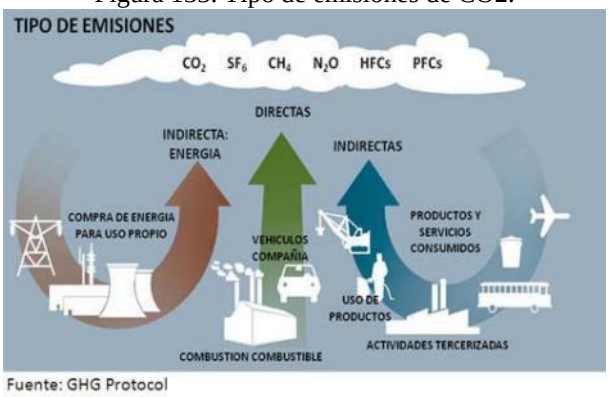
El cálculo de la huella de carbono es una de las maneras más comunes de identificar que tan amigable es una construcción con el ambiente. Por lo tanto es importante revisar cuales son las emisiones que este tipo de construcción en madera puede llegar a generar.

a. ¿Qué es la huella de carbono? La huella de carbono es una forma simple que existe para medir el impacto o la marca que un individuo puede dejar sobre el planeta en su vida cotidiana. En otras palabras, es un recuento de las emisiones de gases de efecto invernadero que son liberadas hacia la atmosfera debido a las actividades que realizamos en nuestro día a día. (Universidad Austral de Chile, 2015)

En resumen, la huella de carbono es el impacto que provocan los humanos, con nuestras actividades, en el medio ambiente y esta se determina según cantidad de emisiones GEI producidas, o unidades de dióxido de carbono equivalente. (Universidad Austral de Chile, 2015)

Este análisis toma en cuenta todo el ciclo de vida que tiene un producto, desde su adquisición hasta que se convierte en residuo. (Universidad Austral de Chile, 2015)

Figura 133. Tipo de emisiones de CO2.



Fuente: GHG Protocol. Recuperada de http://ambienteverde.bligoo.cl/content/view/922351/Toma-consiencia-informate-sobre-la-huella-de-carbono.html#.VYxaRGA53Ic

b. Objetivo de la huella de carbono. La huella de carbono busca el cálculo de emisiones de GEI que se emiten directa o indirectamente hacia la atmosfera con cada acción realizada para así poder reducir los niveles de contaminación que se puede llegar a producir. (Universidad Austral de Chile, 2015)

Cada día más empresas se interesan en que sus productos estén certificados para que los clientes puedan optar por productos más sanos o menos contaminantes. (Universidad Austral de Chile, 2015)

c. Beneficios del cálculo de la huella de carbono. Al ser identificadas las fuentes de emisiones de GEI, permite definir objetivos más claros, estrategias de reducción de emisiones y ahorros de costo. (Universidad Austral de Chile, 2015)

La huella de carbono puede fortalecer las relaciones con los clientes y proveedores, especialmente si esto implica oportunidades de ahorros en costos. (Universidad Austral de Chile, 2015)

d. Huella de carbono de los materiales de construcción. Es importante tomar en cuenta que para realizar una obra constructiva se requiere de muchas actividades que generan cantidades muy grande de emisiones de CO2 equivalente, por eso hay que tener en cuenta las etapas constructivas y como estas conllevan a la contaminación del ambiente. (Solanilla, 2015)

Si se desea calcular la huella de carbono de todo el ciclo de vida de la vivienda se debe de sumar el aporte que se genera en cada una de las cuatro etapas siguientes.

En la primera fase se debe tomar en cuenta que existe extracción de materias primas, luego el transporte de las mismas y además la fabricación de los materiales que se utilizarán luego en la construcción. (Solanilla, 2015)

En la segunda etapa ya se toma en cuenta la fase constructiva en sí, cuando las actividades que más emiten CO2, destacan. El transporte de la planta al lugar en donde se está realizando la obra, luego el uso del suelo en donde se construirá, también la energía utilizada durante la construcción como la maquinaria. También se debe tomar en cuenta el consumo de agua y la producción de desechos líquidos y sólidos. (Solanilla, 2015)

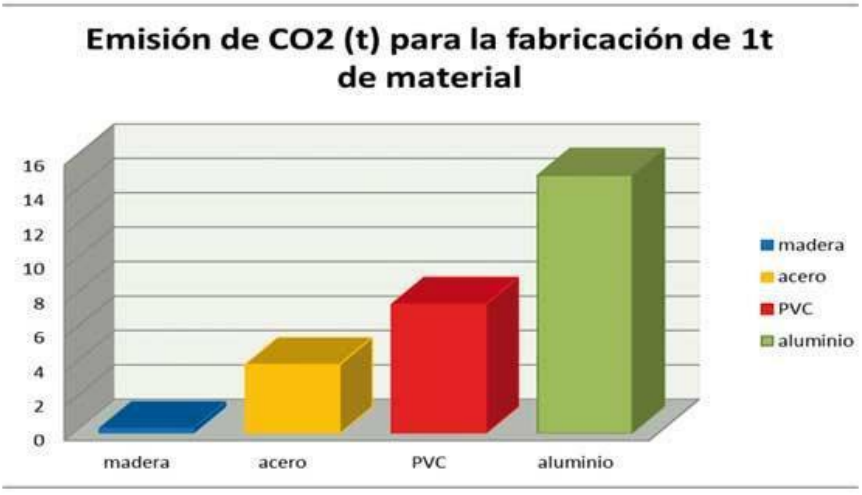
En la tercera fase se deben tomar en cuenta operaciones como, consumo de energía, consumo de agua potable, también la generación de aguas residuales, la generación de residuos sólidos, mantenimiento o reconstrucción y la condición final que tendrá el paisaje. (Solanilla, 2015)

La última etapa corresponde al fin de uso del servicio, es decir que también hay que tomar en cuenta la energía que se va a consumir en la futura demolición de la estructura y los desechos líquidos y sólidos que se vaya a generar. (Solanilla, 2015)

Es importante tomar en cuenta también que si se realizan actividades de reforestación o similares en el área donde se realizó la construcción, las emisiones de CO2 se reducen considerablemente. (Solanilla, 2015)

Con todo lo anterior descrito, se puede notar una de las razones más importantes por las cuales se está utilizando la madera como el material estructural predilecto para este proyecto, ya que teóricamente es el más amigable para el planeta en cuanto a emisión de CO2 se refiere.

Figura 134. Emisión de huella de carbono en fabricación de materiales.



Fuente: Recuperada de http://www.interempresas.net/Cerramientos_y_ventanas/Articulos/58206-La-huella-de-carbono-en-materiales-de-cerramientos-y-en-las-empresas-fabricantes.html

e. Cambio climático en Guatemala. Según datos facilitados por el secretario ejecutivo del CONAP a los medios informativos, se cree que aproximadamente el 0.07% de las emisiones de CO2 del planeta son provocados por Guatemala. (CONAP, 2015)

Se cree también que la cifra anterior es provocada principalmente por incendios forestales que, sin embargo, se han reducido en los últimos años. (CONAP, 2015)

Durante la última conferencia *Adaptación al cambio climático: un reto para el desarrollo de Guatemala,* se dio a conocer numerosas veces por parte de la USAID y Asies, que los efectos e impacto de este fenómeno en la infraestructura, recurso hídrico, condición humana, energía y sector agropecuario pueden ser graves.

Es inevitable notar que en el territorio nacional, en los últimos 40 años, se han aumentado los periodos cálidos y han disminuido los fríos, además los patrones de lluvia son cada vez más cortos. (Rigalt, 2015)

Debido a lo anterior el INSIVUMEH predice un escenario para el futuro del país, el cual dice que subirá en dos grados el promedio de temperatura del país de aquí al 2050. (Rigalt, 2015)

D. Innovación, proceso de mercadeo.

1. Importancia. En Guatemala los métodos constructivos para viviendas están dominados por el concreto y la mampostería, sin embargo en países desarrollados están optando por métodos alternativos e innovadores para, no solo hacer edificaciones funcionales, si no lo mas ecológicas posibles.

Estudios actuales indican, que utilizar madera como material estructural reduce el impacto ecológico en comparación al concreto y la mampostería. Por lo tanto es importante desarrollar la madera y los distintos sistemas estructurales en los que se puede aplicar.

Es importante en países como Guatemala, promover la importancia de utilizar estos métodos para ofrecer una nueva alternativa en el ámbito constructivo.

2. CLT y paneles de secciones laminadas. El método CLT y paneles de secciones laminadas, son sistemas constructivos que ya están desarrollados. Por lo tanto se pueden utilizar en Guatemala sin necesidad de comprobar su resistencia estructural.

Estos métodos consisten en la unión de paneles prefabricados mediante conexiones simples con pernos y tornillos, lo cual facilita realizar una construcción rápida y eficiente, descartando el uso de maquinaria pesada.

Una de las ventajas más relevantes del sistema es que requiere mano de obra mínima y poco especializada, y aun así concluir una vivienda en un tiempo entre 2 y 3 meses.

3. Potencial de Guatemala. El territorio Guatemalteco cuenta con una gran área de bosques, por lo tanto existe una gran disponibilidad de esta materia prima. Sin embargo no se tiene el conocimiento de las características estructurales que esta posee. Con un correcto manejo forestal, se puede explotar el material correctamente para que sea accesible y por lo tanto competitivo en la construcción.

IV. MARCO PRÁCTICO

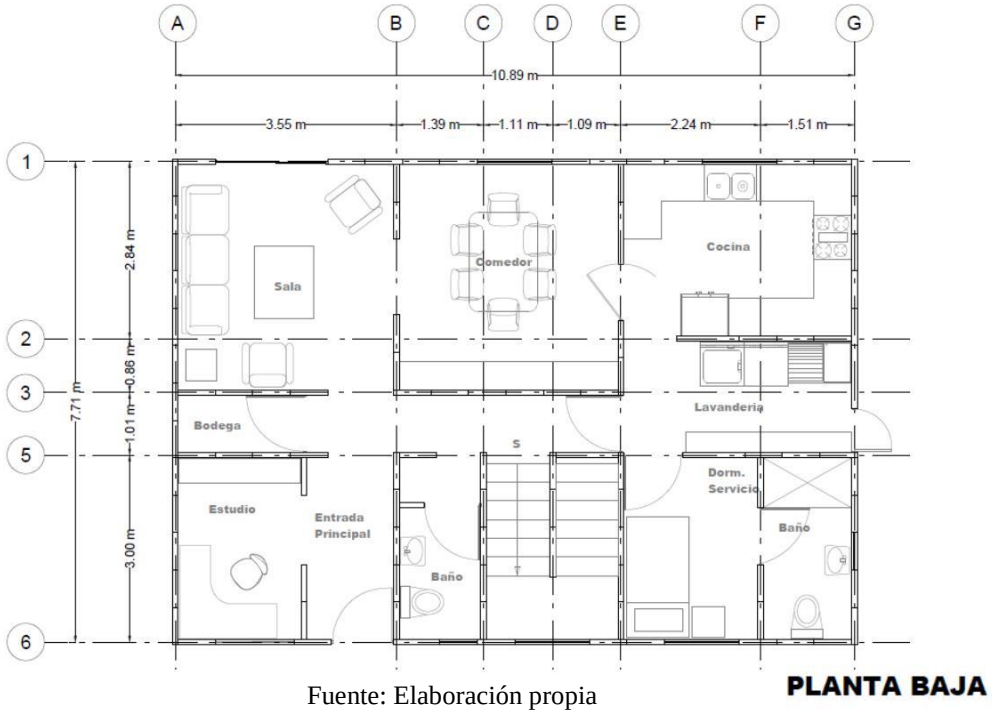
A. Diseño estructural

1. Arquitectura de la casa a diseñar. La arquitectura que se buscaba para la casa era una que se adaptara al sistema constructivo de paneles. Además, se estaba buscando un diseño sencillo, sin muchas irregularidades. Un punto importante que se comentó fue el de colocar los baños del segundo nivel directamente debajo de los baños del nivel inferior. Esto con el objetivo de facilitar las instalaciones sanitarias e hidráulicas. Debido a que no es posible meter la tubería dentro de las paredes, como en una casa de mampostería, se buscaba que la tubería siguiera un camino directo hacia abajo.

Otro punto importante fue el de las dimensiones de los ambientes y de la casa en general. Se buscó tener dimensiones entre ejes que fueran compatibles con las medidas de los paneles, para tener un número exacto de paneles por pared. Esto fue muy importante para facilitar la fabricación y la construcción. Con esto en mente se consiguió tener un número reducido de diferentes tipos de paneles. A la hora de la construcción esto evitaría problemas de instalación y reduciría los errores de colocación.

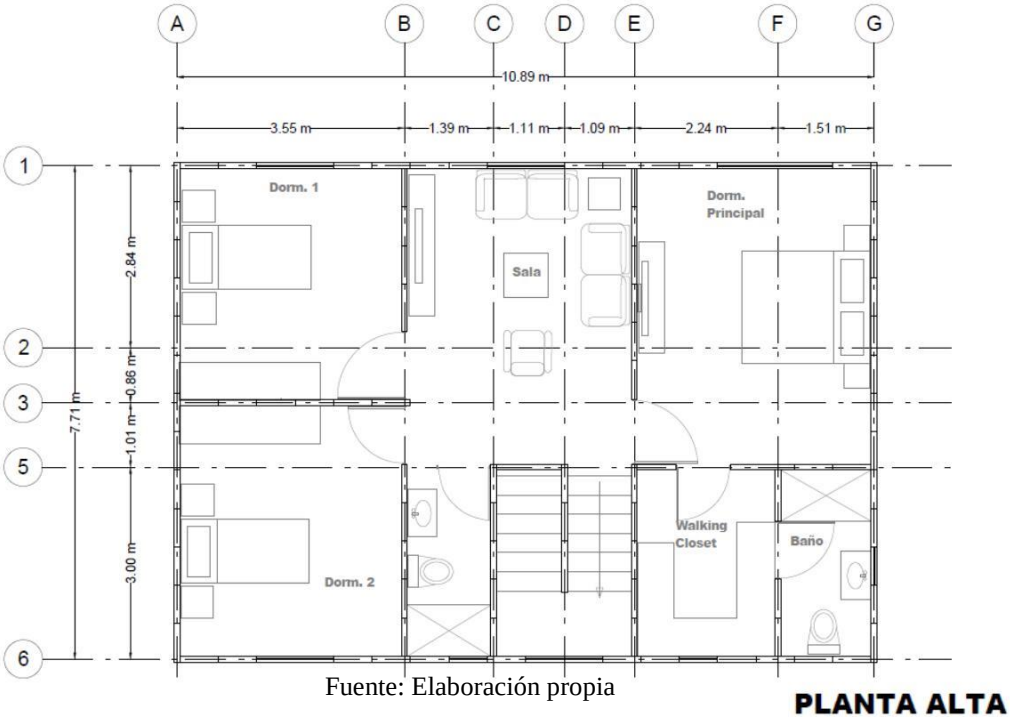
Debido a que los paneles tienen un ancho típico de 60 centímetros, no fue posible incluir aberturas para las puertas y ventanas en los paneles como tradicionalmente se hace en las construcciones de CLT. Esto dejo un espacio entre pared y pared sin tener apoyo entre ellas. Para solucionar este problema se pensó en utilizar dinteles que unieran las paredes y así tener apoyos entre las mismas que sirvieran para apoyar la losa. En las Figuras 135 y 136 se puede observar como quedaron las plantas de ambos niveles de la casa a diseñar.

Figura 135. Planta baja de la vivienda



Fuente: Elaboración propia

Figura 136. Planta alta de la vivienda



Fuente: Elaboración propia

2. Integración de cargas. Para realizar el diseño estructural gravitacional de la vivienda tanto para losas y para paredes, se utilizó el método LRDF (*Load and Resistance Factor Design)*. El primer paso fue el de la integración de cargas ocupacionales que iba a tener que soportar la casa. Las cargas se especifican en la Tabla 19. Dichas cargas fueron mayoradas posteriormente. La combinación que dominó fue 1.3Muerta + 1.6Viva.

Tabla 19. Factores de duración de carga para diseño ASD

Cargas gravitacionales		
Tipo de carga	**Entrepiso**	**Techo**
Muerta (kg/m^2)	170.885	21.971
Viva (kg/m^2)	195.297	97.649
Peso propio (kg/m^2)	57	57

Fuente: Elaboración propia

La madera utilizada para diseñar la casa fue madera de pino radiata. Se utilizó esta madera ya que es de las más comunes en el medio y tiene propiedades físicas y mecánicas para la construcción. Los valores de diseño que se utilizaron para la madera seleccionada se especifican en la Tabla 20.

Tabla 20. Valores de diseño para la madera de pino radiata

Densidad de la madera	**600 (kg/m^3)**
Esfuerzo admisible a flexión (Fb)	14 MPa
Esfuerzo admisible a compresión paralelo a la fibra (Fcpar)	14 MPa
Esfuerzo admisible a compresión perpendicular a la fibra (Fctrans)	2.7 MPa
Esfuerzo admisible a corte (Fv)	1.89 MPa
Módulo de elasticidad paralelo a la fibra (Epar)	12 GPa
Módulo de elasticidad perpendicular a la fibra (Etrans)	9.4 GPa

Fuente: Elaboración propia

3. Diseño de las paredes

a. Diseño en CLT. Como se investigó en el marco teórico, las paredes de este sistema constructivo trabajan como muros a corte para resistir las cargas laterales y como muros gravitacionales para soportar las cargas de ocupación. Por esta razón se diseñaron las paredes para ambas demandas de carga. Al analizar los muros como gravitacionales, se llegó a la conclusión que los esfuerzos de compresión y de pandeo son los críticos para este caso.

Se propuso realizar las paredes con un ancho y espesor de panel mínimo. Según lo investigado en el *CLT Handbook*, el ancho y espesor mínimo para un panel es de 60 y 9 centímetros respectivamente. La longitud del panel de pared se diseñó para 2.40 metros, la altura del primer nivel. Para chequear las paredes a compresión y pandeo, se tomó la pared con mayor área tributaria de cada nivel. Con las ecuaciones de compresión y pandeo se chequearon ambos casos. Debido a la característica única del CLT de tener capas de madera contra laminadas, el módulo cortante y la rigidez del panel se tuvieron que calcular utilizando las ecuaciones específicas para este material, para obtener resultados reales. Utilizando Excel se creó una hoja de cálculo para encontrar la rigidez y el modulo cortante de un panel.

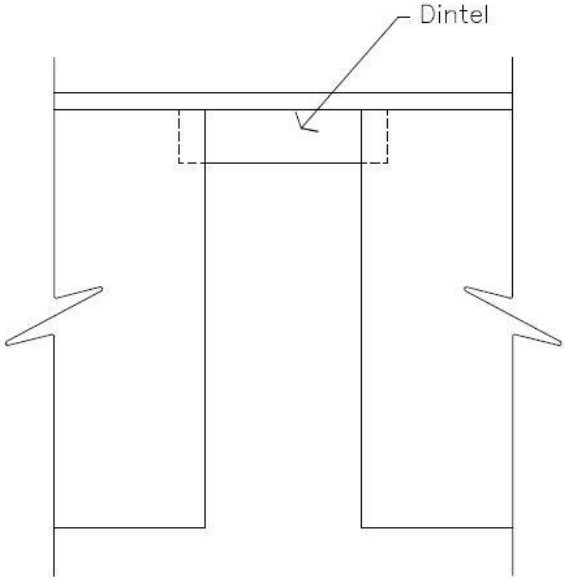
Después de calcular estas características del panel, se obtuvo la demanda de carga que soportaba cada pared. La carga de la pared del segundo nivel se añadió a la carga del primer nivel, ya que las paredes del primer nivel están recibiendo la carga que les transfiere las paredes del nivel superior. Las cargas del segundo nivel son bajas debido a que únicamente tienen que cargar su propio peso y la losa de techo, la cual no soporta mucha carga. Para esta pared crítica, se encontró que la carga que recibe es de 2.91 kip. Debido a esta carga, se encontró que la pared del nivel dos soporta las cargas gravitacionales sin ningún problema. Incluso se podría reducir el espesor de la sección, lo cual no se hizo por los requerimientos mínimos para los paneles. La exigencia de la pared a compresión está en el 1.20% y a pandeo al 2.20%.

Como ya se dijo anteriormente, para chequear la pared de la planta baja se sumaron las cargas que recibía el muro de la pared del nivel superior a las cargas del entrepiso. Debido a esto, dicha pared estaba más exigida que la de arriba, sin embargo se encontró que no tenía problemas a compresión ni a pandeo. La carga recibida por esta pared fue de 12.18 kip. La exigencia a compresión y a pandeo fue de 5.10% y 13.70% de la capacidad de la sección, respectivamente. Gracias a esta gran resistencia de los paneles, se pudo trabajar con el ancho y espesor mínimo para construir las paredes de la vivienda. Esto ayudo a que el peso de los paneles no fuera tan elevado. El peso que se obtuvo por panel fue de 171 lb, algo manejable para pocas personas.

Un aspecto especial en el diseño de las paredes fue el cálculo de los dinteles que unen las paredes y sirven como apoyo para la losa. Las dimensiones de estos elementos estaban regidas por el espesor del panel. Para hacer la unión lo más discreta posible, se propuso que el dintel tuviera lengüetas que se insertaran en el panel de pared para luego ser atornilladas. El chequeo que se hizo para los dinteles fue el de flexión y deformación bajo cargas gravitacionales. Para estos parámetros, se tomó el dintel que más carga recibía en base a su área tributaria y se calculó el momento y el corte de dicha carga. Se encontró que la sección propuesta de 30 cm de altura y 9 cm de espesor soportaba las cargas a flexión sin ningún problema, estando exigida al 8.60%. Para las deflexiones se utilizó el límite de L/360 ya que en la mayoría de dinteles va a estar instalado el marco de puerta, por lo que es preferible no tener una gran deflexión. Bajo este parámetro, la deformación admisible fue de 0.099 pulgadas y la deformación creada por las cargas fue de 0.004 pulgadas, el 4% de lo admisible.

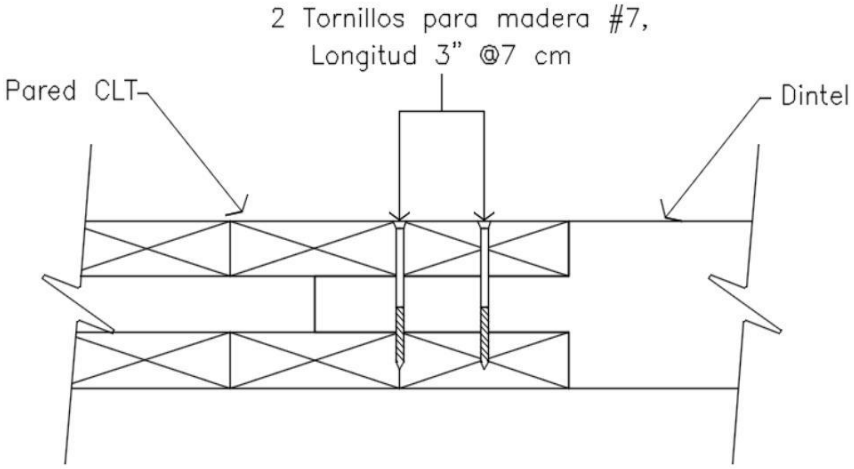
La conexión de los dinteles hacia el muro se realiza con tres filas de dos tornillos para madera #7 separadas 7 cm entre ellas.

Figura 137. Sección de conexión entre dintel y panel de pared



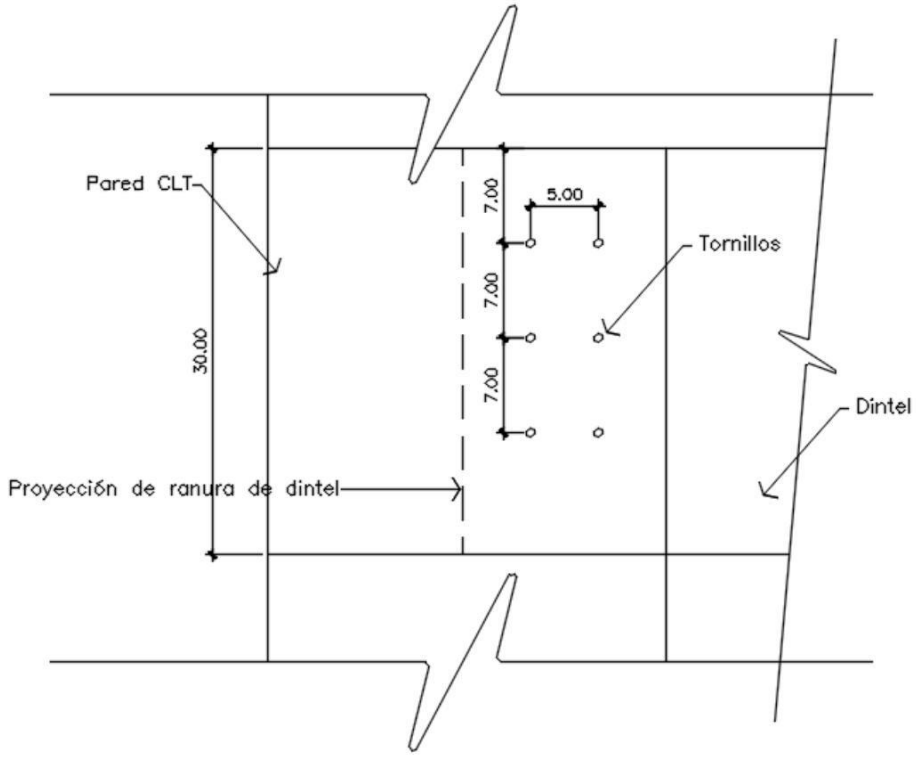
Fuente: Elaboración propia

Figura 138. Sección de conexión entre dintel y panel de pared



Fuente: Elaboración propia

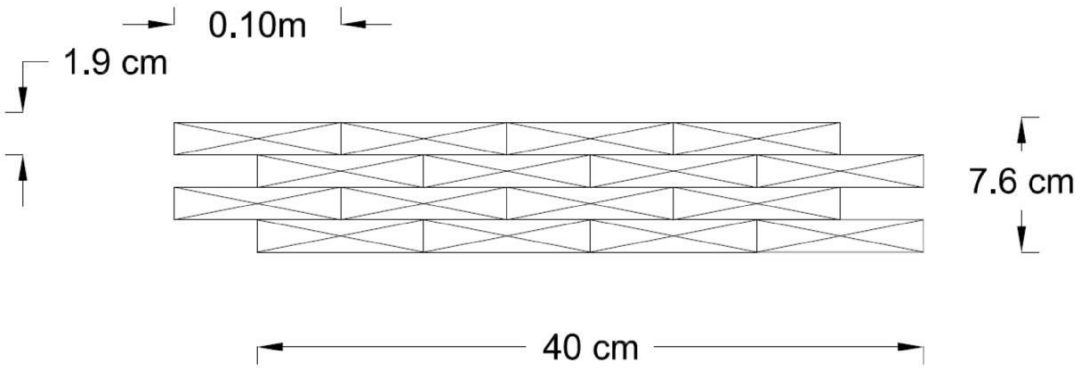
Figura 139. Detalle de conexión entre dintel y panel de pared



Fuente: Elaboración propia

b. Diseño con secciones laminadas. El diseño de los paneles es de madera laminada. Se diseñó el tamaño del panel para que fuera manejable por dos personas como mínimo. Es panel solo cuenta con elementos paralelos a la fibra de las secciones. Estos paneles no son contra laminados, solo llevan una dirección. En la Figura 140 se puede apreciar las dimensiones utilizadas para el diseño del panel estándar.

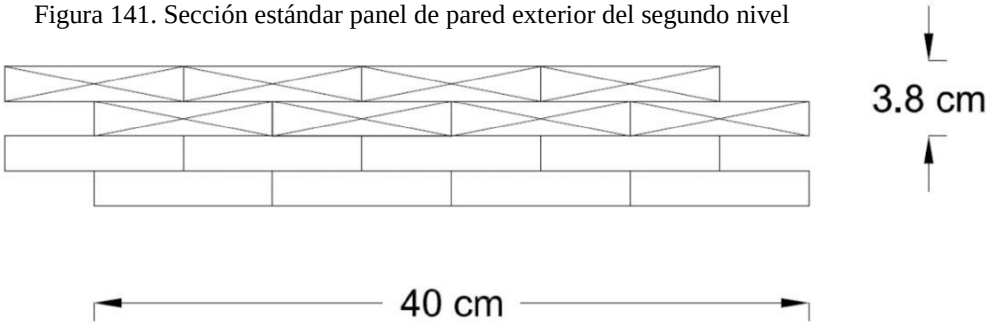
Figura 140. Sección estándar panel de pared



Fuente: Elaboración propia

El objetivo de este sistema constructivo tiene como objetivo simplificar el método de instalación de paneles y acoplarlo para que no se necesite maquinaria para su colocación. Los paneles del exterior de la casa son continuos, es decir, el mismo panel del primer piso continúa al segundo piso. Solo la mitad del espesor del panel del primer piso seguirá al segundo piso, la otra mitad sirve como soporte para los paneles el entrepiso. En la Figura 141 se puede observar el detalle con las medidas.

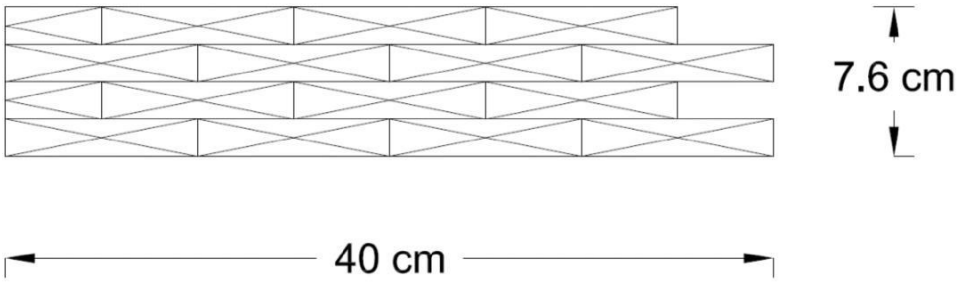
Figura 141. Sección estándar panel de pared exterior del segundo nivel



Fuente: Elaboración propia

Para los paneles de las esquinas de la casa simplemente se le elimina los dientes que se utilizan para acoplar panel a panel. En la Figura 142 se puede ver el ejemplo de los paneles.

Figura 142. Sección estándar panel de pared esquinera



Fuente: Elaboración propia

Para poder diseñar las paredes es necesario tomar en cuenta varios aspectos importantes. Uno de estos es el chequeo a compresión del elemento y el chequeo de pandeo.

Se calculó la demanda de cada muro en ambas direcciones para poder determinar el muro crítico. En base a este muro crítico se calculó todos lo demás. En el apéndice C se encuentran los cálculos realizados para todos los muros de la casa. El muro más crítico de la casa fue el número 1 en dirección Y del primer nivel, en la tabla 8 se puede observar un resumen de los cálculos para el muro 1.

Tabla 21. Resultados de cálculo para muro 1 en dirección (y) del primer nivel.

Datos Muro Dirección Y				Cargas			Chequeo Compresión y Pandeo		
Muro	**t (m)**	**L (m)**	**H (m)**	**Atr (m^2)**	**C. Lateral (kg)**	**C.Vertical (kg)**	**Fcd (kg)**	**Fcc (kg)**	**D/C**
1	0.076	7.52	2.40	11.76	1,425.92	5,290.97	9,671.78	15,388.35	**63%**

Fuente: Elaboración propia

Podemos ver que el muro más crítico tiene una demanda capacidad de 63%, esto quiere decir que soporta perfectamente las cargas y soporta el pandeo crítico. En la Tabla 22 se puede observar un resumen del muro T que fue el menos exigido tiene una demanda capacidad del 1% lo cual es una nada.

Tabla 22. Resultados de cálculo para muro T en dirección (x) del segundo nivel.

Datos Muro Dirección Y				Cargas			Chequeo Compresión y Pandeo		
Muro	**t (m)**	**L (m)**	**H (m)**	**Atr (m^2)**	**C. Lateral (kg)**	**C.Vertical (kg)**	**Fcd (kg)**	**Fcc (kg)**	**D/C**
T	0.076	0.80	2.20	0.60	140.07	464.78	159.18	16,022.11	**1%**

Fuente: Elaboración propia

3) Diseño de dintel. El diseño de dinteles es importante debido a que tenemos muchas aperturas como pasillos y puertas. Debido a esto es necesario colocar un tipo de viga que soporte y distribuya el peso recolectado a las paredes adyacentes a ella. Para mantener la arquitectura y los espacios adecuados se propuso una viga tipo dintel de 30 centímetros de peralta por las longitudes necesarias. Se diseñó el dintel más crítico de la casa. Ver apéndice J para la memoria de cálculo del dintel más crítico de la casa.

4. Diseño de losa de entrepiso

a. Diseño en CLT. Para la losa de entrepiso se utilizó un espesor de panel inicial de 10 cm, esto debido a que para paneles utilizados para losas este es el espesor mínimo que se puede utilizar. En los paneles de losa se chequeó: la flexión, el corte, la deflexión y la vibración. Al igual que en el diseño de paredes, se utilizó la losa con mayor exigencia de carga, es decir la de mayor área.

Para chequear la losa a flexión se encontró el momento flexionante actuando en la losa, el cual fue de 4.26 kip-ft. Este momento se chequeo en contra de la capacidad del panel a flexión. Dicha capacidad se obtuvo multiplicando la capacidad a flexión de la madera por los factores de ajuste (F'b) por el módulo de sección del panel (Seff). Se encontró que la capacidad del panel a flexión es de 28.66 kip-ft, por lo que únicamente estaba exigido al 14.80%. El siguiente chequeo fue la deflexión.

Debido a que el material es madera y que se estaban utilizando únicamente paneles sin vigas, la deformación iba a ser critica en el caso de las losas. El límite de deflexión que se tomó fue de L/240, el cual fue de 0.589 in para la luz critica de 3.59 m. La deflexión del panel bajo las cargas de ocupación fue de 0.327 in, es decir el 55.52% del admisible. El chequeo de corte fue necesario debido a que la carga gravitacional que recibe la losa crea un esfuerzo cortante en la losa el cual es máximo en los apoyos.

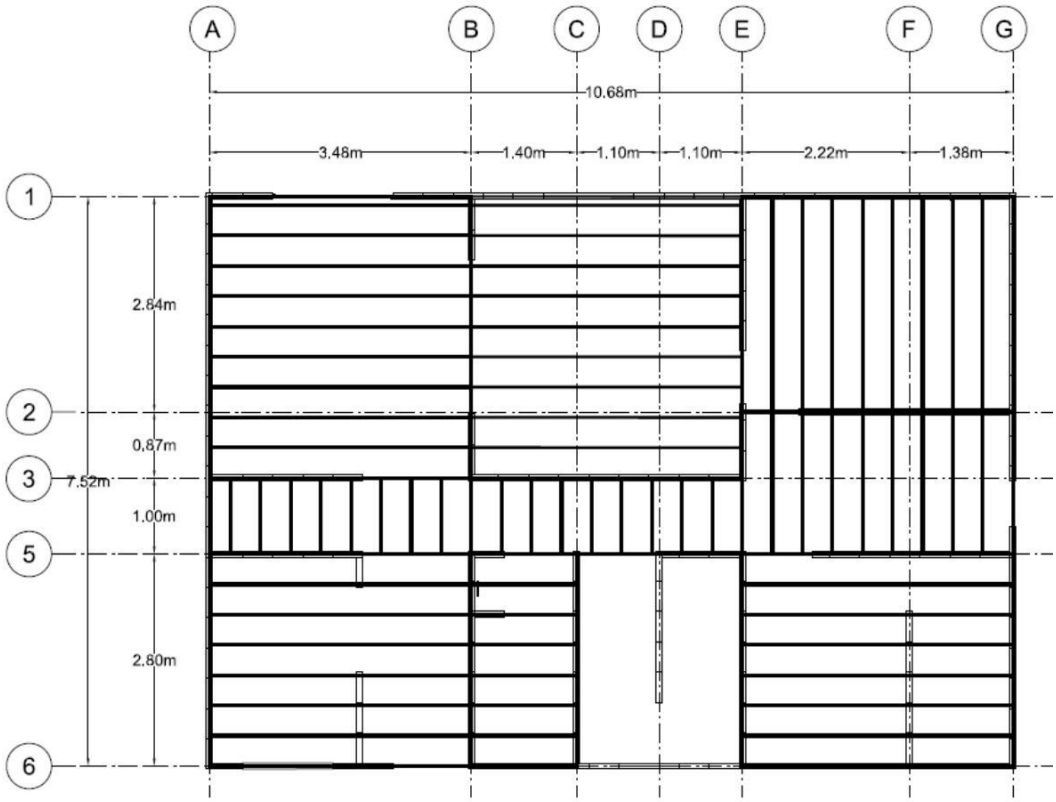
El corte fue chequeado para asegurarse que la sección del panel fuera capaz de soportar la demanda de corte generada por las cargas. Esto fue necesario para que la madera no fallara antes que la conexión en el apoyo. Se comparó la demanda de corte por las cargas con la capacidad cortante de la madera (F'v) multiplicada por la sección a corte del panel. Debido a que se utilizó un panel de losa de 10 cm, el cortante no fue crítico para este caso. La exigencia a corte fue del 8.50% de la capacidad.

Por último, se hizo el chequeo de un aspecto que es importante para la comodidad del usuario, la vibración. La vibración no es un aspecto estructural pero debe tomarse en cuenta por la comodidad de uso de la estructura. Se utilizó la comprobación $_{0.7} \geq 125.1$ para verificar que las vibraciones de los pasos del usuario no se sintieran. La relación $_{0.7}$ fue de 928, por lo que cumplió con el criterio.

b. Diseño con secciones laminadas. Se diseñó el entrepiso como unidireccional debido a que los paneles solo llevan la fibra en una sola dirección y van a poyados a solo un lado de los muros. Por ser una estructura de madera el comportamiento uniforme no existe en un cien por ciento, por lo tanto, se diseñaron para que estuvieran actuando como diafragmas rígidos. Esto aseguraba que el comportamiento fuera más uniforme y las cargas gravitacionales y sísmicas se distribuyeran más equitativamente.

Como la idea constructiva de esta casa es su facilidad de ensamblaje, los paneles del entrepiso se diseñaron de las mismas dimensiones que los paneles de las paredes. Para poder chequear los paneles del entrepiso se determinó la demanda flexionante que tenía el panel más crítico, que lo determinaba la longitud máxima. Con esto se determinaba su capacidad real y chequeaba. Otro aspecto importante a tomar en cuenta son las derivas verticales o deflexiones, es importante que sobrepasen los límites. Ver Apéndice D para los cálculos. El panel crítico que se utilizó tenía una longitud de 3.60 metros con un espesor igual que los paneles de pared de 9.5 centímetros. En la Figura 143 se puede apreciar la distribución de paneles de entrepiso. Esta distribución se hizo dependiendo de las longitudes entre muros, se trató de siempre escoger las longitudes mínimas.

Figura 143. Distribución de paneles de entrepiso



Fuente: Elaboración propia

5. Diseño de techo

a. Diseño en CLT. El techo de la vivienda fue diseñado arquitectónicamente a dos aguas. Debido a esta razón, no se dejó un acceso al techo. Como consecuencia, las cargas del techo fueron considerablemente menores que las de la losa de entrepiso, como se puede observar en la Tabla 5. Se tuvo previsto la instalación de paneles solares en la mayoría del techo para suministrar de energía eléctrica a toda la casa. Esta instalación especial añadió 3.00 psf de carga muerta a la losa de techo. Al igual que la sección de entrepiso, no se permite un espesor de panel menor de 10 cm, por lo que se trabajó con esta dimensión mínima.

Para la losa de techo, únicamente se diseñó para la flexión, deflexión y el corte. La vibración no fue verificada ya que el techo no va a tener acceso. Debido a que las cargas de techo son menores a las de entrepiso y la sección del panel también fue de 10 cm, no hubo mayor problema en el diseño. A flexión, el

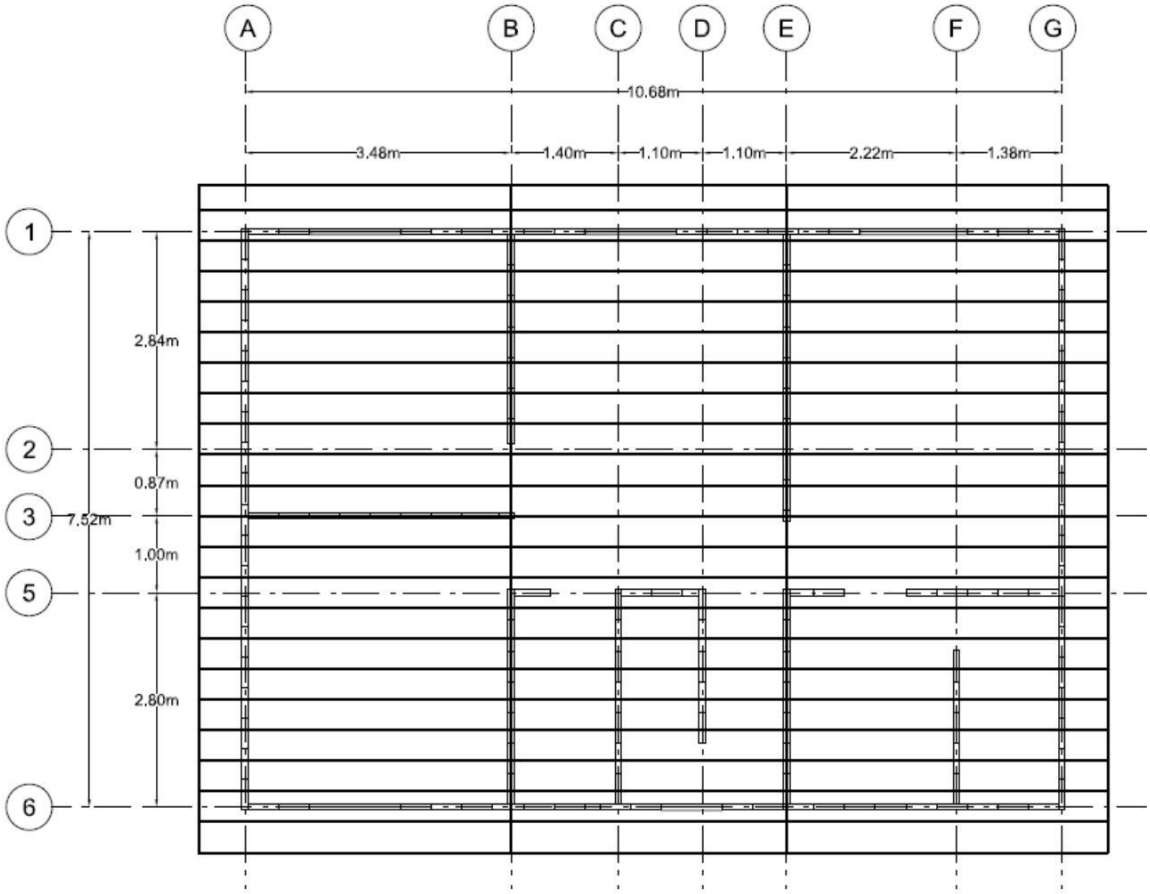
panel de techo estaba exigido al 7.90% de su capacidad, en corte al 3.10% y la deflexión máxima fue de 0.167 in, el 28.30% de la admisible.

b. Diseño con secciones laminadas. El techo es de dos aguas, es decir, tiene dos inclinaciones siendo la parte más alta en el eje x. El diferencial de altura entre la parta más alta y la parte más baja es de 1 metro, lo cual hace que cumpla con la pendiente mínima de techo establecido. Se diseñó el techo con un voladizo de 60cm a lo largo del perímetro de la casa. Al igual que el entrepiso, el techo se diseñó como unidireccional. Esto, como se mencionó anteriormente, fue debido a la posición de los paneles y su distribución sobre los muros interiores y exteriores. Se diseñaron con base al largo crítico. La distribución de estos paneles fue en una sola dirección, no fueron en varias direcciones como los paneles del entrepiso. Se diseñó la unificación de todos los paneles de techo para aseguran un comportamiento uniforme como diafragma.

Como está descrito anteriormente la idea constructiva de esta casa se enfoca en su facilidad de ensamblaje, los paneles del entrepiso se diseñaron de las mismas dimensiones que los paneles de las paredes y paneles del entrepiso. Esto se hizo para que el método de fabricación fuese más rápido y la instalación de la casa fuera más uniforme. Se diseñó el panel más crítico que tenía una longitud de 4.20 metros. Para poder chequear los paneles del entrepiso se determinó la demanda flexionante que tenía el panel más crítico, que lo determinaba la longitud máxima. Con esto se determinaba su capacidad real y chequeaba. En la figura 39 se puede observar la distribución que se utilizó para colocar los paneles.

Se logró diseñar los paneles con las cargas necesarias para que el espesor de todos los paneles del techo sea de 7.6cm, logrando así uniformidad en la fabricación de paneles. Ver Apéndice E para ver los resultados de análisis de diseño.

Figura 144. Distribución de paneles de techo



Fuente: Elaboración propia

6. Diseño de conexiones

a. Conexiones panel a panel. Las conexiones panel a panel consisten en dos ramas: las conexiones entre paneles de pared (longitudinalmente) y las conexiones entre paneles de losa. En ambos casos, la carga sísmica se vio involucrada el diseño de la conexión. La razón es el corte producido por este tipo de carga. La cantidad de tornillos fue determinada en base a la cantidad de carga que recibía la pared crítica y para la losa se obtuvo un número de tornillos por metro lineal de panel.

1) Conexión panel de pared a panel de pared.

a) Conexión con paneles CLT. Como se mencionó anteriormente, el corte producido por la carga sísmica fue la demanda crítica para el diseño de esta conexión. Debido a la dirección horizontal de

la carga hacia la estructura, esta va a sufrir un desplazamiento. Este movimiento crea un corte entre paneles, el cual debe ser resistido por la conexión a colocar.

Para las paredes, se calculó cual era la pared que contenía más demanda de carga en base a áreas tributarias. Esta área se comparó con la longitud del muro y se obtuvo cual era la relación área tributaria/longitud de muro critica. A esta pared se le aplicaron las cargas gravitacionales, las del entrepiso y las que recibe de la pared del nivel superior, y la porción de carga sísmica que recibía dicho muro. Esta porción de carga sísmica fue obtenida con el porcentaje de área tributaria del muro en relación con el área total del piso.

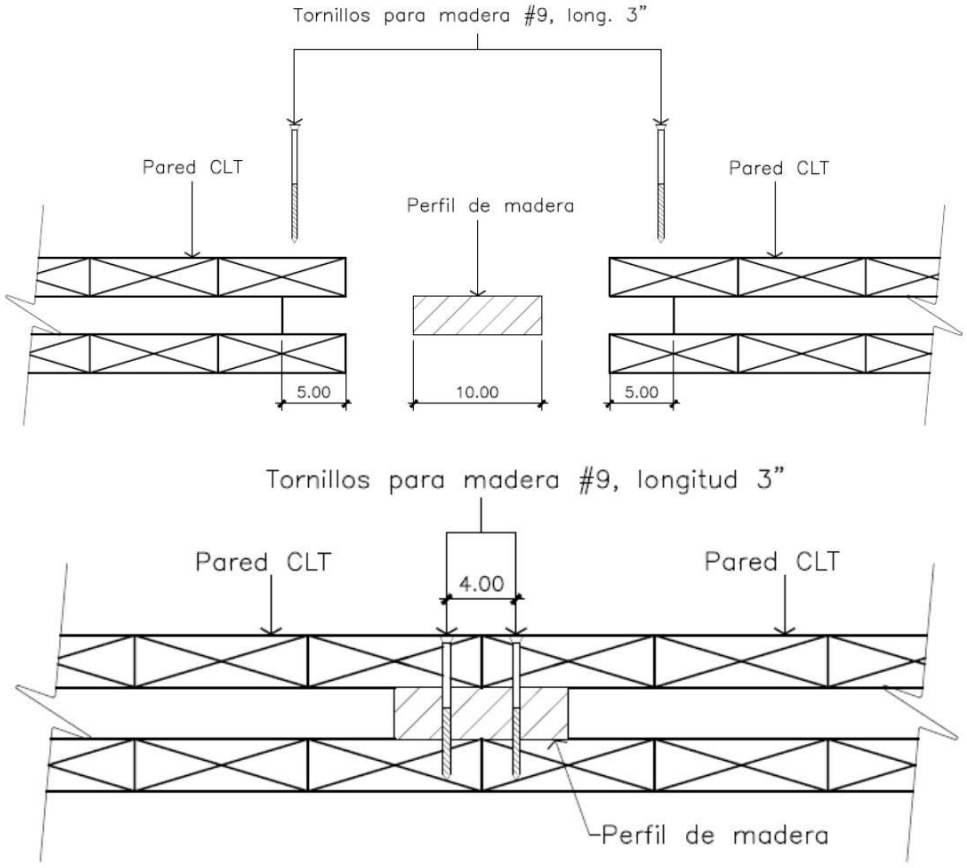
La primera propuesta fue realizar la conexión de la forma más simple, utilizando el medio traslape entre paneles. Esta conexión es fácil de realizar ya que no requiere piezas adicionales y consiste únicamente en traslapar los paneles. El problema que se encontró con esta propuesta es que los tornillos únicamente tenían un plano de corte. Al chequear la conexión, el número de tornillos que requería era elevado, por lo que la separación entre tornillos iba a ser muy pequeña. Una opción para resolver este problema fue utilizar tornillos de diámetro mayor y de cabeza hexagonal. Sin embargo no resulto en una gran mejora y el tamaño del tornillo era grande. La solución que se encontró fue cambiar el tipo de conexión.

Se optó por tener los tornillos con dos planos a corte, mejorando la capacidad de la conexión. Para lograr esto, se eligió realizar una conexión de ranura interna con un tablón de la misma madera de los paneles insertado en la ranura. Al realizar esta conexión son necesarias dos filas de tornillos para conectar los elementos. Con esta doble fila y teniendo los tornillos con dos planos de corte la conexión se logró diseñar más sencilla y más fácil de realizar.

Para el diseño se utilizaron tornillos para madera #9 de 3 pulgadas de longitud. Estos tornillos son de 0.177” de diámetro y se utilizó un valor de Fy de diseño de 70 ksi, en base a la Tabla L3 del NDS 2015. Para calcular la capacidad de un tornillo se utilizaron las fórmulas de este mismo manual para encontrar cual era el modo de falla de la conexión. Se buscó que el tipo de falla que dominara fuera el Modo III o el IV, para asegurar la fluencia de los tornillos en la falla y no el de la madera. En este caso en particular, domino el Modo IV. La demanda de tornillos para la conexión fue de 14.329 tornillos.

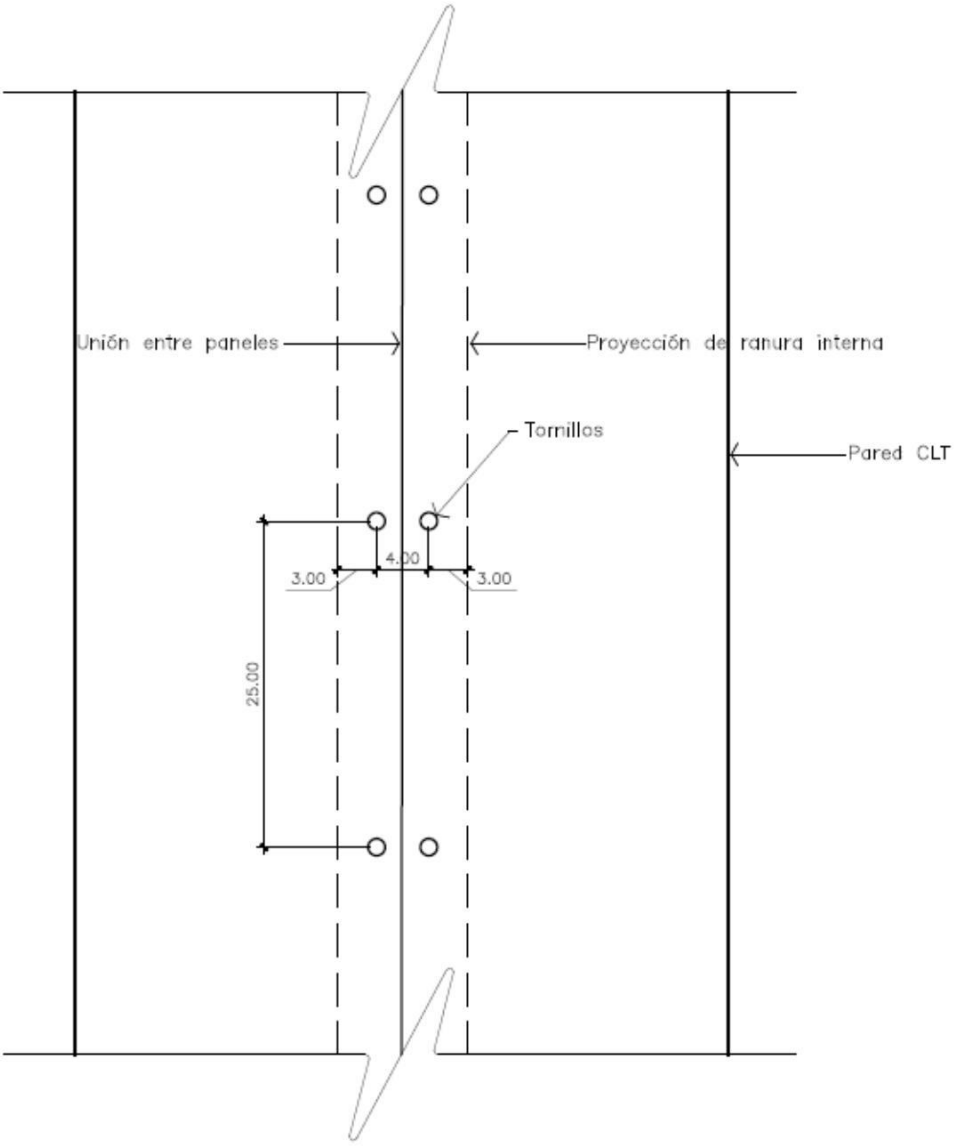
Se propuso una conexión con dos filas de tornillos a cada 25 cm a lo largo de la longitud de la unión. La ranura interna se realizará en la lámina interior del panel con una longitud de 10 cm. La separación entre las filas de tornillos será de 4 cm. Con este arreglo se logra tener un total de 16 tornillos a lo largo de la altura de los paneles del nivel 1.

Figura 145. Detalle en planta de conexión entre paredes para el nivel 1



Fuente: Elaboración propia

Figura 146. Detalle en elevación de conexión entre paredes para el nivel 1

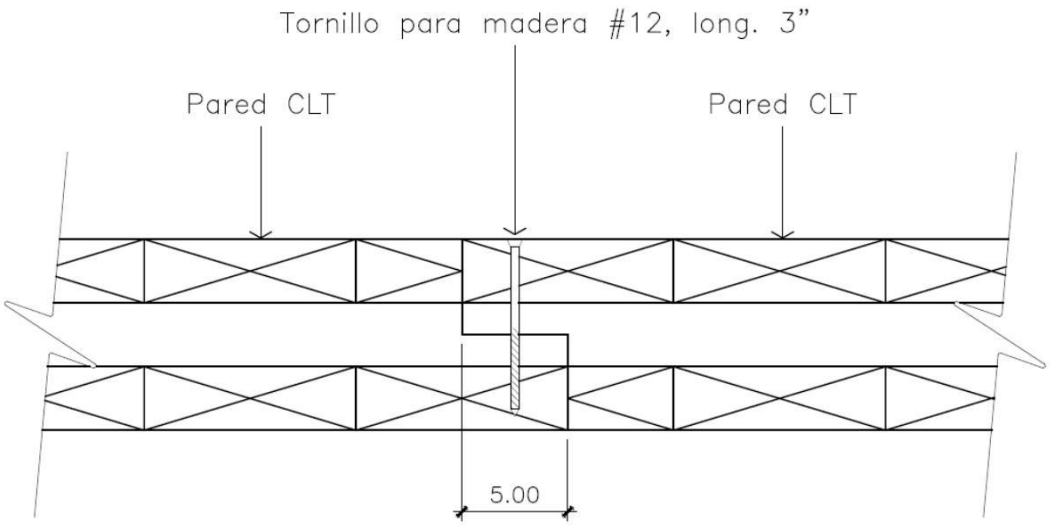


Fuente: Elaboración propia

Para las paredes del segundo nivel, se propuso una conexión de traslape entre paneles ya que la carga en este nivel es menor. Gracias a la baja demanda de carga esta propuesta si se pudo realizar para este nivel. Al igual que para el primer nivel, el modo de falla que dominó en esta conexión fue la IV. Los tornillos utilizados fueron #12 de 3 in de longitud. El diámetro de estos conectores es de 0.216" con un Fy de 80 ksi. El número necesario de tornillos para la conexión fue de 20.247.

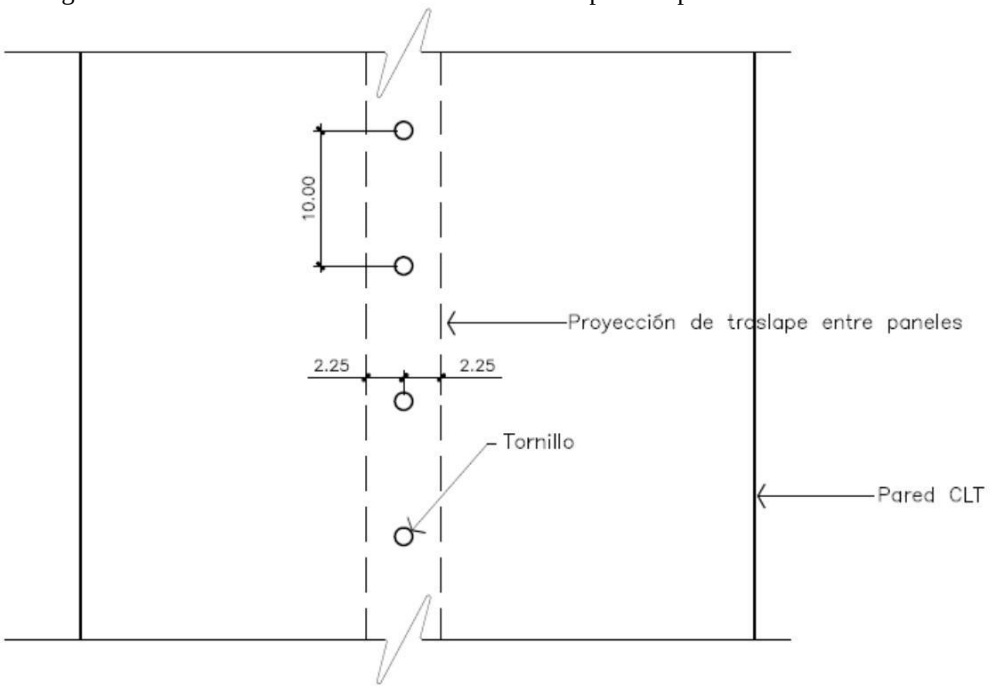
Para cumplir con esta demanda se propuso una conexión con un tornillo cada 10 centímetros. Con este arreglo se consigue tener 25 tornillos en las partes más altas y 15 en las partes más bajas del nivel, donde la demanda es menor.

Figura 147. Detalle en planta de conexión entre paredes para el nivel 2



Fuente: Elaboración propia

Figura 148 .Detalle en elevación de conexión entre paredes para el nivel 2



Fuente: Elaboración propia

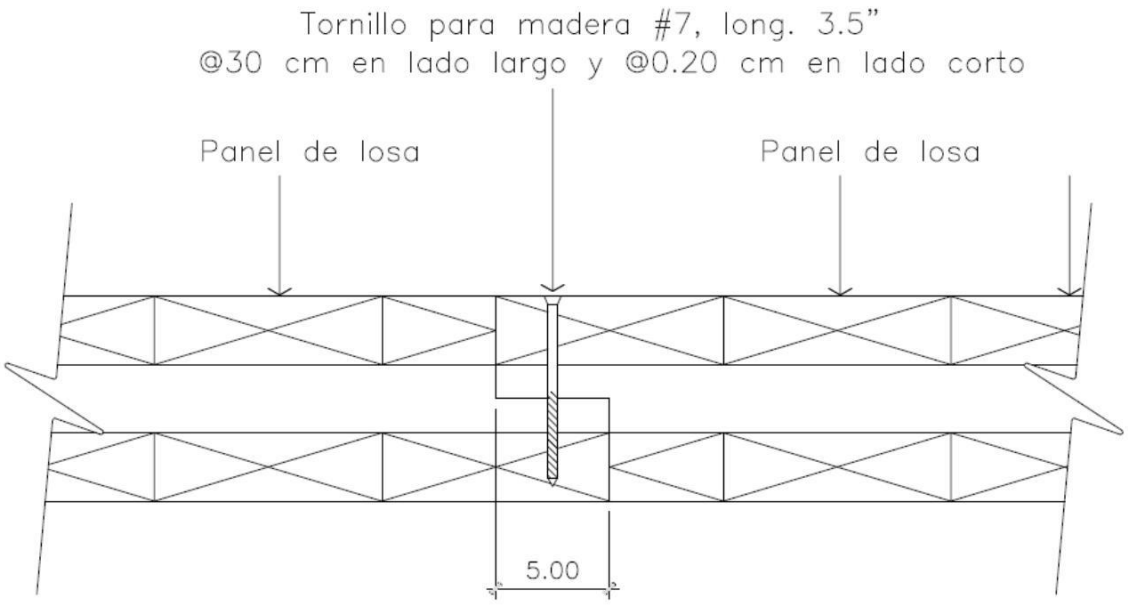
2) Conexión panel de losa a panel de losa. Las conexiones entre paneles de losa son necesarias para crear un diafragma semirrígido que sea capaz de transmitir la carga sísmica hacia las

paredes y estas a su vez a los cimientos. Para este caso se diseñó la conexión entre paneles de losa de entrepiso y paneles de losa de techo.

a) Conexión con paneles CLT. Al igual que las conexiones pared-pared, la conexión del segundo piso estuvo menos exigida que la del primero por las cargas que recibe. Debido a esto, se optó por realizar el diseño de las conexiones entre paneles de losa de entrepiso y utilizar la misma conexión para los paneles de techo, para estar en el lado conservador. Para este caso, se diseñó la conexión para obtener un número de tornillos por metro lineal de panel. De esta manera se facilitan las instrucciones de ensamble.

La demanda de corte que exigía la conexión fue de 0.375 kip por metro lineal. Se propuso una conexión utilizando tornillos para madera #7 de diámetro 0.151" y longitud 3.5" con un Fy de 90 ksi. Para este caso, el modo de falla que dominó fue el IV. La cantidad de tornillos por metro que requirió la conexión fue de 1.118. Se propuso conectar los paneles con estos tornillos a cada 30 cm en el lado largo del panel y a cada 20 cm para el lado corto del panel. El cambio de espaciamiento entre el lado largo y el lado corto se hizo para asegurar colocar por lo menos 2 tornillos en el lado corto y lograr una buena conexión.

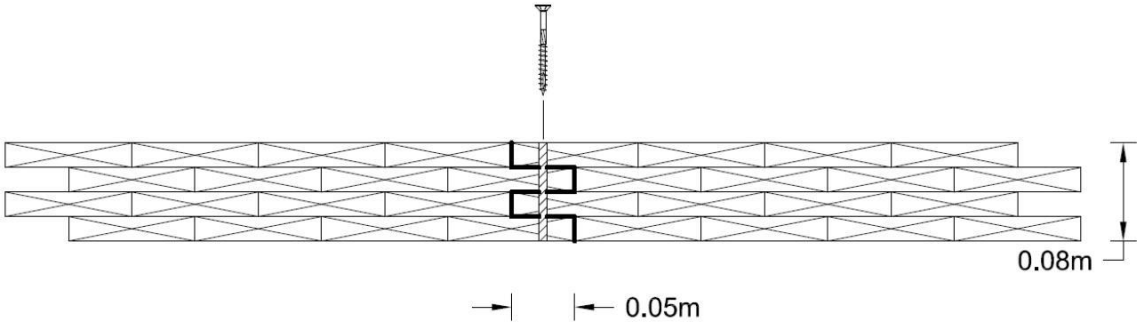
Figura 149. Detalle de conexión entre paneles de losa de entrepiso y techo



Fuente: Elaboración propia

b) Conexión con paneles de sección laminadas. Se diseñaron las conexiones panel a panel lo más sencillo posible. Esto para que fuera de fácil instalación y que los costos se redujeran al no tener que realizar un anclaje en específico entre paneles. La misma estructura de las secciones más pequeñas laminadas nos provee unos dientes que encajan perfectamente entre paneles. En la figura 150 se puede apreciar que la distribución de estas secciones laminadas se asemeja a la de una pared de block en vista lateral. Se van colocando aglomeradas comenzando desde la mitad, justo como se colocan los blocks o ladrillos en una pared vertical. Siguiendo el orden de los paneles se llega a tener dos dientes de cada lada del panel que a la hora de juntarlos llegan a tener tres planos de corte, que esto nos interesa muchísimo a la hora de diseñar los tornillos que van a estar resistiendo la fuerza cortante entre paneles de paredes. En la figura 40 se puede apreciar una conexión entre paneles típica. Este detalle de conexiones de paneles se da en las conexiones de paredes, entrepiso y techo. El tipo de tornillo que se utiliza acá es HBS670. El espaciamiento de este tornillo depende de la cantidad de carga lateral y carga gravitacional que los paneles en específico estén recibiendo.

Figura 150. Conexión panel a panel con tornillo



Fuente: Elaboración propia

b. Conexiones pared a pared (esquinas)

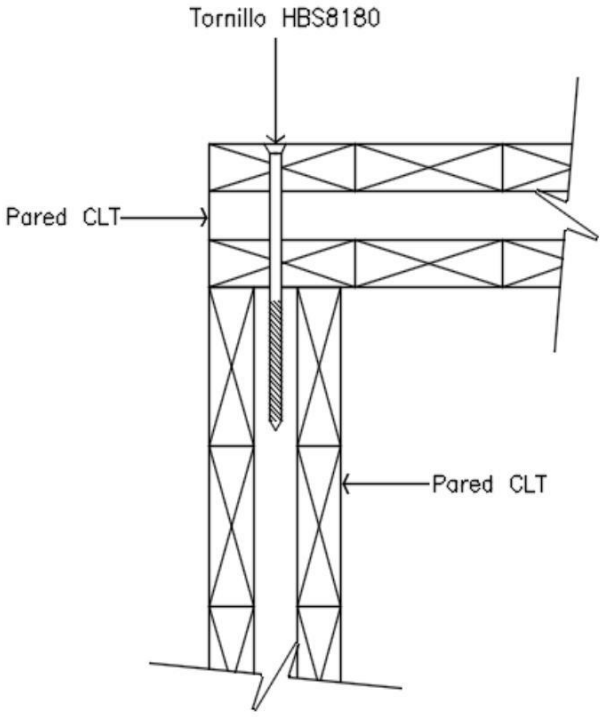
1) Conexión con paneles CLT. En las conexiones pared-pared de esquina se diseñó otro tipo de conexión debido a que los tornillos iban a insertarse en el borde del panel y únicamente iban a tener un plano a corte. Tanto el CLT Handbook como el NDS castigan este tipo de conexión reduciendo el valor de resistencia de la conexión por un factor de borde de panel. Esto se debe a que cuando el tornillo, clavo, perno, tarugo, etc. Es colocado en el borde del panel la fibra entra en juego el factor del interlaminado, el cual puede reducir la capacidad de la conexión. Por estas condiciones, se esperaba un gran número de tornillos por conexión.

En este caso se diseñó la conexión para el primer nivel y para el segundo, ya que se esperaba optimizar la cantidad de tornillos para el segundo nivel por tener menos carga. Para el primer nivel la demanda de carga

para esta conexión fue de 8.935 kip. Al utilizar tornillos tradicionales la conexión necesitaba una gran cantidad de tornillos para soportar el corte anteriormente mencionado y no cumplían con el espaciamiento mínimo entre conectores. Por esta razón, se utilizaron tornillos especiales para madera tipo HBS.

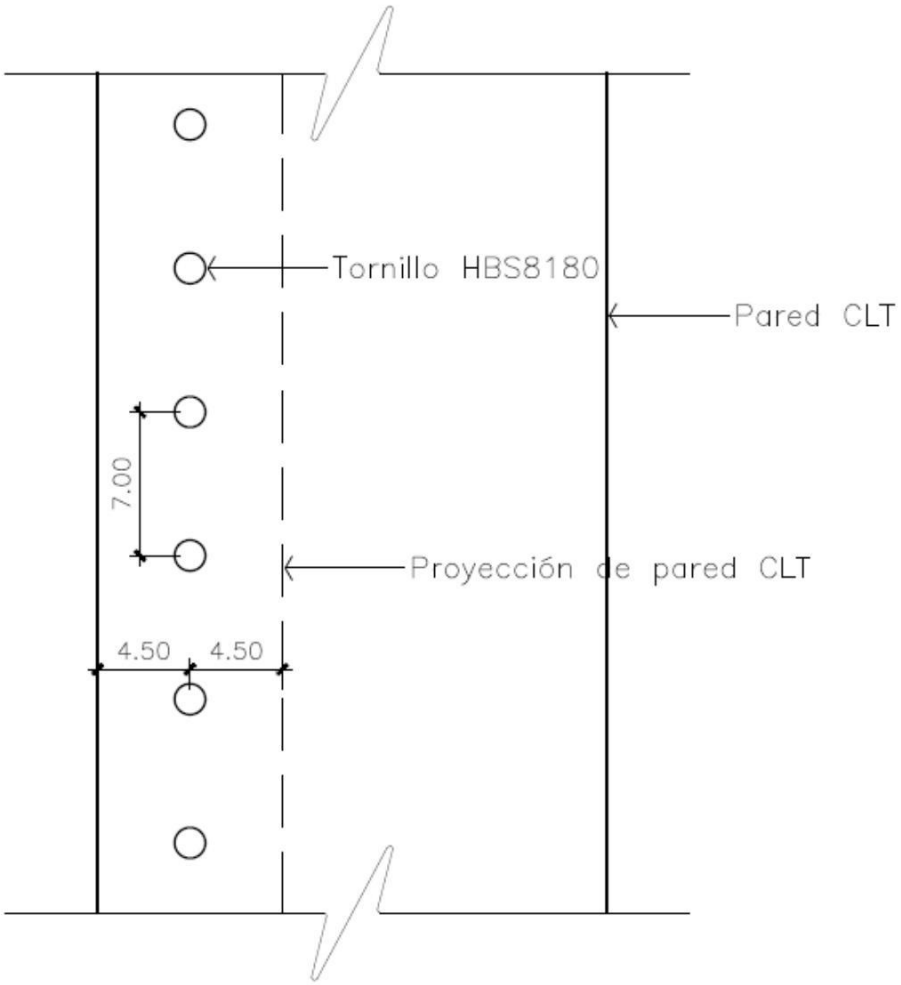
Para el primer nivel, se utilizaron tornillos HBS8180 de 8 mm de diámetro y 180 mm de longitud con un Fy de 145 ksi. El modo de falla que dominó para esta conexión fue el IV y la conexión tuvo una demanda de 33.116 tornillos. La propuesta para la conexión fue de poner 1 tornillo a cada 7 cm de longitud, teniendo un total de 33 tornillos en los 2.40 m de altura de los paneles. Para esta conexión no se logró utilizar un diámetro más grande de tornillo ya que empezaba a dominar el modo de falla II, algo que no es recomendable para las conexiones sismo resistentes.

Figura 151. Detalle en planta de conexión entre paneles de pared en esquinas para nivel 1



Fuente: Elaboración propia

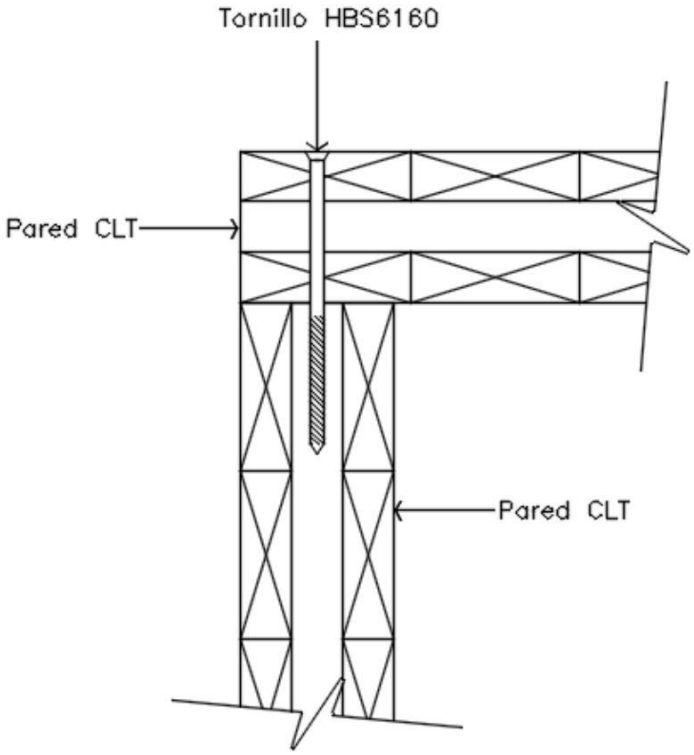
Figura 152. Detalle en elevación de conexión entre paneles de pared en esquinas para nivel 1



Fuente: Elaboración propia

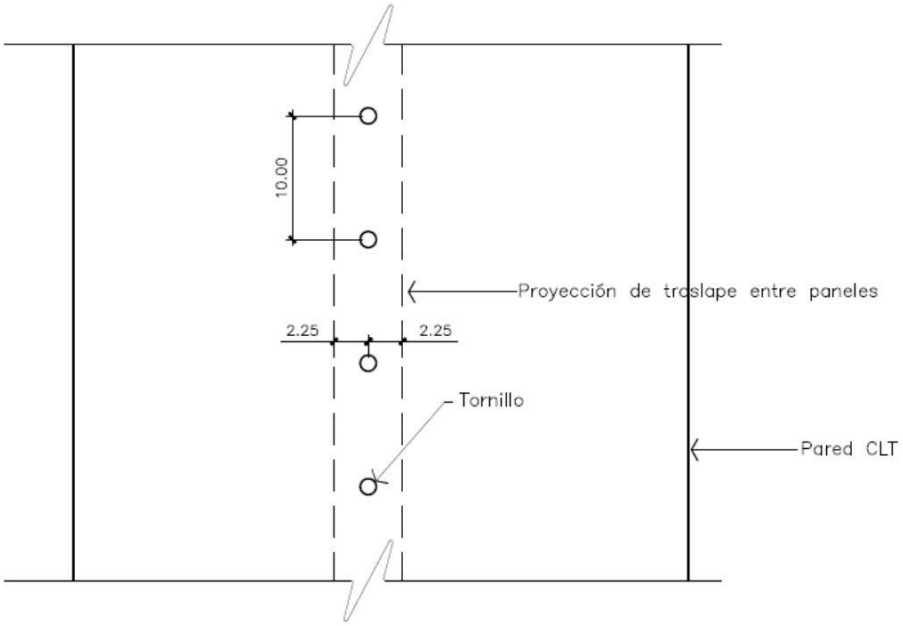
Para la conexión del segundo nivel también se utilizaron tornillos especiales. Los tornillos con los que se propuso la conexión fueron los HBS6160 de 6 mm de diámetro y 160 mm de longitud. El corte que debía resistir la conexión fue de 4.047 kips, aproximadamente la mitad de lo del primer nivel. El modo de falla IV fue el dominante para este caso y se tuvo una demanda de 17.053 tornillos. Se hizo un arreglo de colocar un tornillo a cada 14 cm de longitud de panel. Para el lado más alto del nivel (2.60 m) se logra tener 17 tornillos y en la parte más baja (1.60 m) 10 tornillos.

Figura 153. Detalle en planta de conexión entre paneles de pared en esquinas para nivel 2



Fuente: Elaboración propia

Figura 154. Detalle en elevación de conexión entre paneles de pared en esquinas para



Fuente: Elaboración propia

2) Conexión con paneles de sección laminada

a) Conexiones paneles de pared a pared. Para la conexión de pared a pared fue necesario determinar cuál era la pared más crítica de toda la estructura. Esto ya lo determinamos en la sección de diseño de paredes. El muro más crítico fue el muro 1 en dirección Y del primer nivel. Con base en su área tributaria se determinó el porcentaje de carga lateral que estaba recibiendo. Se realizó una simple sumatoria de momentos incluyendo la carga lateral y la carga gravitacional. Con esto se determinó la reacción máxima en el extremo del muro. Esta reacción se puede tomar como el cortante que recibe pared entre pared. Los tornillos son los que tiene que absorber toda la cortante en cada plano de corte que haya entre pared y pared. Como vimos en la figura 150 la conexión de panel a panel contiene tres planos de corte, lo cual nos indica que la capacidad cortante del tornillo se puede tomar como el triple. Sabiendo la capacidad del corte y la demanda de corte de pared y pared se puede calcular la cantidad y espaciamiento entre tornillos. En el muro 1, el crítico, se determinó que en cada conexión de panel a panel tiene que tener 20 tornillos HBS670 de una capacidad de 91.50 kilogramos a un espaciamiento de 18 centímetros. Con base en esta pared crítica, se diseñaron todos los demás muros de la casa con el fin de poder uniformizar el proceso constructivo. Ver apéndice F para ver las memorias de cálculo hechas para cada sistema de muros en cada dirección de los niveles.

Otro aspecto importante que hay que tomar en cuenta es la capacidad que tiene los dientes a corte longitudinal. Esto se refiere a que hay que chequear que los tornillos fallen antes que el diente longitudinal. Para esto se cheque la capacidad a corte longitudinal del diente y se compara con la capacidad a lo largo del panel por un doble plano de corte de los tornillos. Se determinó que la capacidad de los tornillos resisten un 8.43% de la capacidad de los dientes del panel. Ver apéndice F para ver la memoria de cálculo de la capacidad de corte de los dientes de conexión.

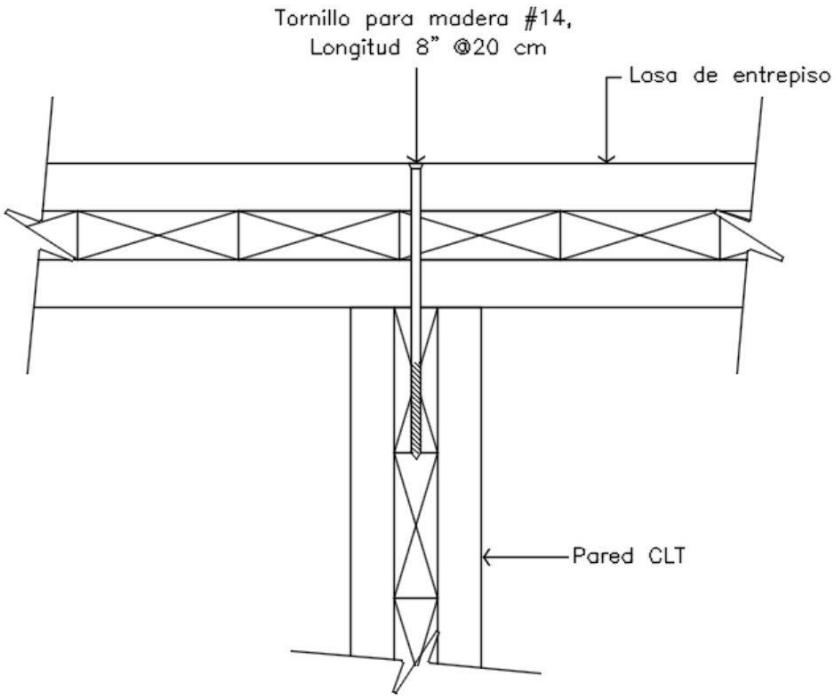
c. Conexiones de paredes a losa de entrepiso

1) Conexión con paneles CLT. La conexión de la losa de entrepiso hacia las paredes del primer nivel y la de las paredes del segundo nivel hacia la losa de entrepiso se propusieron de manera diferente. La conexión de la losa de entrepiso hacia las paredes del primer nivel se propuso como una simple conexión atornillada con un plano de corte. La longitud de estos tornillos tenía que ser lo suficientemente largo para atravesar todo el panel de losa y una longitud apropiada el panel de pared.

El método que se utilizó para el cálculo de esta conexión fue similar que el utilizado para la conexión de panel a panel de losa. Se calculó la fuerza cortante que debe resistir la conexión por metro de longitud para obtener un número de conectores por metro. La demanda de carga por metro para esta conexión fue de 374.54 lb y se propuso utilizar tornillos #14 de diámetro 0.242” y longitud de 8” con un Fy de 70 ksi. Al igual que en otras conexiones, el modo de falla dominante fue el IV. El número de tornillos obtenido por metro fue de

3.566. Para cumplir con esta demanda se planteó colocar 1 tornillo a cada 20 cm para tener 4 tornillos por metro.

Figura 155. Sección de conexión entre paneles de losa y paredes nivel 1



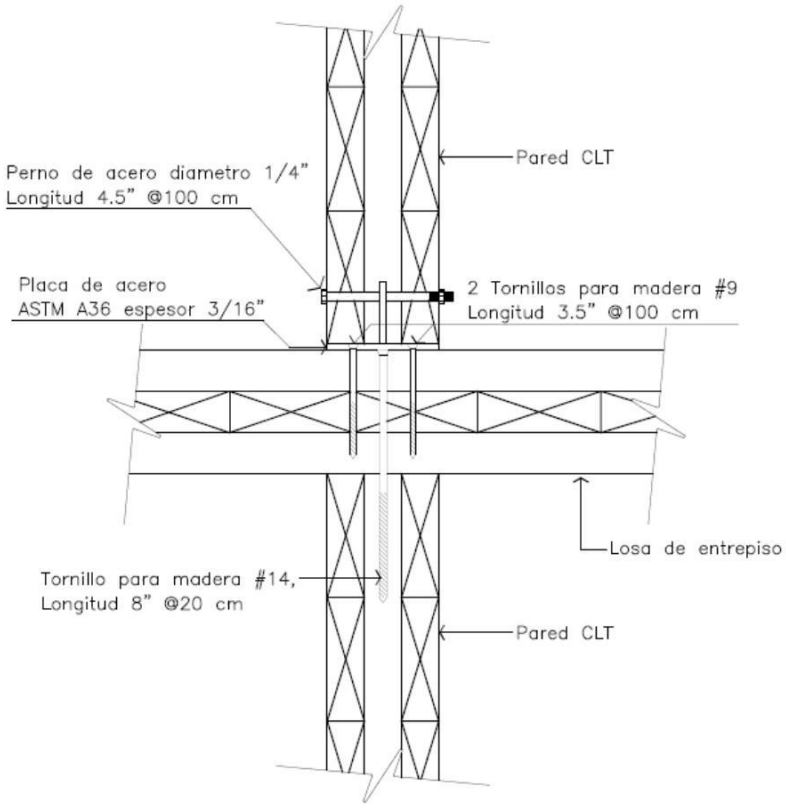
Fuente: Elaboración propia

La conexión de las paredes del segundo nivel hacia los paneles de losa de entrepiso se realizó utilizando un ensamble con perfil metálico oculto. Se escogió esta conexión debido a su discreción, los únicos elementos que sobresalen son la cabeza del perno y la tuerca. Para ocultar estos dos elementos se podría recubrir la pared con otro material o colocar un zócalo, ya que quedarían a una pequeña altura sobre suelo. Estructuralmente, la conexión debió chequearse a corte para los pernos y los tornillos que conectan la placa con la losa a arrancamiento debido a la fuerza de extracción sobre ellos.

Los pernos propuestos fueron de 1/4" de pulgada de diámetro y 4.5" de longitud con un Fy de 45 ksi. El modo de falla para estos conectores fue el IV, al igual que en los casos anteriores. El número de pernos necesario por metro fue de 0.277, por lo que se propuso colocar un perno a cada metro. El perfil metálico va a ser colocado en todo el camino de la pared, para que funcione como guía para la construcción. El metal escogido fue acero ASTM A36 de 3/16" de espesor. Los paneles van a venir de fábrica con el espacio para insertarse en el riel, para ahorrar tiempo de ensamblaje.

El perfil metálico anteriormente descrito va a ser fijado al panel de losa por medio de tornillos. Los conectores propuestos fueron tornillos #9 de diámetro 0.177” y 3.5” de longitud. Para fijar la placa deben colocarse dos tornillos, uno de cada lado del perfil. Estos van a estar espaciados a cada metro, al igual que los pernos. La fuerza de arrancamiento sobre ellos fue de 641.78 lb y la capacidad a extracción de los tornillos calculada, en base a las formulas del *CLT Handbook*, fue de 871.623 lb, por lo que están exigidos al 73.60%.

Figura 156. Sección de conexión entre paneles de losa y paredes nivel 1

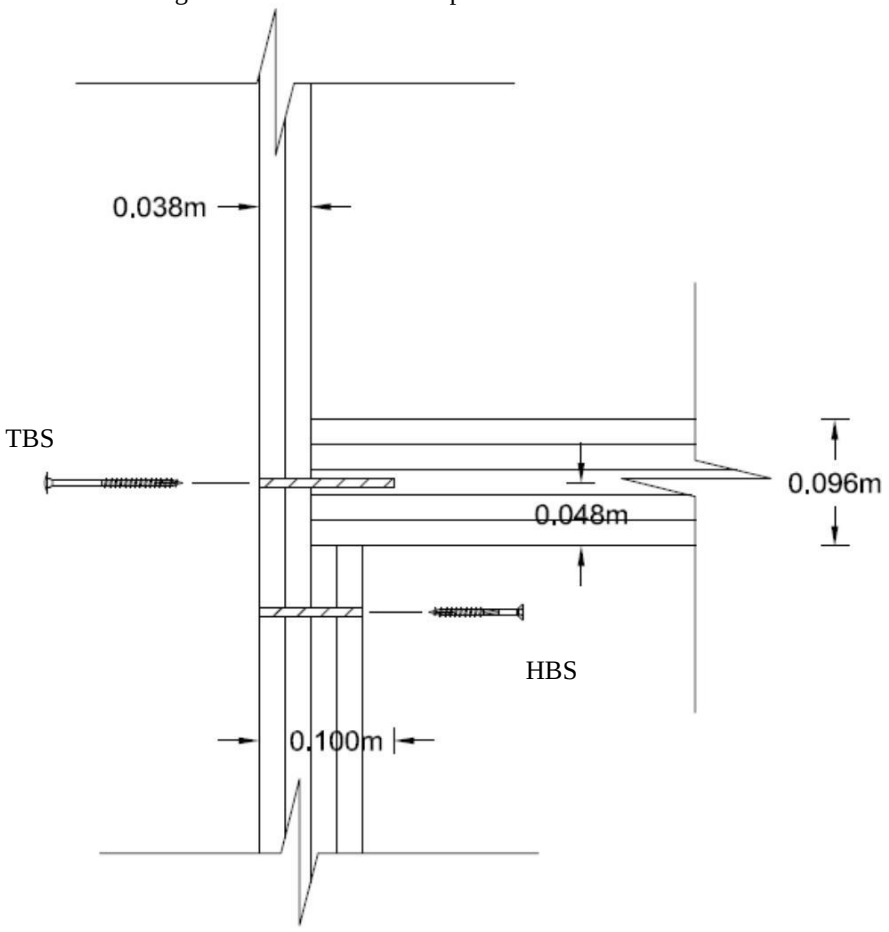


Fuente: Elaboración propia

2) Conexión con paneles de sección laminada. Para la conexión del entrepiso y las paredes del primer nivel es necesario determinar cuanta carga lateral está recibiendo y cuando carga gravitacional. La carga lateral nos dice que tanta demanda a corte va a requerir, para saber cómo consecuencia cuantos tornillos utilizar. Existen dos tipos de conexiones de entrepiso a paredes. El primer tipo de conexión va a con las paredes externas de la casa, el figura 42 se puede apreciar el detalle de la conexión.

Se calcularon dos tornillos para soportar las cargas laterales y gravitacionales en la conexión. El tornillo TBS8100 es el encargado de soportar el entrepiso a corte y a tracción cuando este se deflecte. Este tornillo tiene un diámetro de 8 milímetros y una longitud de 10 centímetros. Los cálculos determinaron que se necesitan estos tornillos a cada 7 centímetros a una separación de 6 centímetros.

Figura 157. Conexión Entrepiso a Pared Externa



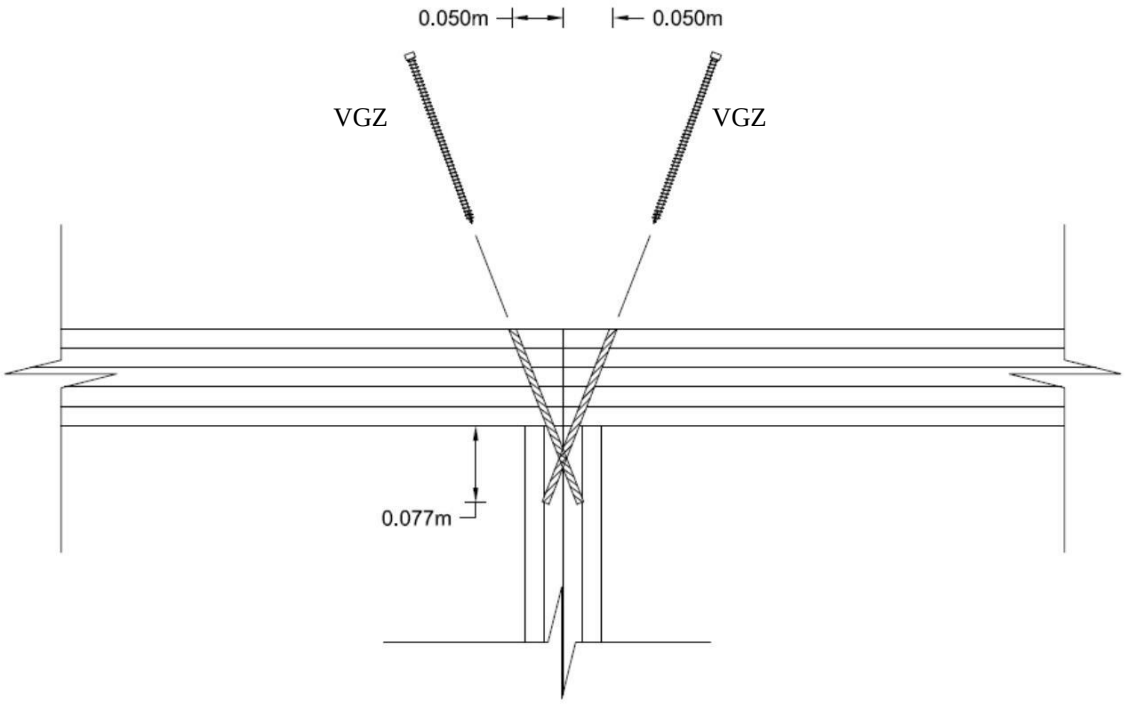
Fuente: Elaboración propia

El tornillo HBS670 es el encargado de mantener unida la pared externa. Este tornillo tiene un diámetro de 6 milímetros y un espaciamiento 40 centímetros, es decir un cada panel. En el apéndice G se puede ver la memoria de cálculos para la capacidad y demanda de cada uno de estos tornillos, al igual que su espaciamiento entre ellos.

Para la conexión del entrepiso a las paredes internas de la casa se emplearon otro tipo de tornillos. Estos tornillos tienen que ser de una longitud mucho más grandes que los anteriores. Los tornillos a utilizar son los VGZ7180. Estos son especiales para esto porque se pueden ocultar en la madera una vez introducidos toda su rosca. En el apéndice G se puede verificar la memoria de cálculo empleada para el cálculo de la cantidad

y el espaciamiento de estos tornillos en los paneles del entrepiso hacia las paredes interiores. Como resultado se determinó que se necesita 1 tornillo a una separación de 60 centímetros a lo largo de todo el entrepiso. Por cuestiones de facilidad constructiva se aproximó a 1 tornillo cada panel. En la Figura 158 se puede ver el detalle de esta conexión. En la figura se aprecia la inclinación de los tornillos, esto es debido a la separación mínima que se puede atornillas hacia el extremo de la madera. Estos tornillos van intercalados, es decir, no se cruzan.

Figura 158. Conexión entrepiso a pared interna

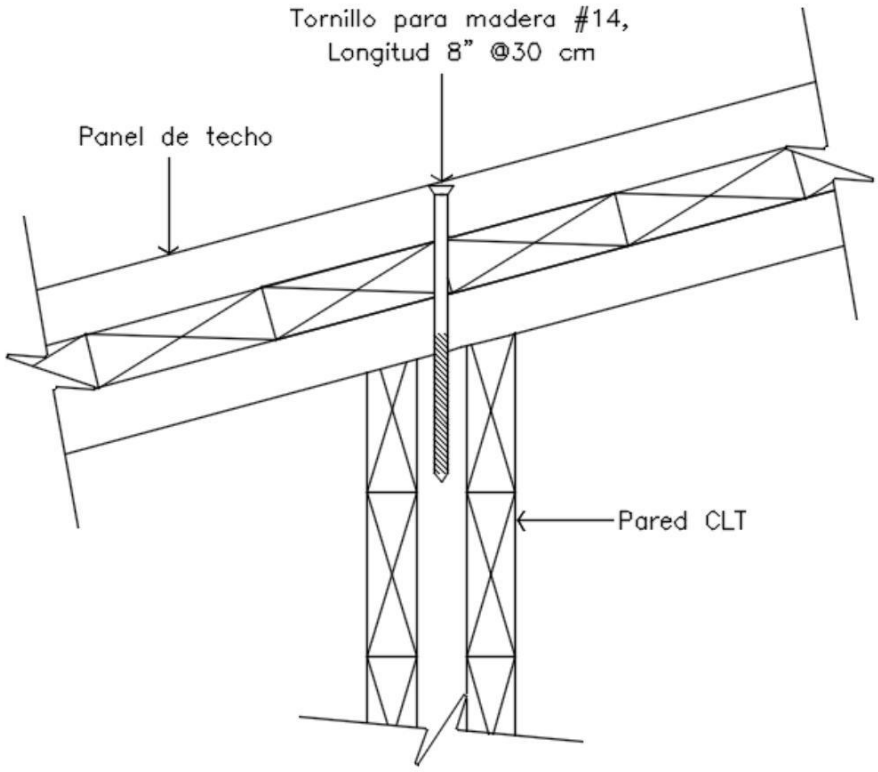


Fuente: Elaboración propia

d. Conexión techo a pared

1) Conexión con paneles CLT. La conexión techo a pared fue propuesta de manera similar a la conexión de losa de entrepiso a paredes del nivel uno. Se propuso una conexión a simple corte con tornillos para madera #14 lo suficientemente largos para atravesar todo el panel de techo y quedar fijados en el panel de pared. La demanda de corte debido a las cargas para este nivel son bajas, por lo que la cantidad de tornillos por metro que se necesitan es baja, 1.389. Se decidió utilizar los tornillos #14 de diámetro 0.242” y longitud 8”, al igual que en la conexión losa de entrepiso a paredes de la planta baja. La conexión planteada fue la de colocar 1 tornillo a cada 30 centímetros, para tener 2 tornillos por metro. La única diferencia entre esta conexión y la de entrepiso a paredes del primer nivel es la inclinación de la losa de techo.

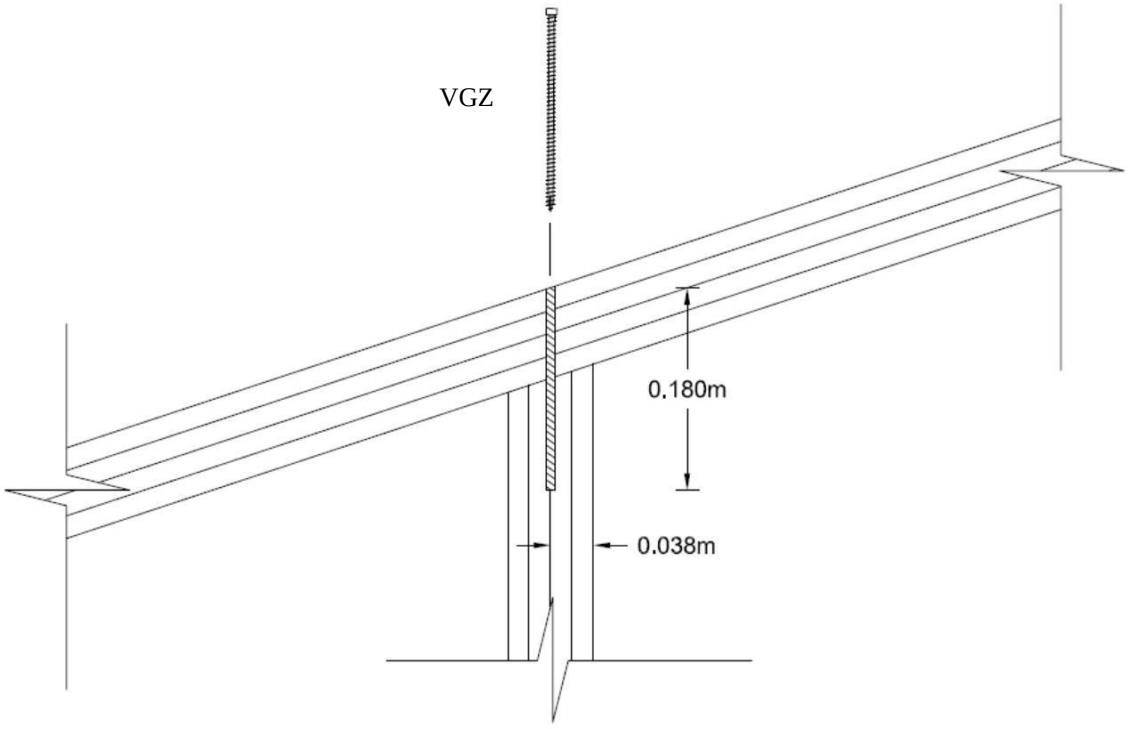
Figura 159. Sección de conexión entre paneles de techo y paredes nivel 2



Fuente: Elaboración propia

2) Conexión con paneles de sección laminada. Al igual que las conexiones de entrepiso a pared, las conexiones de techo a pared se calculan de la misma manera. Primero se encuentra la demanda de carga lateral y la demanda de carga gravitacional. En el apéndice G se puede observar la memoria de cálculo de estos tornillos. Se diseñó siempre para la conexión más crítica para simplificar los procesos y uniformizar el método constructivo. En la figura 44 se puede observar el tipo de conexión y el tipo de tornillo. El tornillo a utilizar es el VGZ7180 con un diámetro de 7 milímetros y 18 centímetros de longitud. Con base en los resultados se determinó que solo es necesario 1 tornillo a un separación de 1 metro. Se analizaron estos resultados y se determinó que serían los ideales para una losa de una solo pieza pero como la losa consiste de paneles se consideró prudente colocar un tornillo por panel para sujeción a la misma vez actuarían para resistir el corte.

Figura 160. Conexión techo a pared interna



Fuente: Elaboración propia

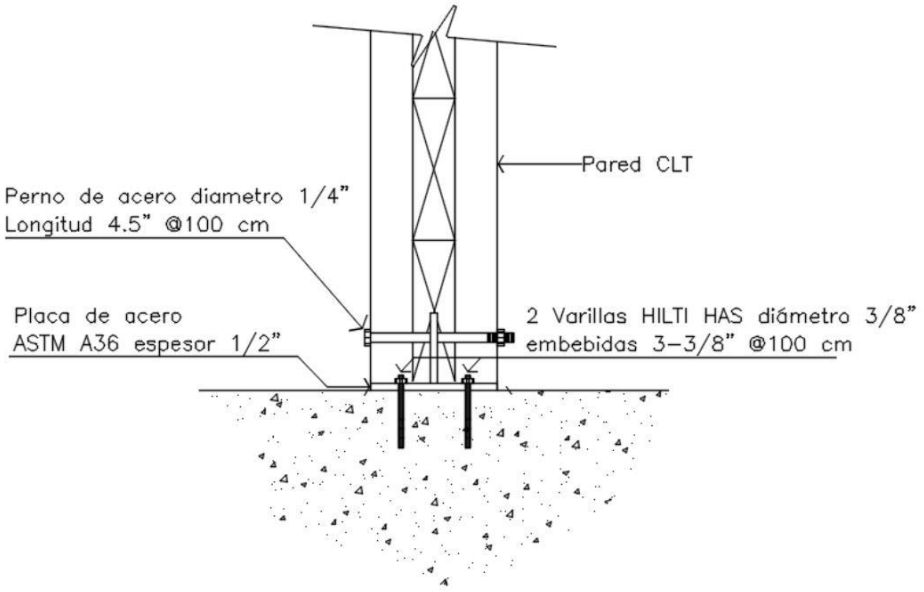
e. Conexión de paredes a cimiento

1) Conexión con paneles CLT. Para conectar la estructura de madera a la losa de concreto de cimentación se propuso una conexión oculta similar a la utilizada con las paredes del nivel uno con la losa de entrepiso. Se prefirió utilizar una conexión con perfil metálico oculto por la estética. Con este tipo de conexión se puede ocultar el perno que conecta la placa de acero con el panel utilizando zócalo o algún otro tipo de recubrimiento sencillo. Al igual que en otras conexiones, se calculó el número de conectores necesarios por metro lineal de pared.

La propuesta que se hizo fue una conexión con perfil metálico de ½" de espesor de acero ASTM A36. Este perfil también será colocado en toda la longitud de los muros para que sirva como guía de ensamblaje. Para conectar la placa al concreto se planteó el uso de barras de acero con epóxico. Se utilizaron los productos HILTI adhesivo HY 200 y varillas HAS de 3/8" de diámetro embebidas 8.60 cm en el concreto. Utilizando el catalogo HILTI de anclajes se obtuvo la resistencia a la extracción de la conexión mencionada anteriormente la cual es de 4.855 kip. La fuerza de extracción calculada para estas varillas fue de 1.798 kip por lo que la conexión esta exigida únicamente al 37% de su capacidad.

La otra parte de la conexión, panel al perfil metálico, se diseñó utilizando pernos trabajando a corte. Se escogió trabajar con pernos de ¼" de diámetro y 4.5" de longitud. El modo de falla dominante en esta conexión fue el IV. El número de pernos necesarios por metro de lineal fue de 0.907. En base a estos resultados, se diseñó la conexión para tener un perno y dos varillas HAS a cada metro lineal de pared.

Figura 161. Sección de conexión entre paneles de pared y cimentaciones



Fuente: Elaboración propia

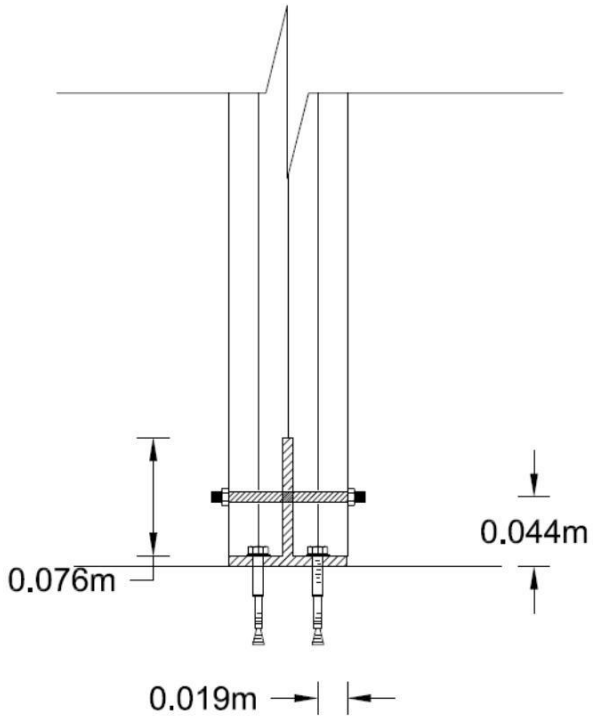
2) Conexión con paneles de sección laminada. Para este tipo de conexión se utilizara un perfil metálico oculto. El objetivo de esta casa es que se construya lo más limpia posible, es decir, que no se miren placas, angulares, tornillos o pernos expuestos. Esto se decidió por la estética de la casa, al final esto puede ir oculto si se le llega a poner algún tipo de zócalo a los muros de la casa. Estos perfiles metálicos son perfiles tipo T invertidos. El objetivo de estos es asegurar la base de la T al cimiento o el entrepiso con pernos o tornillos. La placa de arriba de la T es una placa sin pre agujeros, es decir, los agujeros se harán en obra para poder colocar el perno debido. Esta placa es de acero ASTM A36 y tiene un espesor de ¼" de pulgada a lo largo de todo el perfil. Este perfil T sirve al mismo tiempo como guía para ir colocando los paneles de pared. Se tiene que mandar a fabricar estos perfiles a las medidas exactas de todas las paredes como elementos continuos.

Los pernos utilizados para el diseño de resistencia lateral que van agarrando el panel de pared con la placa T son pernos expansivos. Se escogió este tipo de perno ya que son fáciles de instalar y su resistencia es ideal

para una casa de madera. Se utilizó un perno común tipo HILTI expansivo. El perno de diseño se sacó del manual de conectores de la empresa Europea Rotho Blaas. El perno escogido es un AB1-FE10415-M8 de acero al carbono electro galvanizado de 8 milímetros de diámetro y 11.2 centímetros de largo. La capacidad de este perno a corte es de 367 kg y la capacidad a tracción es de 204 kg. En base a estos valores se calculó la demanda de la conexión pared a cimiento. Con esto se determinó que se necesitan un par de pernos a una separación de 80 centímetros, aproximadamente a cada dos paneles. Ver apéndice H para la memoria de cálculo de la placa a cimiento. Estos cálculos son ideas para un concreto mínimo de 2,500PSI, pero el que se usa más seguido en construcciones es 3,000Psi entonces se diseñó del lado más seguro. En la Figura 162 se puede apreciar los detalles de cómo va la placa anclada al concreto.

Así mismo es necesario calcular el perno a corte que se utilizada para sujetar la pared con la placa. Este perno es de ¼" de diámetro y 4.5" de longitud. El modo de falla dominante en esta conexión fue el IV. El número de pernos necesarios por metro de lineal fue de 0.85. Con base en estos resultados, se diseñó la conexión para tener un perno a cada 3 paneles. Ver apéndice H para la memoria de cálculo de la placa a cimiento.

Figura 162. Conexión placa a cimiento

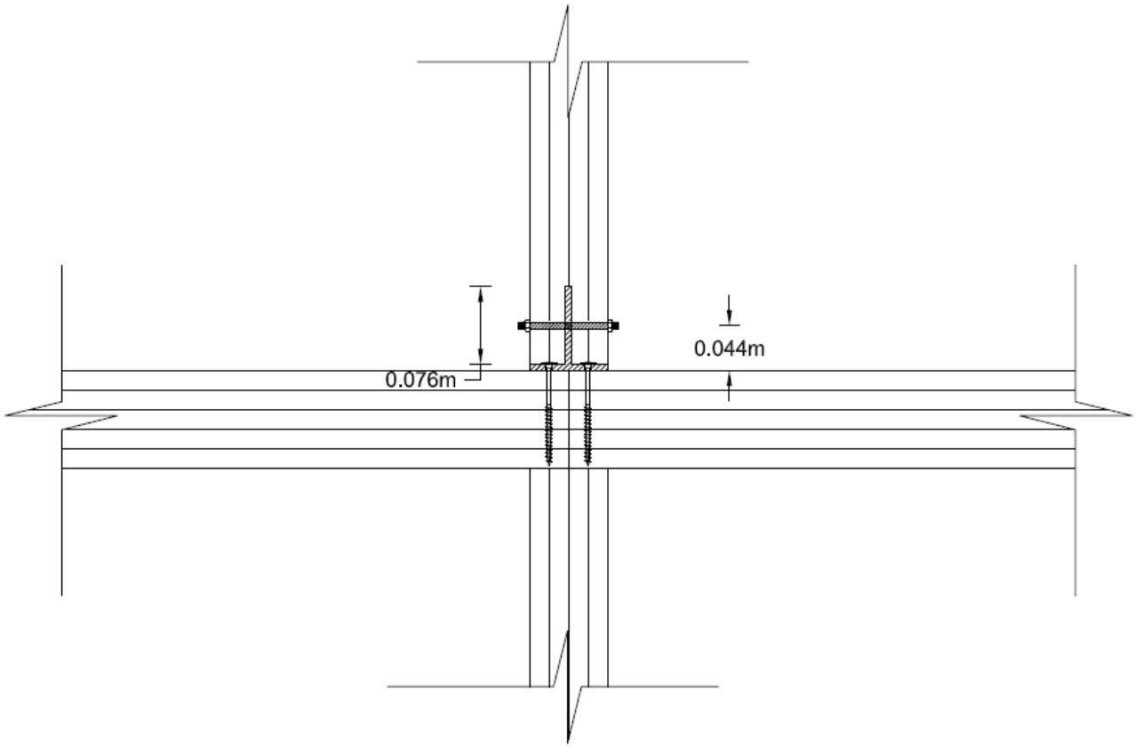


Fuente: Elaboración propia

Con las mismas características se diseñó la misma placa pero para el segundo nivel. Se calculan las mismas demandas y se escogieron los tornillos y pernos necesarios para su sujeción. Se utilizaron tornillos tipo

TBS880 de diámetro de 8 milímetros y una longitud de 8 centímetros. Se determinó que se necesitaban un par de tornillos a cada 40 centímetros, es decir a cada panel de pared. El perno horizontal para contrarrestar el corte siguió teniendo las mismas características del primer nivel. En la figura 46 se puede apreciar los detalles de este tipo de conexión. Ver apéndice I para ver memorias de cálculos de la placa. Ver Figura 163 para los detalles de la conexión.

Figura 163. Conexión placa a entrepiso



Fuente: Elaboración propia

7. Diseño sismo resistente. Guatemala es un país que se encuentra en una zona sísmica, por lo que cualquier estructura que se construya debe tener contemplada la fuerza sísmica a la que podría estar sometida durante su tiempo de vida. La vivienda diseñada en este trabajo no fue la excepción y se tuvo que considerar la fuerza inducida por un sismo. Dicha fuerza se calculó utilizando las normas de la Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES).

Para el análisis símico de esta estructura se utilizó el método de la carga sísmica estática equivalente. Para poder calcular esta fuerza equivalente fue necesario obtener la carga sísmica de la estructura como primer paso. Las suposiciones que se utilizaron para los cálculos fueron las siguientes:

Clasificación de la obra: ordinaria

Nivel de protección mínimo: D

Sismo de diseño: sismo con 10% de probabilidad de ser excedido en 50 años

Tipo de suelo: D (suelo firme)

Sistema de resistencia lateral: E2 paneles de madera tipo cajón

a. Análisis y resultados del diseño con paneles CLT. Bajo estas condiciones establecidas, se encontró el cortante basal de la casa. El peso sísmico de la estructura fue de 50.43 toneladas y el coeficiente sísmico al límite de cedencia (Cs) fue de 0.165. Utilizando estos dos datos se calculó el cortante basal el cual fue de 8.321 toneladas. Posteriormente, se realizó la distribución de carga por nivel. Para el primer nivel la carga sísmica estática equivalente fue de 5.488 toneladas y para el segundo nivel de 2.833 toneladas.

El diseño de la vivienda con los paneles de CLT se realizó tomando en cuenta las recomendaciones para el diseño de fuerzas laterales del *CLT Handbook*. Tanto la losa de entrepiso como la de techo se diseñaron como diafragmas que le transmiten la fuerza sísmica a las paredes, las cuales trabajan como muros a corte. Para lograr que los elementos trabajen de esta manera se tuvo que poner atención en las conexiones. Fue necesario unir todos los paneles de losa entre sí para crear un diafragma semirrígido capaz de transmitir los esfuerzos a las paredes. Para las paredes, las conexiones también se colocaron en cada panel para lograr un efecto de pared solida capaz de soportar las cargas recibidas por las losas.

Según la recomendación del *CLT Handbook*, las conexiones debían fallar según los modos III o IV para asegurar un comportamiento predecible del sistema y evitar fallas quebradizas de la madera que puedan ocasionar colapso. Este chequeo se realizó utilizando las ecuaciones del NDS para dicho fin. La mayoría de las conexiones dieron los resultados esperados y fallaron según el modo IV.

8. Cimentación. Para poder realizar la obra, es necesario tener una estructura que nos permita transmitr las cargas de la casa hacia el terreno en donde se va a construir. Para esto será necesario encontrar la cimentación que sea más apropiada en términos económicos y de facilidad.

a. Análisis de cimentación. Se analizaron dos tipos de cimentaciones para esta casa: pilotes y una losa de cimentación, con el fin de determinar cuál de las dos es más apropiada y factible.

Ambas cimentaciones tienen ventajas y desventajas para este tipo de vivienda, por eso a continuación se presentan los diseños de ambos casos y sus respectivos análisis financieros para poder tomar una decisión apropiada.

El factor más importante para poder diseñar una cimentación es conocer el terreno sobre el cual se va a colocar la casa. En este caso se utiliza un estudio de suelos de un terreno común en Guatemala el cual posee las siguientes características.

Capa vegetal:

- Espesor promedio: de 0.24 m

Estrato No 1:

- Material: Limo con arena
- Espesor promedio: 6.10 m
- Clasificación unificada: MH
- Densidad húmeda: 1313 Kg/m3
- Humedad: 109.28 %
- Gravedad Específica: 2.876
- Peso específico: 179.35 libra/ft^3
- Relación de vacíos: 3.584
- Humedad de saturación: 78.1%
- Límite líquido: 88
- Cohesión: 430.24 libra/pie^2
- Angulo de fricción: 25

Debido a la naturaleza de las cimentaciones que se están analizando, es suficiente contar únicamente con la información del primer estrato, debido a que la losa de cimentación estará a profundidad = 0 y los pilotes se encontraran a una profundidad de 4.2m

Si en dado caso el primer estrato de suelo no tuviera buenas características para la cimentación, se debería de buscar un mejor estrato más abajo o considerar otro tipo de cimentación.

b. Diseño de la cimentación

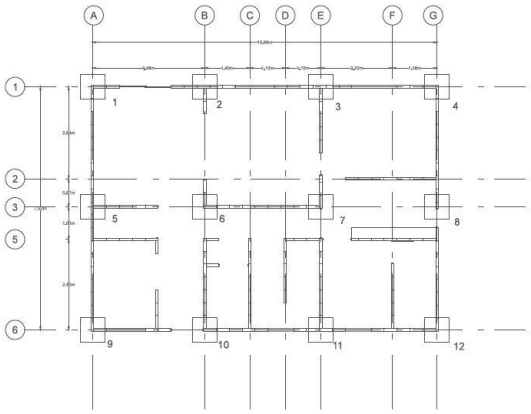
1) Cimentación con pilotes. Para poder cimentar con pilotes se requiere una estructura que tenga como función transferir todas las cargas de una manera más uniforme hacia los pilotes que se van a utilizar. En este caso se propone una estructura de vigas de concreto. Por motivos de factibilidad, se diseña para la viga más crítica de la estructura y se utiliza el mismo tamaño para toda la estructura. Esta decisión también se fundamenta en que las cargas de diseño serán muy parecidas en todas las vigas.

Para la estructura de transmisión de cargas a los pilotes se van a utilizar vigas de 12inX8in con 8 hierros No.6 y estribos No. 4 @ 5in.

Luego de haber diseñado la estructura de vigas que soportara la casa, se procede a diseñar los pilotes. Al igual que con el paso anterior, se diseña para el pilote que sea más crítico según la carga que tenga que soportar, y se hacen todos los demás de ese tamaño.

Pilote crítico.

Figura 164. Plano de distribución de pilotes.



Fuente: Elaboración propia.

El pilote crítico según el plano anterior, es el número 2 y es para el cual se realiza todo el diseño.

Se obtuvo en el diseño que el pilote propuesto puede soportar la carga que se le va a transmitir, por lo tanto los pilotes a utilizar tendrán las siguientes características:

D=2.5ft

L=9.18ft

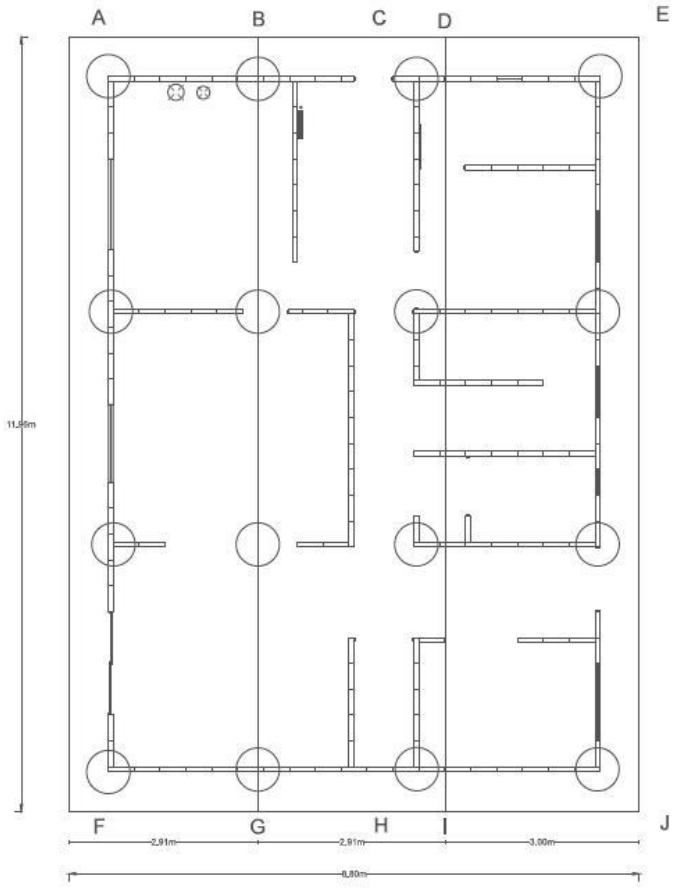
También es necesario tomar en cuenta que a diferencia de la losa de cimentación, será necesaria una losa de entrepiso sobre la estructura de vigas para ser utilizada como el piso de la casa.

Se va a utilizará una losa prefabricada de vigueta y bovedilla de poliestireno.

Para el análisis de costos hay que tomar en cuenta que el pilote quedara 50cm sobre el nivel del suelo.

2) Losa de cimentación

Figura 165. Diafragmas de losa de cimentación y puntos críticos de carga.



Fuente: Elaboración propia.

Esta losa está diseñada mediante la utilización de cargas puntuales críticas en donde estas son más altas y no mediante cargas distribuidas por los muros.

Para diseñar una losa de cimentación, es necesario obtener cual es la capacidad de carga del suelo para las características de la losa. En este caso la losa cuenta con las siguientes dimensiones.

L=39.03ft

B=28.67 ft

Según el diseño realizado la losa debe ser de 5in de espesor y contar con hierros No.4 @ 10in como refuerzo positivo y negativo.

En el diagrama a momento además se puede observar que áreas van a necesitar los diferentes refuerzos.

c. Costos. Luego de las integraciones anteriores obtenemos que los costos correspondientes para los dos tipos de cimentación propuestos son:

Cimentación por pilotes: Q.65,057.28

Losa de cimentación: Q.22,456.78

d. Análisis económico. Si se realiza un análisis de las dos cimentaciones propuestas se pueden concluir lo siguiente:

La losa de cimentación es casi tres veces más barata que la cimentación por pilotes propuesta.

La losa de cimentación se puede realizar en un tiempo significativamente más corto que la cimentación por pilotes. Esto también le da una ventaja en el área económica a la losa.

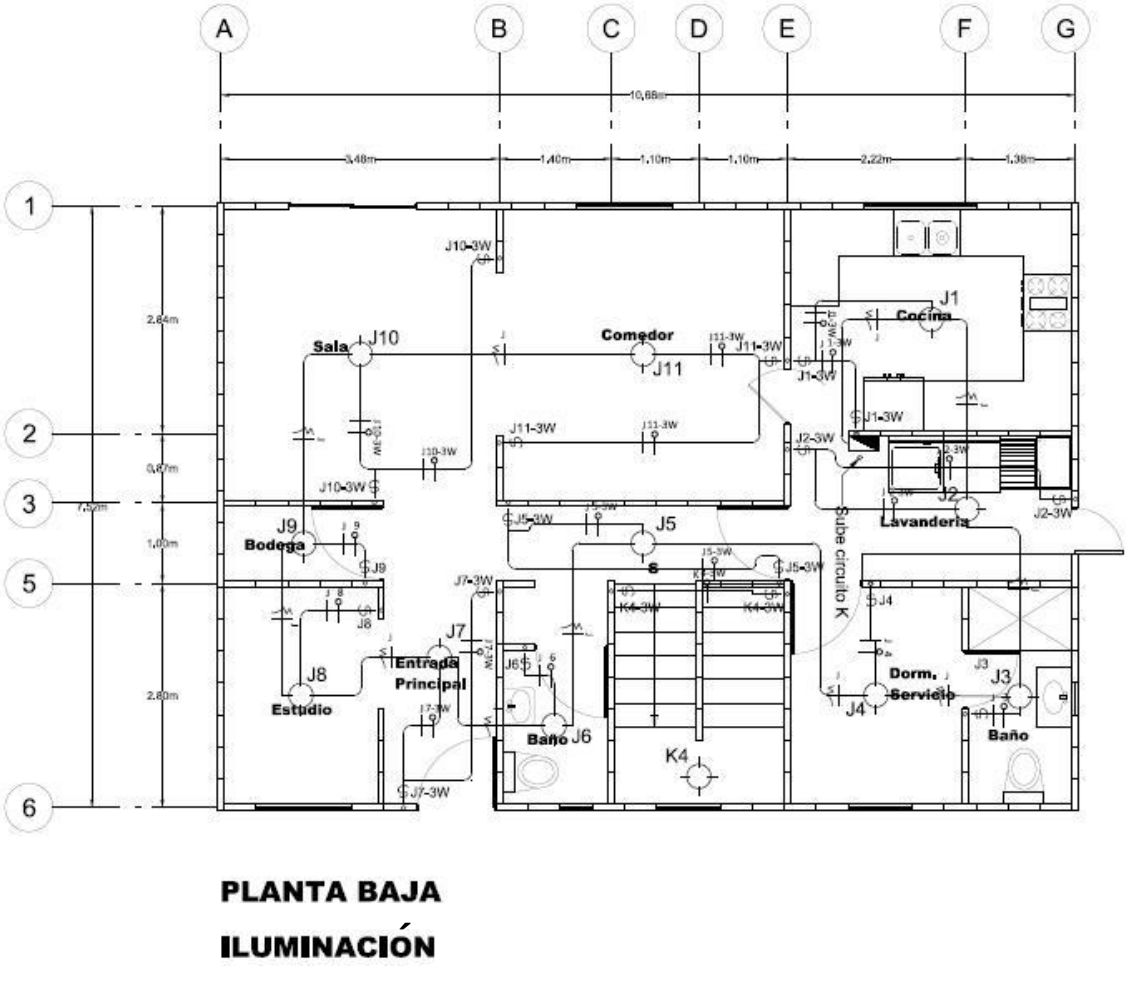
e. Selección de cimentación. Luego del análisis anterior se puede concluir que para este tipo de vivienda, de las dos cimentaciones propuestas, la más económica es la losa de cimentación ya que se puede obtener un ahorro significativo al igual que un ahorro de tiempo.

Hay que tomar en cuenta además que si el terreno no fuera favorable para la losa de cimentación, los pilotes sería una cimentación apropiada con el fin de evitar la construcción de estructuras de retención o realizar rellenos

B. Diseño de las instalaciones

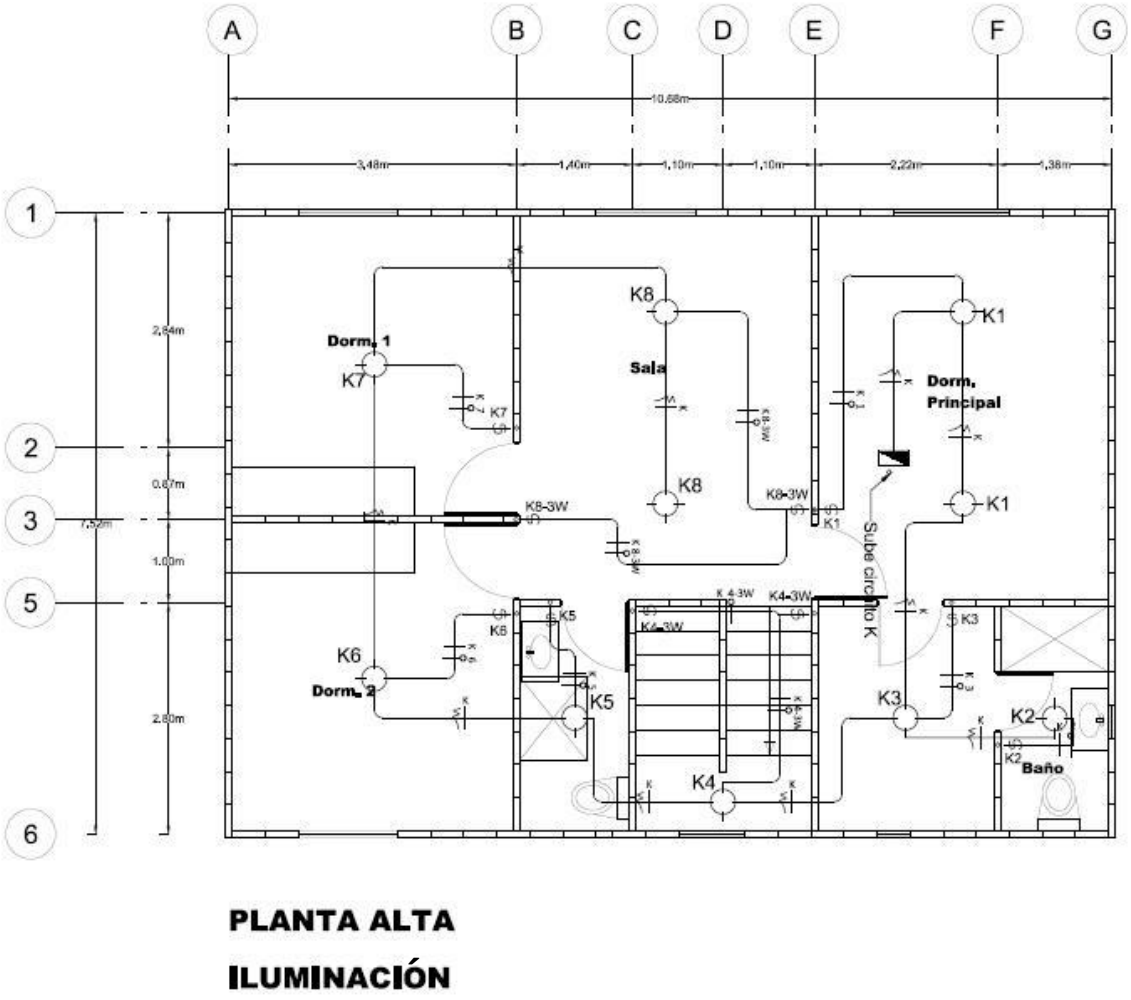
1. Planos de iluminación

Figura 166. Plano de iluminación planta baja



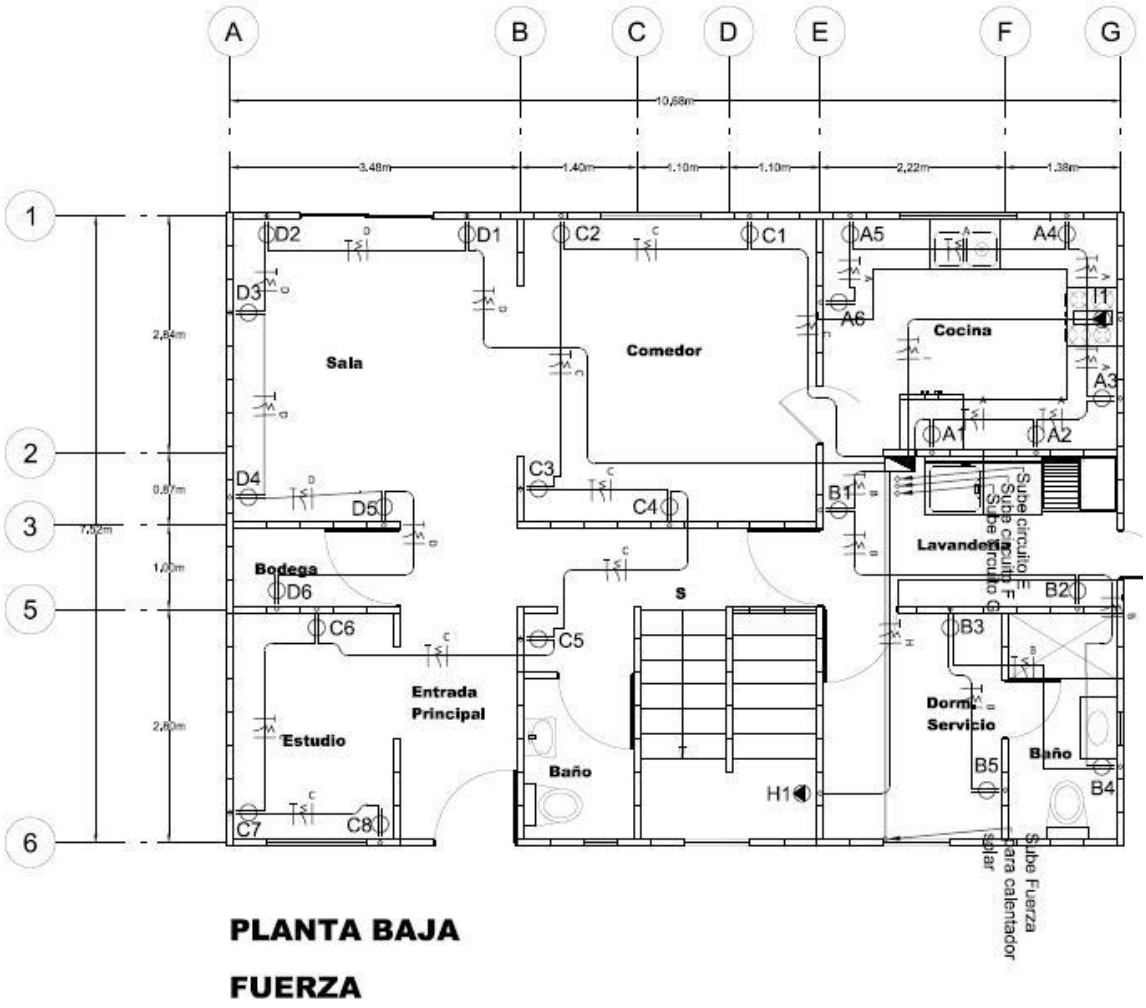
Fuente: Elaboración propia

Figura 167. Plano de iluminación planta alta



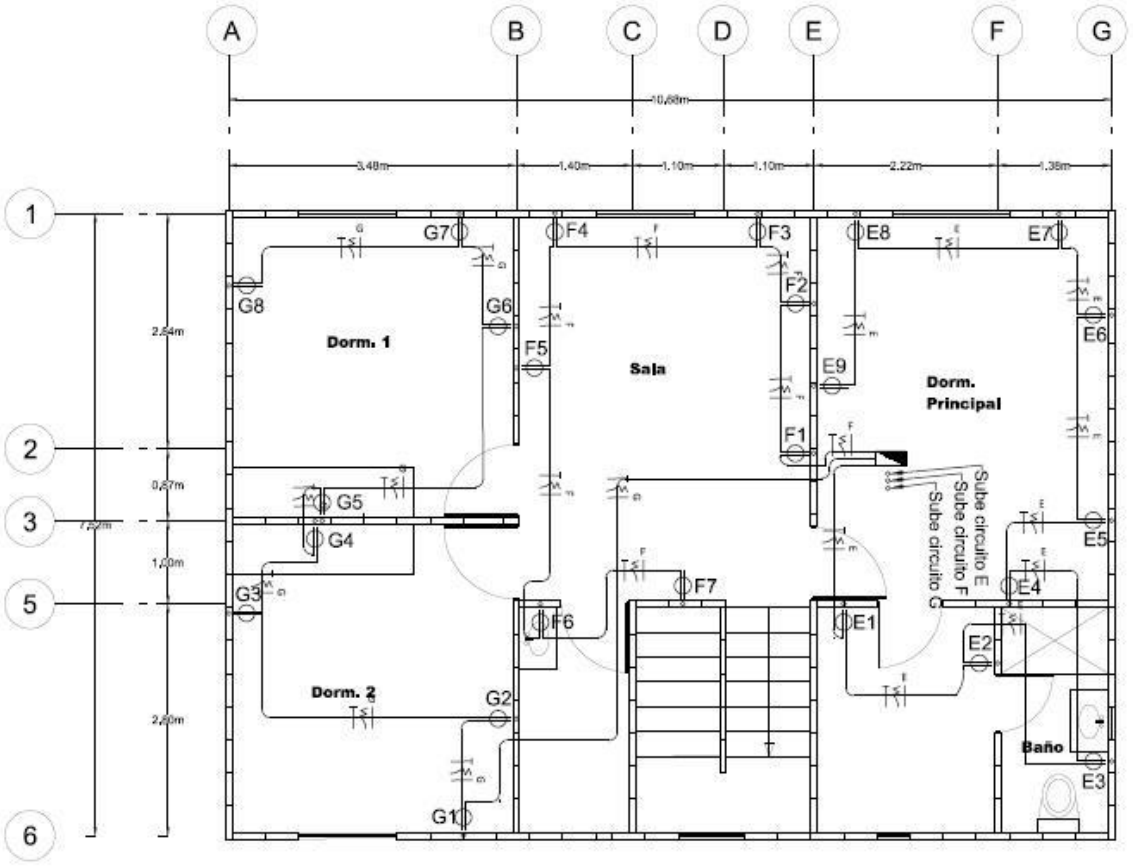
Fuente: Elaboración propia

Figura 168. Plano de fuerza planta baja



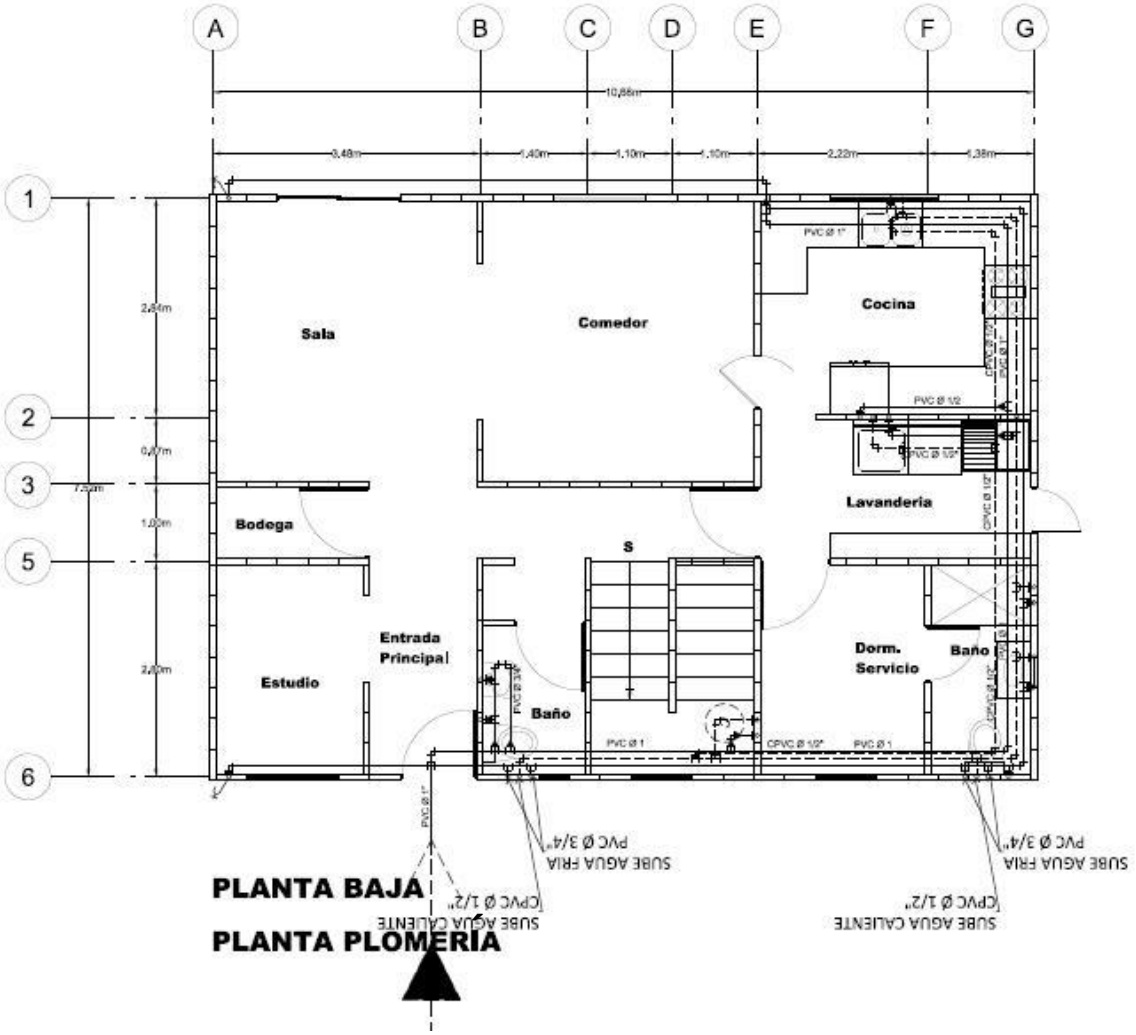
Fuente: Elaboración propia

Figura 169. Plano de fuerza planta alta



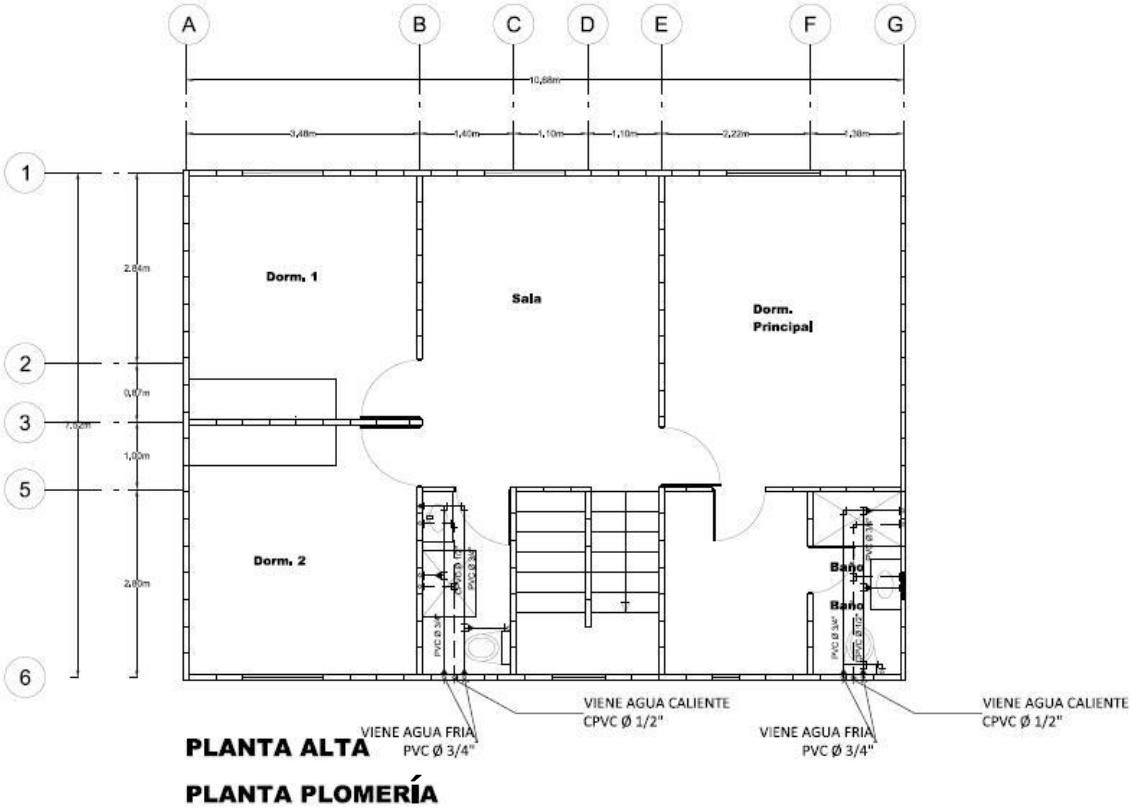
Fuente: Elaboración propia

Figura 170. Plano de plomería planta baja



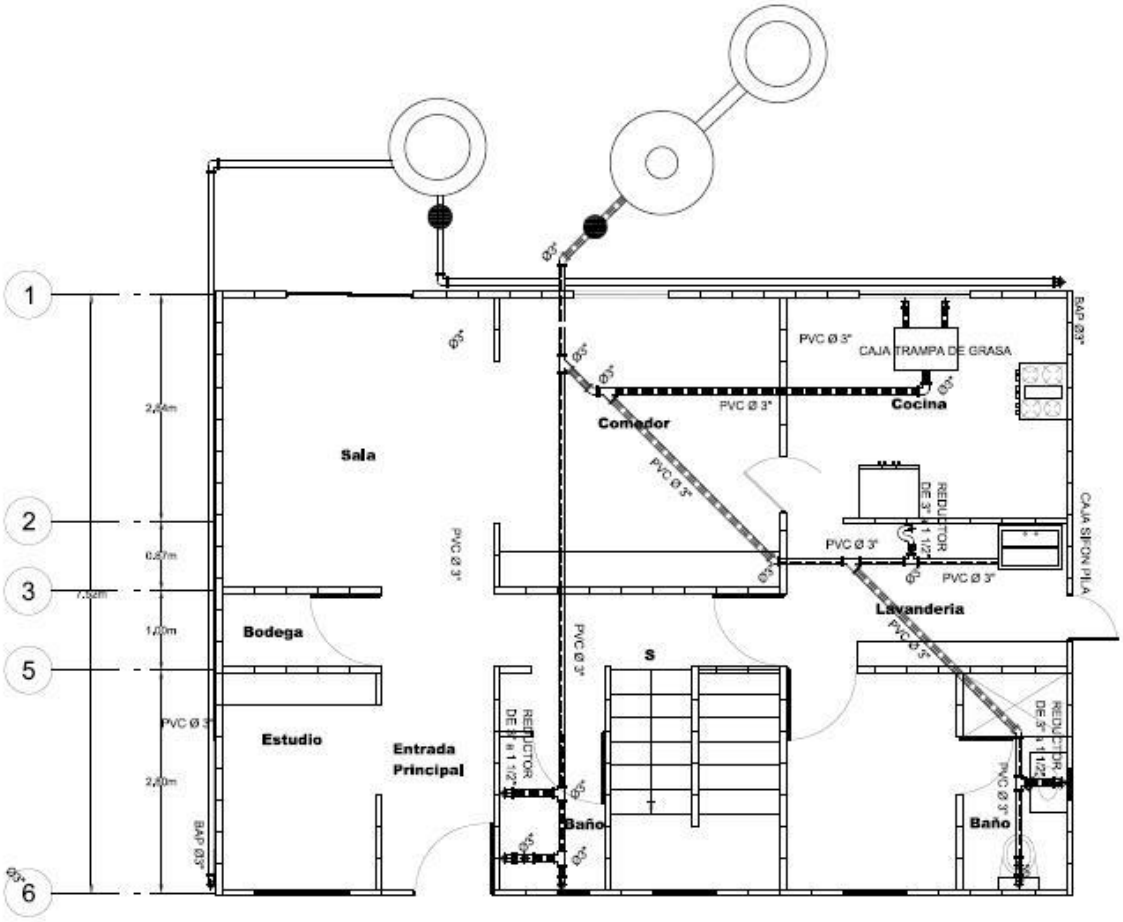
Fuente: Elaboración propia

Figura 171. Plano de plomería planta alta



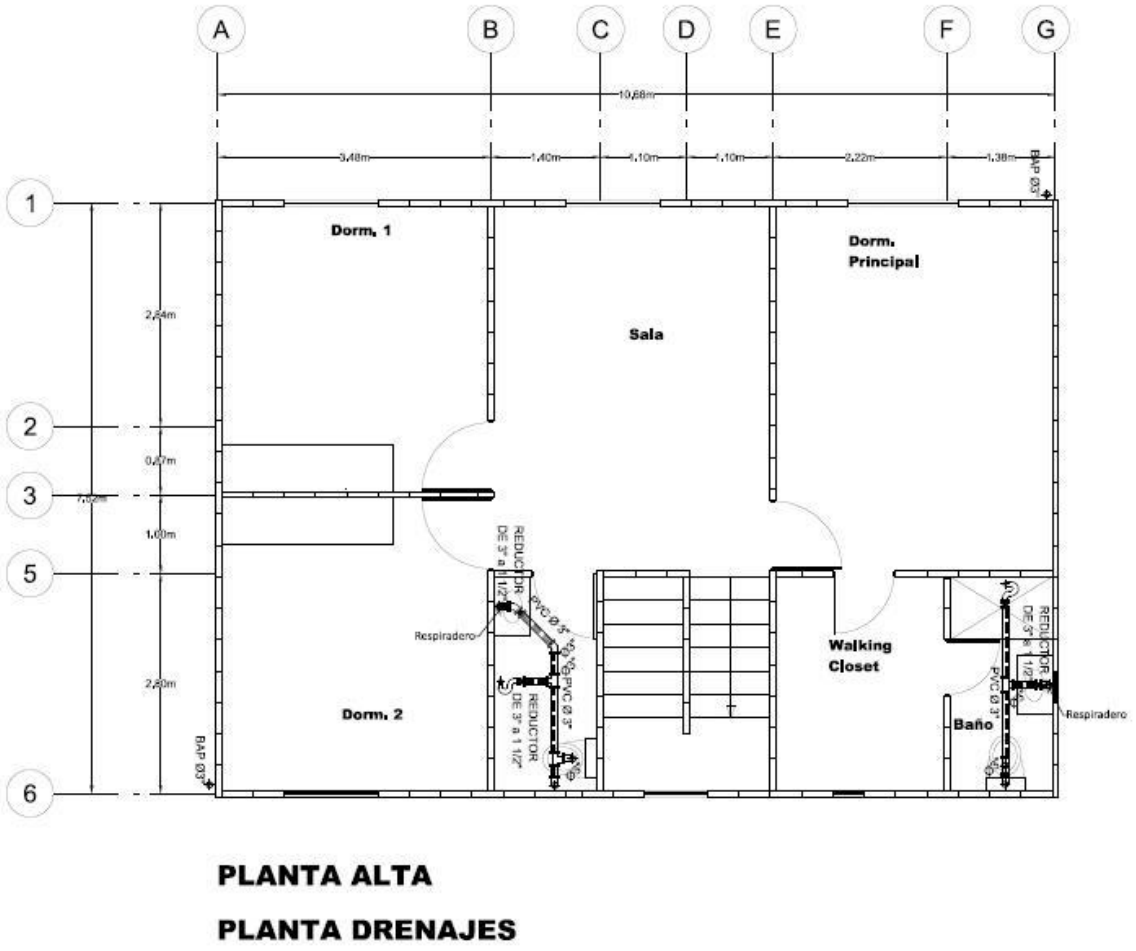
Fuente: Elaboración propia

Figura 172. Plano de drenaje planta baja



Fuente: Elaboración propia

Figura 173. Plano de drenaje planta alta



Fuente: Elaboración propia

2. Inversión total de instalaciones. A lo largo del estudio de las instalaciones eléctricas e hidráulicas de la vivienda de CLT o Secciones laminadas se ha descrito el procedimiento de diseño e instalación para las casas de madera. Un aspecto muy importante que debe de tomarse en cuenta es que todas las instalaciones son una inversión monetaria. Toda la construcción de casas implica gastos como materiales, fletes, mano de obra, supervisión, etc. A continuación se muestra cuáles son los costos de inversión en cuanto al material utilizado en las instalaciones eléctricas e hidráulicas incluyendo la mano de obra.

Se requiere una inversión total de Q.25,532.50 para la colocación de todas las instalaciones.

3. Fosa séptica

a. Diseño. Se proponen para esta obra, dos tipos de fosa séptica comúnmente utilizados en Guatemala, con el fin de determinar la opción más viable y más económica. Estas opciones son: fosa séptica de mampostería (block fundido) y la fosa séptica prefabricada de polietileno.

A continuación se detallan los procesos de instalación o construcción de cada una para tener en cuenta los requerimientos de las mismas, así posteriormente podremos realizar un análisis financiero y determinar la opción más atractiva de fosa séptica para la casa.

Lo primero a tomar en cuenta para diseñar una fosa séptica es el tamaño que tendrá la misma:

Utilizando la tabla No.1 de capacidades mínimas del tanque séptico para casas residenciales, que contiene el artículo de sistemas individuales para el tratamiento de aguas negras'' del sistema universitario de Texas A&M, se escoge el tamaño de la fosa.

Tabla 23. Capacidades mínimas del tanque séptico para casas residenciales.

Recámaras (número)	Tamaño de la casa (pies cuadrados)	Capacidad del tanque [sin aparatos para ahorrar agua] (galones)	Capacidad del tanque [con aparatos para ahorrar agua] (galones)
1 ó 2	menos de 1.500	750	750
3	menos de 2.500	1.000	750
4	menos de 3.500	1.250	1.000
5	menos de 4.500	1.250	1.250
6	menos de 5.500	1.315	1.250

Fuente: Recuperada de http://www.h-gac.com/community/water/ossf/ossf-treatment-systems_septic-tank-soil-absorption-field-s.pdf

Según el número de recámaras y tamaño de la casa, la capacidad recomendada para la fosa séptica es de 1000 galones.

Por lo tanto la cantidad almacenada de agua mínima requerida para la fosa séptica es de 3,785 litros de agua para saneamiento. En términos constructivos esto es el equivalente a un volumen mínimo ocupado por agua de 3.8 m^3.

Tomando en cuenta las especificaciones anteriores, la fosa séptica para esta casa posee las siguientes dimensiones.

L=2.7m

B= 1.25m

H= 1.2m

En donde:

L = largo

B = ancho

H = profundidad de la parte interna de la fosa séptica a construir.

Utilizando las medidas anteriores para la construcción de la fosa séptica, se obtiene un total de 4.05m^3 para contener fluidos dentro de la misma.

La fosa séptica, al igual que cualquier componente de una obra, requiere un procedimiento estándar. Estos procedimientos tienen como fin, facilitar la construcción y evitar la mayoría de errores posibles, y no tener que recurrir a gastos imprevistos en el proceso.

b. Procedimiento recomendado para la construcción de la fosa séptica. Para proceder con la construcción de la fosa séptica, el primer paso a realizar es escoger el área en el terreno en la cual se va a realizar la construcción de la misma. Es importante tomar en cuenta que estas son plantas de tratamiento de aguas negras, por lo que se recomienda hacerlas lo más alejado posible de la casa.

Después se debe excavar en el terreno para construir la fosa séptica bajo tierra. Para este caso en particular se requiere de una excavación de 13.55m^3 para la fosa para tener el espacio óptimo de construcción de la fosa. Este espacio ya toma en cuenta la completa construcción de la fosa y los espacios necesarios para la facilitación de la misma. Por ejemplo espacios extra en los lados para colocación de formaletas y espacio de suelo que recubrirá la fosa (30cm).

Luego se toma en cuenta también, el volumen de tierra que será excavado para realizar el campo se absorción, para el cual se van a utilizar las siguientes medidas estándar.

B = 0.5m

H = 0.6m

L = 3m

En donde

L = largo

B = ancho

H = profundidad de la parte interna de la fosa séptica a construir.

Para el análisis financiero de la fosa séptica hay que recordar tomar en cuenta el retiro de material de la obra, en este caso 13.55m^3 para la fosa, 1m^3 para el campo de absorción, para un total de tierra excavada de 14.55m^3.

Cuando ya se cuenta con la excavación necesaria, se procede con la construcción de la fosa. La fosa cuenta con las siguientes especificaciones:

Losa inferior de concreto de con refuerzo de electro malla de 6X6 3/3.

Losa superior de concreto con refuerzo de electro malla de 6X6 2/2.

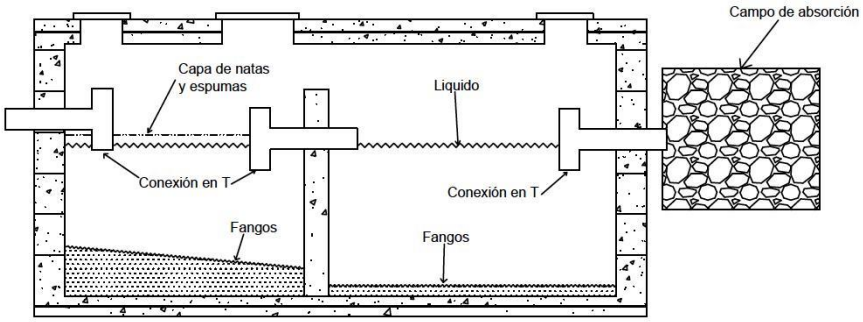
Muros de block de 0.14X0.19X0.39m fundido con aplicación de mortero de repello e impermeabilizante.

Columnas de concreto de 0.15X0.15m con 4 hierros No.3 con estribos No.2 @ 0.2m.

Solera de remate de concreto de 0.15X0.15m con 4 hierros No.3 con estribos No.2 @ 0.2m. Cortina de concreto con refuerzo de electro malla de 6x6 3/3.

Tubería de PVC de 4'' de diámetro.

Figura 174. Sección de la fosa séptica de mampostería.



Fuente: Elaboración propia.

Además de la fosa se tiene que crear el campo de absorción para lograr el último paso del saneamiento de aguas negras. Si el terreno actual no posee las características necesarias, de un limo o arcilla, para terminar el saneamiento, se debe retirar una porción del mismo y sustituirla por un suelo que si cumpla con los requisitos.

Si en dado caso, el suelo actual no posea las características necesarias para ser utilizado como campo de absorción, o no cuente con el espacio suficiente para poder construir un campo de absorción adecuado, existen otras alternativas válidas para terminar el saneamiento del agua.

Entre estos métodos alternos se destaca el pozo de absorción, el cual es uno de los métodos utilizados en Guatemala. Si por alguna de las situaciones anteriormente descritas se pretende utilizar este u otros métodos, se debe saber que los costos aumentarían considerablemente ya que el sistema de fosa séptica con campo de absorción es el método más económico que se puede encontrar.

Luego de la construcción de la fosa séptica, el último paso por realizar es la conexión de la misma a la red de aguas negras de la casa y la reposición del suelo sobre la nueva fosa construida.

A diferencia de la fosa de mampostería, la prefabricada solo requeriría, del procedimiento anterior, los siguientes pasos:

Excavación del espacio necesario para instalar la fosa séptica.

Instalación de la fosa séptica en el lugar predeterminado.

Conexión de la fosa séptica con el sistema de aguas negras que posee la casa. Recubrimiento de la fosa con parte del suelo anteriormente retirado.

Posible requerimiento de cambio de suelo para el campo de absorción.

Por último, ya en el funcionamiento de la fosa, se recomienda según la tabla 1. Para el tiempo recomendado de bombeo del tanque séptico según el tamaño del tanque y familia, bombear la fosa séptica entre 1.5 años y 2 años.

Lo anterior tiene el único fin de que el campo de absorción al final del sistema de fosa séptica no falle después de mucho tiempo de no haber bombeado la fosa.

Tabla 24. Bombeo recomendado para fosas sépticas según número de personas.

Tabla 2. Número de años que se recomienda entre cada bombeo del tanque séptico según el tamaño del tanque y de la familia.

Tamaño del tanque (galones)	Tamaño de la familia (Número de personas)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
500	5.8	2.6	1.5	1.0	0.7	0.4	0.3	0.2	0.1	-
750	9.1	4.2	2.6	1.8	1.3	1.0	0.7	0.6	0.4	0.3
1000	12.4	5.9	3.7	2.6	2.0	1.5	1.2	1.0	0.8	0.7
1250		7.5	4.8	3.4	2.6	2.0	1.7	1.4	1.2	1.0
1500		9.1	5.9	4.2	3.3	2.6	2.1	1.8	1.5	1.3
1750			6.9	5.0	3.9	3.1	2.6	2.2	1.9	1.6
2000			8.0	5.9	4.5	3.7	3.1	2.6	2.2	2.0
2250				6.7	5.2	4.2	3.5	3.0	2.6	2.3
2500					5.9	4.8	4.0	4.0	3.0	2.6

Nota: se necesita bombear con más frecuencia si se usa un triturador de basura.

Fuente: Recuperado de http://www.h-gac.com/community/water/ossf/ossf-treatment-systems_septic-tank-soil-absorption-field-s.pdf

c. Integración de costos. Luego de las integraciones anteriores obtenemos que los costos correspondientes para los dos tipos de fosa séptica propuestos son:

Fosa séptica de mampostería: Q.9,673.9

Fosa séptica de polietileno: Q.6,380.91

d. Análisis financiero. Mediante un análisis de los costos de ambos tipos de fosa séptica podemos obtener las siguientes diferencias principales:

La fosa séptica de polietileno es más económica que la de mampostería.

La fosa séptica de polietileno se puede instalar en un tiempo menor que el que tomaría la construcción de la fosa séptica de mampostería.

Instalar la fosa séptica de mampostería es más fácil que construir una fosa séptica de mampostería.

e. Selección de fosa séptica. Luego del análisis anterior, se toma la decisión de utilizar una fosa séptica de polietileno ya que evidentemente es más barata, rápida y fácil de instalar, que la construcción de una fosa de mampostería.

Todos los factores anteriores son suficiente fundamento para decidir utilizar la fosa séptica de polietileno anteriormente propuesta.

C. Proceso constructivo

1. Mano de obra. La mano de obra es uno de los factores más importantes de una obra a realizar, esto se refleja tanto en la calidad y eficiencia con las que se va a realizar la obra, como en el presupuesto con el que se dispone para ejecutarla.

Es un componente importante, por lo tanto se debe determinar lo más acertado posible y además se debe de saber seleccionar para obtener resultados satisfactorios y deseados.

A continuación se presenta, cuál se considera que es la manera más apropiada de seleccionar la mano de obra y cual se cree que sería el presupuesto necesario para poder adquirirla, para esta vivienda de madera.

a. Selección de mano de obra. Se propone que todos los trabajos realizados durante el proceso constructivo, serán ejecutados únicamente por dos albañiles y un ayudante, en donde todos los análisis financieros que se realicen y ameriten un pago de mano de obra, tendrán el respectivo pago a los trabajadores por día trabajado.

En Guatemala hasta el año 2015, se estima que un pago razonable promedio para un albañil esta alrededor de Q.125, y Q.75 para un ayudante, ambos por día.

Es importante aclarar que la mano de obra utilizada puede depender de factores externos a la construcción misma. Por ejemplo el tiempo, es decir que si se requiere que la obra esté terminada en un periodo de tiempo más corto de lo que se estima en esta propuesta, se requerirá de mano de obra adicional, por lo que el precio de la mano de obra podría variar.

También es importante tener en cuenta que existen otras maneras de contratar la mano de obra, por ejemplo, en Guatemala, existe el pago por trato, en el cual se establece un precio invariable con el grupo de trabajadores, para que ellos realicen los trabajos en un tiempo razonable convenido por las partes.

En este caso se decidió utilizar el pago por día trabajado, debido al desconocimiento actual del método en el cual está basado este proyecto. Posiblemente en un futuro cuando el mismo esté más establecido, se podrían utilizar otras formas de pago de la mano de obra.

b. Especialización de mano de obra. Uno de los beneficios y ventajas que se estima que este método puede proporcionar al proceso constructivo es que gracias a la forma en que se levanta la casa, la mano de obra no requiere de una especialización técnica alta, al contrario de lo que se creería al estar trabajando con madera.

La mano de obra utilizada únicamente requeriría un conocimiento muy básico del manejo de la madera, es decir, saber las precauciones que conlleva trabajar con este material y las que requiere el mismo para ser manejado sin ser dañado.

c. Costo aproximado de mano de obra. A continuación se presenta un estimado del costo total de la mano de obra para poder realizar toda la obra. Luego de todos los análisis económicos realizados se estima que para poder terminar la obra completa serían necesarios casi 3 meses de 2 albañiles y 1 ayudante.

El costo total de la mano de obra requerida es Q. 18,525.00.

2. Costo de transporte. Para realizar un análisis financiero más exacto de la construcción de la vivienda, es importante tomar en cuenta todos los costos de transporte que se va a utilizar a lo largo del proceso.

Se estima que el volumen de madera que será utilizado para la construcción total de la casa será aproximadamente $45m^3$, por lo que será suficiente utilizar cinco camiones con capacidad de $10m^3$ para transportar toda la madera desde la planta, hasta el lugar en donde se va a realizar la construcción.

El transporte de los materiales a utilizar, de la planta a la obra, podría realizarse fácilmente con camión de volteo o camión de estacas.

El costo total de transporte para movilizar los materiales es Q. 2,500.00.

3. Preparación de superficie. Antes de empezar a realizar cualquier proceso constructivo de cualquier obra, es necesario preparar el terreno en donde se pretende realizar la misma. Para esto se requieren ciertos procedimientos que ayudan a que el terreno escogido tenga las mejores condiciones para soportar la obra.

a. Procedimiento de preparación. En el caso de esta casa, en donde se han propuesto dos tipos diferentes de cimentación para soportarla, los procedimientos de preparación del terreno son diferentes, en los cuales cada uno tiene sus ventajas y desventajas. Por eso el posterior análisis económico tendrá como resultado definir la mejor opción para este tipo de casa.

1) Procedimiento para losa de cimentación:

El primer paso a realizar para preparar el terreno es limpiarlo, es decir deshacerse de la capa orgánica que contiene. Este paso se debe realizar en el área en donde se va a construir la casa.

Luego se debe proceder con el retiro de materiales extraídos en el paso anterior, este puede resultar obvio, pero se hace referencia al mismo, para no olvidar considerarlo, en la integración de costos de este proceso, tomando en cuenta factores como coeficiente de expansión del material al ser extraído.

Posteriormente se debe realizar la nivelación del terreno, esta puede hacerse a mano o con retroexcavadora, dependiendo de la topografía del terreno en donde se va a realizar o, si es necesario un corte o relleno y se cuente con poco tiempo.

Por último se procede con la compactación del terreno, debido al área tan pequeña que se va a utilizar, la mejor forma de realizarlo es con un rodo de compactación.

2) Procedimiento para pilotes. En el caso del procedimiento para utilizar cimentación de pilotes, el único trabajo que se podría llegar a realizar, si fuera necesario, sería la nivelación del terreno si en dado caso este presentara una topografía muy desfavorable para la construcción general de la obra.

Si se realiza una comparación entre ambos procedimientos se puede observar que en lo que respecta a preparación del terreno, los pilotes tienen un ventaja de tiempo y económica a la losa de cimentación.

b. Costos

1) Losa de cimentación. El costo para la preparación del terreno para el uso de losa de cimentación es Q 2,365.00

2) Pilotes. Por fines prácticos para la integración de costos de la preparación del terreno, se supondrá que el terreno es estándar con una topografía decente, como para no necesitar de una nivelación del terreno para la aplicación de pilotes como método de cimentación.

4. Estructura. Para realizar el análisis económico general de la casa también es necesario deteminar cuánto va a costar el armado de toda la estructura de paneles que se está proponiendo.

Con el tiempo y la cantidad de materiales necesarios podemos determinar un costo aproximado que va a requerir el armado de la casa.

a. Construcción y armado de la estructura. Para la construcción y armado de la estructura es necesario contar ya con toda la materia prima que se va a necesitar. En este caso se necesitan los paneles de madera laminada en la obra, los tornillos que vayan a ser necesarios para unir los paneles entre sí y con la losa, y que la cimentación esté terminada.

El armado se da por medio de la unión de los paneles entre sí con tornillos o pernos, a distancias previamente diseñadas. Además los paneles se deben de unir a la losa de piso igualmente con tornillos o pernos.

Dependiendo del tamaño de los paneles podría ser necesario utilizar una grúa pequeña para el manejo de los mismos para ser colocados y perneados.

b. Costos. El costo total que se requiere para el armado total de la estructura tomando en cuenta todos los materiales necesarios, la mano de obra y el transporte es Q. 313,573.35

5. Procedimiento requerido. En varios de los incisos anteriores se analizaron componentes con los que debe de contar la casa para su funcionamiento, cada uno cumple una función que hace viable que personas puedan vivir y desarrollar sus funciones básicas en la vivienda propuesta.

Ahora, es necesario describir cual es el procedimiento adecuado para construir toda la vivienda, una vez se hayan determinado, los materiales, maquinaria y mano de obra que se va a requerir para lograrlo y por consiguiente el presupuesto.

A continuación se presenta un procedimiento que se considera será el apropiado para construir la vivienda, es necesario entender que este comprende desde la compra de los materiales necesarios hasta la finalización de la construcción de la obra sin incluir los acabados.

a. Pasos recomendados para construir la vivienda

Primero es necesario contar con el terreno en donde se va a construir la obra y determinar el área en donde esta estará.

Luego hay que determinar el espacio en donde se va a construir el sistema de tratamiento de aguas negras que va a tener la casa.

Después hay que hacer la preparación del terreno en donde se determinó, estará la casa, para poder utilizar el método seleccionado de cimentación, que en este caso será losa de cimentación.

Se procede a construir la cimentación seleccionada y se puede empezar también la construcción del sistema de tratamiento de aguas negras.

Se finaliza construyendo la estructura de paneles sobre la losa de cimentación. Además hay que poner las instalaciones hidráulicas y eléctricas.

6. Análisis financiero general. Para determinar un costo total estimado de la vivienda propuesta, es necesario integrar todos los componentes que fueron analizados a lo largo del trabajo con excepción de la fosa séptica.

No se incluye a la fosa séptica en este análisis, para poder brindar un costo de m^2 de construcción con este método.

a. Integración de costos general

Costo de la cimentación escogida: Q.23,865.78

Costo del armado de la estructura: Q.313,573.35

Costo total para la construcción de la casa: Q.337,439.13

Es importante tener en cuenta que no se ha considerado la construcción de la fosa séptica para obtener un costo por m^2 de construcción.

b. Análisis de costos general. Si se analiza el costo total del levantado de la estructura de la casa, es relativamente aceptable para una vivienda de $80m^2$. Se acerca a lo que costaría una casa construida por los otros métodos.

Para el mercado de construcción de Guatemala es un precio accesible, sobre todo si en el país se toma a la madera como un material fino.

7. Comparación de precio de construcción con otros métodos (obra gris). Se realiza un análisis económico en donde se puede observar si el material puede ser utilizado como un método constructivo viable en el país.

a. Materiales más utilizados en Guatemala. En Guatemala se utilizan muchos materiales para llevar a cabo construcciones, estos abarcan el acero, concreto, mampostería y madera. Sin embargo para viviendas, y sobre todo de este tamaño, los materiales por excelencia utilizados son la mampostería y el concreto.

La madera fue utilizada hace muchos años como un método de vivienda común, sin embargo dejo de ser utilizado y hoy en día se pueden observar muy pocas casas nuevas construidas en madera.

Aun así cuando las casas son construidas en madera, estas presentan una estructura común basada en vigas y columnas, por eso es que podemos decir que el método propuesto es nuevo en el país.

b. Comparación de precio entre materiales. A continuación se presentan precios y costos aproximados de los materiales con los que se desea comparar los paneles de secciones laminadas.

Mampostería

- Precio aproximado por m^2 de construcción con acabados: 350$ ≈ Q.2,800.00
- Costo aproximado por m^2 de construcción con acabados: 245$ ≈ Q.1,960.00
- Costo aproximado por m^2 de construcción sin acabados: 171.5$ ≈ Q.1,370.00

Concreto fundido

- Precio aproximado por m^2 de construcción con acabados: 300$ ≈ Q.2,400.00
- Costo aproximado por m^2 de construcción con acabados: 210$ ≈ Q.1,680.00
- Costo aproximado por m^2 de construcción sin acabados: 147$ ≈ Q.1,176.00

Paneles de madera

- Precio aproximado por m^2 de construcción con acabados: 500$ ≈ Q.4,000.00
- Costo aproximado por m^2 de construcción con acabados: 350$ ≈ Q.2,800.00
- Costo aproximado por m^2 de construcción sin acabados: 263$ ≈ Q.2,104.00

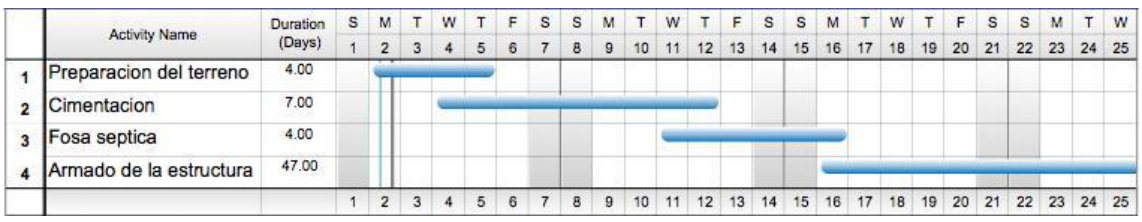
c. Análisis y selección del mejor material. Según los datos obtenidos en el paso anterior, el método propuesto podría parecer caro en comparación a los otros materiales, y aunque en parte es cierto, hay que tomar en cuenta que los únicos acabados que este método requeriría serian piso, puertas y ventanas.

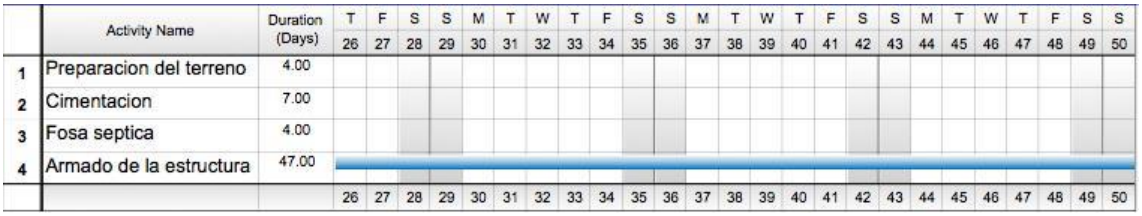
Es difícil seleccionar un material "mejor", ya que hay que definir bien el término, y es que la propuesta puede resultar más cara, que con otros materiales, incluso después de incluir los acabados, pero hay que recordar que la utilización de madera como material principal lo hace un método mucho más ecológico que los otros materiales.

8. Tiempo requerido para realizar la obra. Anteriormente en este trabajo se estimó que el tiempo requerido para terminar la obra es de 3 meses. Podría pasar, que con una correcta distribución del tiempo, ese tiempo podría reducir.

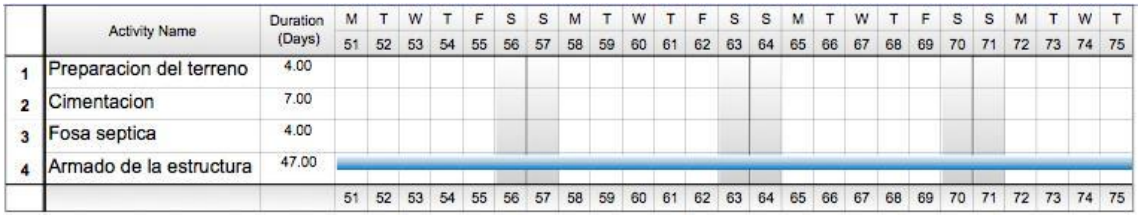
El cronograma a continuación, tiene como finalidad presentar un resumen de cómo estaría distribuido el tiempo a lo largo de toda la construcción según los componentes que se establecieron en todo lo anterior del trabajo.

a. Cronograma aproximado de ejecución

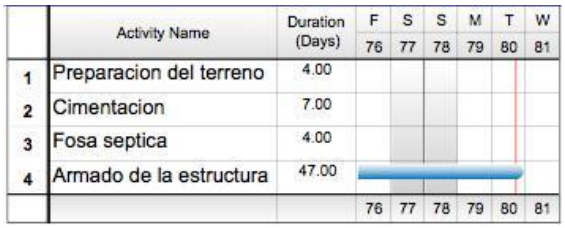




	Activity Name	Duration (Days)	T 26	F 27	S 28	S 29	M 30	T 31	W 32	T 33	F 34	S 35	S 36	M 37	T 38	W 39	T 40	F 41	S 42	S 43	M 44	T 45	W 46	T 47	F 48	S 49	S 50
1	Preparacion del terreno	4.00																									
2	Cimentacion	7.00																									
3	Fosa septica	4.00																									
4	Armado de la estructura	47.00																									
			26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50



	Activity Name	Duration (Days)	M 51	T 52	W 53	T 54	F 55	S 56	S 57	M 58	T 59	W 60	T 61	F 62	S 63	S 64	M 65	T 66	W 67	T 68	F 69	S 70	S 71	M 72	T 73	W 74	T 75
1	Preparacion del terreno	4.00																									
2	Cimentacion	7.00																									
3	Fosa septica	4.00																									
4	Armado de la estructura	47.00																									
			51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75



	Activity Name	Duration (Days)	F 76	S 77	S 78	M 79	T 80	W 81
1	Preparacion del terreno	4.00						
2	Cimentacion	7.00						
3	Fosa septica	4.00						
4	Armado de la estructura	47.00						
			76	77	78	79	80	81

b. Comparación con tiempos de otros materiales. El tiempo en el que se realiza una obra es un factor importante, a tomar en cuenta, cuando se desea tomar una decisión, acerca de levantar una edificación, aunque esta sea pequeña.

En este caso ya se determinó que la vivienda de paneles de madera laminada puede ser realizada en 3 meses trabajando únicamente días hábiles.

Ya que el fin de este trabajo, es una comparación del método constructivo propuesto, con otros métodos utilizados en Guatemala, a continuación se presentan estimados de tiempo necesarios para construir una casa de 80m^2 de los diferentes materiales.

Tiempo estimado para construir una casa de mampostería de 80m^2 y 2 niveles: 6 meses.
Tiempo estimado para construir una casa de concreto fundido de 80m2 y 2 niveles: 5 meses.
Tiempo estimado para construir una casa de secciones de madera laminada de 80m2 y 2 niveles: 3 meses.

Es importante mencionar que los tiempos estimados de mampostería y concreto incluyen acabados.

También es importante tomar en cuenta que para realizar las casas de mampostería y concreto en los tiempos anteriormente mencionados, será necesario de más albañiles que los tres propuestos para esta casa.

Dado lo anterior se debe tener presente que la mano de obra para poder realizar las otras obras, sería considerablemente mayor en comparación con la de secciones de madera laminada.

9. Emisión de huella de carbono en la construcción. Como se mencionó anteriormente hoy en día es importante, el factor ecológico en la construcción, y la mejor forma para determinar qué tanto es amigable, para el planeta, es saber cuál es la emisión de huella de carbono que genera el proceso para construir esta vivienda.

a. Emisión de huella de carbono en el método. Para realizar el cálculo de emisiones de carbono en este método se utilizó la calculadora CO2 de construcción de proyectae. La cual puede ser utilizada sin costo en el siguiente enlace: http://proyectae.cl/herramientas/calculadores/cc

Según la calculadora las emisiones totales generadas durante la construcción fueron 31tCO_2-e.

b. Comparación de emisión de huella de carbono con otros materiales. Se realizó el mismo cálculo de emisiones para una construcción similar en dimensiones, pero en concreto. Las emisiones del método obtenidas fueron 79tCo2-e.

Se puede observar un aumento en la cantidad de emisiones que se generan solo con la utilización de concreto como el material estructural de la casa.

10. Producto final. Es importante realizar un análisis comparativo entre productos de construcción en el país, para lograrlo hay que determinar primero las ventajas y desventajas que tiene el método propuesto.

Como todo método constructivo, utilizar la madera tiene pros y contras, por lo que a continuación se presenta un análisis detallado de las ventajas y desventajas de las secciones de madera laminada.

a. Ventajas y desventajas del producto

Ventajas	**Desventajas**
El tiempo para realizar la obra completa es bajo y competitivo con los otros métodos utilizados en Guatemala.	El método es más caro que los otros métodos utilizados actualmente en Guatemala.
	En los últimos años en Guatemala, la madera ha tenido una tendencia de alza de precio.

Construir mediante este método es la manera de generar menos emisiones de Co2 entre todos los métodos utilizados en Guatemala.	La madera es un material desconocido para el mercado Guatemalteco.
Se requiere de poca mano de obra para poder realizar la construcción completa.	

b. Análisis final del producto. Como punto para finalizar el trabajo se puede afirmar que el método propuesto sí puede ser utilizado en el mercado de la construcción de Guatemala y podría llegar a competir con los métodos actuales que se utilizan en el país siempre y cuando se sepan apreciar las ventajas que proporciona.

Se pudo observar en uno de los análisis realizados que este método es, por mucho, el más amigable con el ambiente, en comparación con los métodos actualmente utilizados en el país.

Si las personas tienen la conciencia para entender la necesidad que se ha presentado en el mundo en los últimos años de cuidar el planeta, debería tomarse en cuenta este método. Esto se debe a que los otros métodos tienen ventajas económicas en comparación, pero también existe diferencia en cuanto al daño que se puede hacer al planeta en las diferentes construcciones.

V. DISCUSIÓN

Los paneles de madera son un material prefabricado el cual posee muchas bondades como método constructivo. Una de las mayores cualidades de la madera en general es su bajo peso. A pesar de esta característica, la madera tiene una buena resistencia estructural. El CLT y la madera laminada son productos de madera sólida y su peso no es tan bajo como el sistema tradicional de paredes hechas con pies derechos. Sin embargo, comparando su peso al del concreto, mampostería y acero es un valor bajo. Estas estructuras livianas permiten que sus elementos no sean de grandes dimensiones y sus cimentaciones pueden ser de menor tamaño. Sin embargo, en Guatemala la amenaza sísmica está presente y hay que diseñar cualquier estructura para que sea sismo resistente.

El sistema constructivo con paneles de madera es similar al método utilizado para construir con mampostería. Este se basa en diafragmas y muros de corte, en donde las losas actúan como diafragmas rígidos o semirrígidos que transfieren la fuerza sísmica hacia los muros. Por esta razón, se tuvo tomar en cuenta estas condiciones a la hora de realizar el diseño con estos paneles. Las fuerzas gravitacionales no supusieron ningún problema en cuanto a capacidad de las secciones. El único parámetro gravitacional que exigió a la madera fue la deflexión de la losa de entrepiso. Esto era de esperarse debido a que las cargas de entrepiso son las más grandes y la sección de madera propuesta fue de 10 cm para CLT y 9.50 cm para las secciones laminadas. A pesar de esto, se consiguió cumplir con el límite de deformación de la losa con el espesor de panel mínimo.

Fue importante mantener espesores mínimos para que el peso de cada panel sea bajo. Uno de los objetivos del diseño fue el de tener paneles pequeños y livianos para poder ensamblarlos sin la necesidad de grúas o equipo pesado. Esto fue pensado para ahorrar costos a la hora de construir. Este objetivo se cumplió ya que el espesor de los paneles fue de 9 cm para paredes y 10 cm para losas en la construcción CLT y para las secciones laminadas el espesor fue de 7.60 cm para paredes y 9.5 cm para las losas. Mantener bajo el peso de los paneles tuvo su costo en las conexiones. Debido a que el ancho de cada panel es de 60 cm y 40 cm para CLT y madera laminada respectivamente, se requiere tener una gran cantidad de conexiones entre paneles y poder tener una estructura completamente unida.

Las conexiones resultaron ser críticas en el diseño. Debido al ancho de los paneles, se necesitó una gran cantidad de estos para formar las paredes y las losas de techo y entrepiso. Los paneles de estos elementos deben estar apropiadamente conectados para que actúen de la manera que se explicó anteriormente para resistir las fuerzas sísmicas. Para que la estructura operé de manera favorable ante un sismo, el *CLT Handbook* recomienda que las uniones entre elementos fallen por el modo III o modo IV según el NDS. Esto fue algo que se buscó cumplir para cada tipo de conexión para asegurar un comportamiento adecuado de la estructura y evitar mecanismos de colapso. Para el diseño de las conexiones, se tomó en cuenta las fuerzas laterales obtenidas de la integración de cargas sísmicas para obtener la demanda de carga para cada conexión.

Otro de los desafíos fue realizar el diseño para que el ensamblaje en obra fuera fácil de realizar y así optimizar el tiempo de construcción. Por esta razón, se buscó tener dimensiones entre ambientes que fueran compatibles con las dimensiones de los paneles para tener un número reducido de secciones diferentes en el diseño. Al final, para las paredes se logró que la mayoría de los paneles fueran de 60 cm y 40 cm de ancho, a excepción de ciertos paneles. En los paneles de losa la dimensión que va a variar es la longitud de los mismos para cubrir con la longitud entre paredes. Al mantener dimensiones regulares para los paneles se busca evitar confusiones y facilitar el proceso constructivo. Al final, se logró cumplir con el objetivo de mantener las dimensiones de los paneles y las conexiones lo más uniforme posibles para facilitar el ensamblaje de la vivienda.

Según los resultados obtenidos, se determinó que la mejor forma de cimentar, de los dos métodos propuestos, es la losa de cimentación y esto se debe a la diferencia económica entre ambos métodos. Sin embargo cabe mencionar que esto es cierto siempre y cuando el terreno cuenta con las condiciones más favorables. En todo caso ambos métodos deben de ser tomados como diferentes alternativas y ser utilizados según lo requiera la situación.

Los resultados evidencian que una de las principales ventajas que tiene este método es el tiempo de ejecución que presenta el proceso constructivo. Una vivienda puede ser terminada entre 2.5 y 3 meses, lo cual es más rápido que los otros métodos utilizados en Guatemala. Además se debe tomar en cuenta que el trabajo esta propuesto a ser realizado por 2 albañiles y 1 ayudante.

Es evidente que el método presenta un precio alto, esto se debe principalmente al precio de los paneles, ya que la madera es un material caro en Guatemala. Sin embargo hay que hacer énfasis en que el método cuenta con otro tipo de ventajas sobre los materiales actualmente utilizados para construir.

La ventaja más grande que este método posee es lo amigable que es con el ambiente, ya que los resultados muestran que solo en la construcción, genera menos emisiones de Co2 que los métodos actuales. Si se agrega a esto la fabricación del material y la demolición de la vivienda, se obtienen aún más ventajas ecológicas para el método ya que esta puede ser desmontada y trasladada a otra ubicación.

Todas las viviendas deben de contar con los servicios básicos, energía, plomería y drenajes. La presente sección fue dedicada al diseño de las mismas. La energía fue diseñada convencionalmente, es decir, el diseño básico por medio de una empresa proveedora de energía. La ubicación de la fuerza y la iluminación así como el cableado fueron estipuladas por normas. En el caso de la energía se buscó una forma alterna de proporcionar electricidad, la energía solar. Un sistema de paneles solares responsables de alimentar baterías fue la opción escogida. Los paneles solares transmiten la energía producida por el los hacia una batería, esta luego distribuye la energía hacia la vivienda. Todos los aspectos del sistema de energía solar son diseñados,

comenzando por los paneles, pasando por las baterías, los reguladores de carga, los inversores de corriente y las salidas de fuerza e iluminación. Como punto especial se sugirió una vivienda funcionando al voltaje producido por los paneles, 12V, sin embargo esto no es viable pues es complicado conseguir aparatos funcionales a esta tensión.

Las instalaciones hidráulicas se dividieron en plomería y drenaje. La plomería de la vivienda fue diseñada a base del consumo por habitante diario, el resultado fue una red principal de 1" con derivaciones de ¾" que también forman redes para luego salir hacia los artefactos con tubería de ½". Las instalaciones de agua caliente dieron como resultado una red principal de ½". Todas las redes de la casa son con tubería PVC por sus grandes cualidades. Las redes de agua caliente están formadas por tubería CPVC.

Los drenajes de la casa son evacuan 4 baños, una lavandería y una cocina, esto es posible con tubería de 3". La red principal de drenaje es una red directa desde el artefacto más lejano hacia un biodigestor, esta red pasa recogiendo todos los derechos a su paso. El sistema de degradación de desperdicios es un biodigestor, para procesar los desechos y luego transportar el líquido sobrante a un pozo de absorción. Los drenajes pluviales están formados por dos colectores, uno en cada techo inclinado. Toda el agua recolectada es transportada por medio de un tubo de 3" hacia un pozo de absorción. Es importante mencionar que todos los drenajes cuentan con un mínimo de 2% de inclinación, esto es para garantizar la movilidad de los desechos. Los servicios sanitarios cuentan con respiración, esto es para introducir la atmósfera en la red de drenajes y producir el efecto de succión deseado en los inodoros.

VI. CONCLUSIONES

Se desarrolló un sistema de construcción de paneles de madera CLT y secciones laminadas con su diseño estructural, instalaciones, proceso constructivo y costos.

Se realizó el diseño estructural de una casa de dos niveles con el sistema constructivo de paneles CLT utilizando los códigos y manuales pertinentes para una construcción en Guatemala.

Se logró diseñar estructuralmente una casa a base de un sistema constructivo que es prácticamente nuevo y sin muchos antecedentes. Se utilizó manuales como el CLT que se asemejaran a este tipo de diseño.

Se dimensionaron los elementos estructurales necesarios como: paredes, losa de entrepiso y losa de techo.

Se tomaron en cuenta las cargas gravitacionales de ocupación (carga muerta y viva) y se obtuvo la carga última con base en las combinaciones de las normas AGIES NSE 10. Para la carga gravitacional se utilizó el método de la carga sísmica estática equivalente para representar la carga sísmica como fuerza puntual en cada nivel.

Se realizó el diseño de conexiones entre elementos estructurales como paneles de paredes, de losa, de losa a paredes, de paredes a techo y de paredes a cimentación.

La conexión entre las paredes y la cimentación de la casa se realizó utilizando un perfil metálico en T invertida para cuidar la estética. Además se elevó la estructura 30 cm sobre un pedestal de concreto para evitar el contacto de la madera con la humedad del suelo y así evitar el deterioro del material.

Se realizó el diseño energético e hidráulico para una vivienda de dos niveles con Sistema estructural de madera.

Se diseñó el sistema energético a base de paneles solares, logrando así una vivienda auto sostenible.

Se realizó el diseñó y adaptación de la red de agua potable, drenajes pluviales y de aguas negras de la vivienda construida en madera por medio de una instalación sobrepuesta.

Se cuantificaron los materiales necesarios para las distintas instalaciones y se determinó el costo y la mano de obra necesaria.

Luego de realiza un análisis detallado del proceso constructivo del método, se concluye que este no es competitivo en el ámbito económico comparado con los otros métodos utilizados en Guatemala, sin embargo tiene una ventaja significativa en cuanto al cuidado del ambiente se refiere.

Se concluye que el tiempo estimado para poder realizar la obra en su totalidad, esta entre 3 y 4 meses.

La forma más económica para cimentar la vivienda es la losa de cimentación, siempre y cuando las condiciones del terreno sean óptimas. De lo contrario se deberé de utilizar la cimentación por pilotes.

El precio aproximado por m^2 de construcción de la casa será aproximadamente de $1000

Se concluye que de todos los métodos utilizados en Guatemala en la actualidad, la construcción con madera es la más amigable con el ambiente según las emisiones de CO_2 que se generan durante el levantado de la obra.

VII. RECOMENDACIONES

El CLT es un sistema ideal para edificios de pequeña y mediana altura debido a su gran capacidad resistiva, su rigidez y estabilidad. En este trabajo se buscó implementar este material para proponer una vivienda unifamiliar innovadora y fácil de construir. A pesar de no ser un material óptimo para este uso, se logró realizar el diseño exitosamente y que la estructura cumpliera con todas las exigencias de carga a las que estaría sometida.

Debido al gran número de conexiones que se obtuvo al mantener anchos de paneles pequeños, se puede recomendar hacer un diseño con paneles prefabricados más grandes. Esto ayudaría a eliminar tiempo de construcción y un más fácil armado de la estructura. Así mismo, se podría eliminar la mayoría de dinteles de ventanas y puertas.

Se puede proponer un diseño de vivienda multifamiliar para aprovechar la gran capacidad de resistencia de los paneles. De esta manera se podría justificar el uso de maquinaria para movilizar los paneles en obra y tener una opción rentable. Actualmente, no es necesario un elevador en edificios de 4 niveles o menos. Esta podría ser una buena opción para ahorrar costos en ductos de ascensores. El concepto de vivienda vertical está de moda y cada vez se invierte más en este tipo de proyectos. El CLT puede competir fácilmente con el concreto y el acero en este rubro y se puede vender como una opción amigable con el ambiente, segura y estéticamente mejor que los otros dos materiales mencionados.

Para poder establecer la madera como un material constructivo serio, primero hay que conocer la materia prima con la que cuenta el país. Guatemala es un territorio apto para la cosecha de madera y la madera de pino sería una buena opción para la fabricación de los paneles. Primero, se deben realizar estudios de paneles con madera guatemalteca para recopilar información que se apegue a los recursos del país y poder realizar un diseño más apegado a la realidad de Guatemala. Con datos más reales se podrían establecer valores nominales y realizar diseños más elaborados y certeros.

Seguir estudiando el uso de paneles de madera sólida para reforzar la idea de la madera como material constructivo y ayudar al desarrollo del recurso forestal en Guatemala y de manera indirecta al medio ambiente.

Diseñar paneles más grandes, sin importar que el manejo sea por maquinaria, para reducir conexiones y uniformizar los sistemas estructurales.

Realizar ensayos con este tipo de paneles con madera de Guatemala para tener resultados más reales y así poder diseñar de acuerdo con la realidad de nuestro país.

Realizar más proyectos de investigación sobre este método constructivo para ir perfeccionando los diseños estructurales e independizarse del CLT.

Realizar comparaciones de este método constructivo con el de CLT para conocer en realidad sus ventajas y desventajas que posea.

Investigar más acerca de los tipos de conexiones que existen en madera y determinar cuáles son las ideales y efectivos para este método constructivo de paneles.

Introducir el metodo en la clase de diseno de estructuras de madera a la par de sistema constructivo de pie derecho.

Investigar y disenar los detalles de la vivienda como las puertas, ventanas, gradas, sillares, etc.

Se recomienda el estudio profundo de las instalaciones con energías renovables, hacer énfasis en no convertir la energía desde 12V a 110V. Hacer uso de la energía obtenida del sol para alimentar circuitos de iluminación que funcionan con focos de 12 voltios a base de tecnología LED.

Investigar diferentes métodos de energías renovables, considerar micro molinos de viento para generar energía en zonas que lo permitan.

Se recomienda buscar formas de como esconder las instalaciones de todo tipo de la arquitectura de la vivienda, buscando conservar el estilo americano de construcción.

En trabajos futuros se puede investigar sobre tuberías alternas al PVC para el transporte de agua potable y acoplarlos a viviendas de madera sólida. Investigar el comportamiento de tuberías corrugadas y de materiales metálicos como el acero galvanizado.

Se recomienda investigar de formas de utilizar el agua de lluvia como fuente de abastecimiento para aparatos en los que el agua no esté en contacto con el ser humano.

Investigar sobre distintos métodos de manejo de desechos humanos y domésticos siempre buscando la mejor forma de mantener la idea ecológica.

Buscar formas alternas de proteger la casa contra la adversidad climática, lograr mantener siempre la misma climática dentro para comodidad del usuario. Se puede investigar mas a detalle el aislante

térmico así como formas de mantener calor dentro de las casas, esto puede resultar útil para lugares con temperaturas bajas en donde se quiera instalar estos sistemas.

Se recomienda grandemente tomar en cuenta el sistema de paneles de CLT o secciones lamiadas para la próxima construcción, utilizar los recursos naturales que brinda Guatemala y hacer énfasis en la responsabilidad que tienen todos con el medio ambiente.

Se recomienda que, si llega a ser necesaria la utilización de pilotes como método de cimentación, se pruebe un diseño mediante hincado de los mismos, ya que esto generaría una resistencia por fricción mucho más alta a la generada por los pilotes colados.

Se recomienda realizar un análisis de tratamiento de aguas negras por medio de biodigestores para ver si estos son viables económicamente, con el fin de utilizar un método más afín al mensaje que pretende entregar está viviendo, lo ecológico.

Se recomienda fomentar el conocimiento de la madera como método constructivo el Guatemala ya que actualmente existe un desconocimiento muy grande que puede afectar al material por ignorancia de los consumidores.

Se recomienda fomentar el método constructivo de madera ahora que el cuidado del planeta es un tópico muy importante y reiterativo, con el fin de aprovechar el momento que atraviesa el mundo con respecto a ser más ecológicos.

De ser utilizado el método, se recomienda hacer énfasis en la ventaja ecológica que este brinda, además de la ventaja de tiempo de construcción que método posee.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

American Forest & Paper Association. 2012. *ASD/LRFD Manual for Engineered Wood Construction.* Ed. 2012. Leesburg: American Wood Council.

American Society of Civil Engineers. 2010. *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures.* Ed. 2010. Restion: ASCE.

American Wood Council. 2012. *National Design Specification for Wood Construccion.* 2012. Leesburg: AWC.

—. 2015. *National Design Specification for Wood Construction.* Ed. 2015. Leesburg: AWC.

—. 2015. *NDS Supplement.* Ed. 2015. Leesburg: AWC.

—. 2015. *Special Design Provisions for Wind & Seismic.* Ed. 2015. Leesburg: AWC. Asociacion Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. 2010. *AGIES NSE 2-10 Demandas estructurales, condiciones de sitio y niveles de protección.* Ed. 2010. Guatemala: AGIES.

Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. 2010. *AGIES NSE 3-10 Diseño estructural de edificaciones.* Ed. 2010. Guatemala: AGIES.

Barrera, Jorge Augusto. s.f. «La madera Laminada.» *Revista M&M.*

CONAP. 2015. *Guatemala Huella cero.* Último acceso: 24 de junio de 2015. http://conap.gob.gt/index.php/servicios-en-linea/noticias/589-guatemala-huella-cero-en-busca-de-mitigar-la-emision-de-dioxido-de-carbono.html.

Das, Braja M. 1999. *Principios de ingenieria de cimentaciones.* 4. Editado por Pedro de la Garza Rosales. Traducido por Jose de la Cera Alonso. Sacramento, California: International Thomson Editores.

FPInnovations, AWC. 2013. *CLT Handbook Cross Laminated Timber.* 2013. Editado por Erol Karacabeyli y Brad Douglas. Quebec: FPInnovations.

HILTI, Inc. 2011. *North American Product Technical Guide Volume 2: Anchor Fastening Technical Guide.* HILTI, Inc.

IECA. s.f. *Componentes y propiedades del cemento.* Último acceso: 20 de 06 de 2015. https://www.ieca.es/gloCementos.asp?id_rep=179.

James K. Wight, James G. MacGregor. 2010. *Reinforced Concrete: Mechanics and design.* 6ta. Pearson.

Lesikar, Bruce. s.f. «Sistemas individuales para el tratamiento de aguas negras.» *Servicio de Extension Agricola de Texas.* Agricultural Communications. Último acceso: 15 de 04 de 2015. http://www.h-gac.com/community/water/ossf/ossf-treatment-systems_septic-tank-soil-absorption-field-s.pdf.

MyTiCon Timber Connectors. 2011. *US Reference Lateral Design Values in Cross Laminated Timber (CLT) with SWG ASSY Structural Screws.* Quebec: MyTiCon Timber Connectors.

Popovski, Marjan, y Erol Karacabeyli. 2012. *Seismic Behaviour of Cross-Laminated Timber.* Lisboa: FPInnovations.

Powers Fastening Innovation. s.f. «Catálogo de tornillos 2012-2013.» Power Fastening Innovation. 49.

Rigalt, Carlos. 2015. «Cambio climatico y el futuro de Guatemala.» *El Periodico*, 15 de marzo.

Rothoblaas. s.f. «Tornillos para madera.» Rothoblaas. 276.

Solanilla, Raquel Marco. 2015. *Como calcular la huella de carbono en edificios.* Último acceso: 24 de junio de 2015. http://inarquia.es/bajo-consumo/noticias/actualidad/item/669-como-calcular-la-huella-de-carbono-en-edificios.

Tejele Juez, Juan, y Maria Isabel Arteaga Garrido. 2010. *Acabados exteriores e interiores.* 2a. Madrid: Tornapunta Ediciones.

Tiktin, Juan. 1997. *Movimiento de tierras.* Madrid: Publicacion del Colegio de Ingenieros de caminos.

Universidad Austral de Chile. 2015. *Huella de Carbono.* Último acceso: 24 de Junio de 2015. http://www.uach.cl/procarbono/huella_de_carbono.html.

FPInnovations, AWC. (2013). *CLT Handbook Cross Laminated Timber* (2013 ed.). (E. Karacabeyli, & B. Douglas, Edits.) Quebec: FPInnovations.

Popovski, M., & Karacabeyli, E. (2012). *Seismic Behaviour of Cross-Laminated Timber.* Lisboa: FPInnovations.

MyTiCon Timber Connectors. (2011). *US Reference Lateral Design Values in Cross Laminated Timber (CLT) with SWG ASSY Structural Screws.* Quebec: MyTiCon Timber Connectors.

Powers Fastening Innovation. (s.f.). Catálogo de tornillos 2012-2013. 49. Power Fastening Innovation.

Rothoblaas. (s.f.). Tornillos para madera. 276. Rothoblaas.

American Wood Council. (2015). *Special Design Provisions for Wind & Seismic* (Ed. 2015 ed.). Leesburg: AWC.

American Forest & Paper Association. (2012). *ASD/LRFD Manual for Engineered Wood Construction* (Ed. 2012 ed.). Leesburg: American Wood Council.

American Wood Council. (2012). *National Design Specification for Wood Construccion* (2012 ed.). Leesburg: AWC.

American Wood Council. (2015). *National Design Specification for Wood Construction* (Ed. 2015 ed.). Leesburg: AWC.

Asociacion Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. (2010). *AGIES NSE 2-10 Demandas estructurales, condiciones de sitio y niveles de protección* (Ed. 2010 ed.). Guatemala: AGIES.

Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. (2010). *AGIES NSE 3-10 Diseño estructural de edificaciones* (Ed. 2010 ed.). Guatemala: AGIES.

American Society of Civil Engineers. (2010). *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures* (Ed. 2010 ed.). Restion: ASCE.

American Wood Council. (2015). *NDS Supplement* (Ed. 2015 ed.). Leesburg: AWC.

HILTI, Inc. (2011). *North American Product Technical Guide Volume 2: Anchor Fastening Technical Guide.* HILTI, Inc.

Das, B. M. (1999). *Principios de ingenieria de cimentaciones* (4 ed.). (P. d. Rosales, Ed., & J. d. Alonso, Trad.) Sacramento, California, USA: International Thomson Editores.

Lesikar, B. (s.f.). *Sistemas individuales para el tratamiento de aguas negras.* Recuperado el 15 de 04 de 2015, de Servicio de Extension Agricola de Texas: http://www.h-gac.com/community/water/ossf/ossf-treatment-systems_septic-tank-soil-absorption-field-s.pdf

Barrera, J. A. (s.f.). La madera Laminada. *Revista M&M*.

IECA. (s.f.). *Componentes y propiedades del cemento*. Recuperado el 20 de 06 de 2015, de ieca.es: https://www.ieca.es/gloCementos.asp?id_rep=179

Tiktin, J. (1997). *Movimiento de tierras.* Madrid: Publicacion del Colegio de Ingenieros de caminos. Tejele

Juez, J., & Arteaga Garrido, M. I. (2010). *Acabados exteriores e interiores* (2a ed.). Madrid, España: Tornapunta Ediciones.

Universidad Austral de Chile. (2015). *Huella de Carbono*. Recuperado el 24 de Junio de 2015, de Bosques PROcarbono UACh: http://www.uach.cl/procarbono/huella_de_carbono.html

Solanilla, R. M. (2015). *Como calcular la huella de carbono en edificios*. Recuperado el 24 de junio de 2015, de Inarquia: http://inarquia.es/bajo-consumo/noticias/actualidad/item/669-como-calcular-la-huella-de-carbono-en-edificios

CONAP. (2015). *Guatemala Huella cero*. Recuperado el 24 de junio de 2015, de Gobierno de Guatemala: http://conap.gob.gt/index.php/servicios-en-linea/noticias/589-guatemala-huella-cero-en-busca-de-mitigar-la-emision-de-dioxido-de-carbono.html

Rigalt, C. (15 de marzo de 2015). Cambio climatico y el futuro de Guatemala. *El Periodico*.

James K. Wight, J. G. (2010). *Reinforced Concrete: Mechanics and design* (6ta ed.). USA: Pearson.

IX. APÉNDICE

A. Diseño estructural en CLT

1. Hojas de cálculo en Excel

a. Paredes (EIeff y GAeff)

Calcular EI_{eff}

Capa	E (psi)	z (in)	Eb h^3/12 (lb-in^2)	EAz^2 (lb-in^2)	Suma	
1.00	1.74E+06	1.18	9.40E+06	1.13E+08	1.22E+08	
2.00	4.54E+04	0.00	2.46E+05	0.00E+00	2.46E+05	
3.00	1.74E+06	1.18	9.40E+06	1.13E+08	1.22E+08	
				Total	**2.45E+08**	**(lb-in^2)**

Calcular GA_{eff}

Capa	G (psi)	h/Gb (psi)
1.00	1.09E+05	2.76E-07
2.00	8.52E+03	3.52E-06
3.00	1.09E+05	2.76E-07

b. Losas (EIeff y GAeff)

Calcular EI_{eff}

Capa	E (psi)	z (in)	Eb h^3/12 (lb-in^2)	EAz^2 (lb-in^2)	Suma	
1.00	1.74E+06	1.31	1.29E+07	1.55E+08	1.68E+08	
2.00	4.54E+04	0.00	3.37E+05	0.00E+00	3.37E+05	
3.00	1.74E+06	1.31	1.29E+07	1.55E+08	1.68E+08	
				Total	**3.36E+08**	**(lb-in^2)**

Calcular GA_{eff}

Capa	G (psi)	h/Gb (psi)
1.00	1.09E+05	8.54E-08
2.00	8.52E+03	1.09E-06
3.00	1.09E+05	8.54E-08

c. Peso sísmico

	Densidad madera (kg/m^3)	Espesor (m)	Altura (m)	Peso unitario
Losa	600.00	0.10	-	60.00
Techo	600.00	0.10	-	60.00
Muros N1	600.00	0.09	2.40	129.60
Muros N2	600.00	0.09	2.20	118.80

Nivel 1		
Elemento	**Área (m^2)/Long. (m)**	**Peso (kg)**
Losa	83.96	5,037.71
Muros		
1.00	7.80	1,010.88
2.00	1.20	155.52
3.00	1.20	155.52
4.00	0.60	77.76
5.00	1.20	155.52
6.00	3.00	388.80
7.00	3.00	388.80
8.00	2.00	259.20
9.00	1.60	207.36
10.00	1.20	155.52
11.00	3.00	388.80
12.00	4.00	518.40
13.00	2.00	259.20
14.00	1.20	155.52
15.00	1.20	155.52
A	0.60	77.76
B	2.40	311.04
C	2.40	311.04
D	1.20	155.52
E	2.40	311.04
F	3.60	466.56
G	2.80	362.88
H	2.40	311.04
I	1.00	129.60
J	2.80	362.88
K	0.60	77.76
L	0.60	77.76
M	0.74	95.90

N	0.60	77.76
O	1.20	155.52
P	1.80	233.28
	Total N1	12,987.38

Nivel 2		
Elemento	**Área (m^2)/Long. (m)**	**Peso (kg)**
Losa	109.62	6,577.20
Muros		
16.00	7.80	1,010.88
17.00	2.54	329.18
18.00	3.00	388.80
19.00	3.00	388.80
20.00	2.00	259.20
21.00	3.60	466.56
22.00	3.00	388.80
23.00	2.00	259.20
24.00	6.00	777.60
25.00	1.20	155.52
AA	1.20	155.52
BB	2.40	311.04
CC	2.40	311.04
DD	0.60	77.76
EE	3.60	466.56
FF	1.20	155.52
GG	1.80	233.28
HH	0.60	77.76
II	1.02	132.19
JJ	1.20	155.52
KK	2.20	285.12
LL	2.40	311.04
	Total N1	13,674.10
Peso total	26,661.47	kg

Calcular el cortante basal		
Vb = Cs Ws =	8,297.06	kg
Cs =	0.165	
Ws =	50,285.23	kg
CMS =	43,430.60	kg
0.25 CV =	6,854.63	kg

d. Información de muros

Nivel 1					
Muro	**Long. (m)**	**Área (m^2)**	**Rel A/L**	**% área**	**% Longitud**
1.00	7.80	11.05	1.42	0.14	0.23
2.00	1.20	6.36	5.30	0.08	0.04
3.00	1.20	8.08	6.73	0.10	0.04
5.00	1.20	5.23	4.36	0.07	0.04
6.00	3.00	4.76	1.59	0.06	0.09
7.00	3.00	4.06	1.35	0.05	0.09
8.00	2.00	3.58	1.79	0.05	0.06
9.00	1.60	7.39	4.62	0.09	0.05
10.00	1.20	7.39	6.16	0.09	0.04
11.00	3.00	5.43	1.81	0.07	0.09
12.00	4.00	7.45	1.86	0.09	0.12
13.00	2.00	6.13	3.07	0.08	0.06
14.00	1.20	1.41	1.18	0.02	0.04
15.00	1.20	1.00	0.83	0.01	0.04
	33.60	79.32	6.73	1.00	1.00

Nivel 2					
Muro	**Long. (m)**	**Área (m^2)**	**Rel A/L**	**% área**	**% Longitud**
16.00	7.80	13.04	1.67	0.16	0.23
17.00	2.54	12.96	5.10	0.16	0.07
18.00	3.00	9.79	3.26	0.12	0.09
19.00	3.00	4.01	1.34	0.05	0.09
20.00	2.00	3.58	1.79	0.04	0.06
21.00	3.60	14.95	4.15	0.19	0.11
22.00	3.00	5.43	1.81	0.07	0.09
23.00	2.00	6.16	3.08	0.08	0.06
24.00	6.00	8.99	1.50	0.11	0.18
25.00	1.20	1.00	0.83	0.01	0.04
	34.14	79.91	5.10	1.00	1.00

2. Diseño estructural en hojas de cálculo de Mathcad Prime 3.0

DISEÑO ESTRUCTURAL CASA DE 2 NIVELES CON PANELES DE MADERA CLT

DATOS DE LA MADERA

$Fb := 14\ MPa$ $Fv := 1.89\ MPa$ $\rho mad := 600\ \frac{kg}{m^3}$

Capas Paralelas

$Epar := 12\ GPa$ $npar := 2$ $Fcpar := 14\ MPa$

$tpar := 3\ cm$ $lpar := 10\ cm$

Capas transversales

$Etrans := 9.4\ GPa$ $ntrans := 1$ $Fctrans := 2.7\ MPa$

$ttrans := 3\ cm$ $ltrans := 60\ cm$

DISEÑO GRAVITACIONAL

INTEGRACIÓN DE CARGAS

Integracion de cargas

Entrepiso

$CV := 40\ psf$ $PP := \rho mad \cdot g \cdot 9.5\ cm = 57\ \frac{kgf}{m^2}$ $piso := 16\ psf$

$tabicaciones := 15\ psf$ $instalaciones := 4\ psf$

$CMS := PP + piso + instalaciones + tabicaciones = 227.885\ \frac{kgf}{m^2}$

Techo

$CVt := 20\ psf$ $panelsolar := 3\ psf$ $impermeabilizacion := 1.5\ psf$

$CMSt := panelsolar + impermeabilizacion + PP = 78.971\ \frac{kgf}{m^2}$

Combinaciones de carga

$CVt = 20\ psf$

Entrepiso

$CR1 := 1.4\ CMS = 65.344\ psf$

$CR2 := 1.3\ CMS + 1.6\ CV = 124.677\ psf$

$CRmax := \max(CR1, CR2) = 124.677\ psf$

Techo

$CR1t := 1.4\ CMSt = 22.644\ psf$

$CR2t := 1.3\ CMSt + 1.6\ CVt = 53.027\ psf$

$CRmaxt := \max(CR1t, CR2t) = 53.027\ psf$

DISEÑO DE LOSAS

LOSA DE ENTREPISO

Datos del panel

$lppiso := 3.59\ m$ $anchoppiso := 60\ cm$ $tppiso := 10\ cm$

Calculo de cargas que recibe la losa

$Atrib := 0.6\ m$ $luzlibre := 3.59\ m$

$Wul := CRmax \cdot Atrib = 0.245\ \frac{kip}{ft}$

$Mul := \frac{1}{8} \cdot Wul \cdot luzlibre^2 = 4.256\ kip \cdot ft$ $Rv := \frac{Wul \cdot luzlibre}{2} = 1.445\ kip$

Chequeo a flexión

$$M_b \leq F'_b S_{eff}$$

$Mb := Mul$

$$S_{eff} = \frac{2EI_{eff}}{E_1 h}$$

$$EI_{eff} = \sum_{i=1}^{n} E_i \cdot b_i \cdot \frac{h_i^3}{12} + \sum_{i=1}^{n} E_i \cdot A_i \cdot z_i^2$$

Capa	E (psi)	z (in)	Eb h^3/12 (lb-in^2)	EAz^2 (lb-in^2)	Suma	
1.00	1.74E+06	1.31	1.29E+07	1.55E+08	1.68E+08	
2.00	4.54E+04	0.00	3.37E+05	0.00E+00	3.37E+05	
3.00	1.74E+06	1.31	1.29E+07	1.55E+08	1.68E+08	
				Total	3.36E+08	(lb-in^2)

$EIeff := 3.36 \cdot 10^8 \ lbf \cdot in^2$

$Seff := \frac{2 \cdot EIeff}{Epar \cdot tppiso} = 98.071 \ in^3$

Factores de ajuste

Factor de humedad

$CMflex := 0.8$ $CM_{EI} := 0.833$ $CMv := 0.875$

Factor Kf

$KFflex := 2.54$ $KFv := 2.88$

Factor de tiempo

$\lambda := 0.8$

Factor de resistencia

$\phi flex := 0.85$ $\phi v := 0.75$

Momento resistente del panel de piso

$Fb'Seff := Fb \cdot KFflex \cdot \lambda \cdot \phi flex \cdot Seff = 28.662\ kip \cdot ft$

Demanda/Capacidad del panel

$DCb := \frac{Mb}{Fb'Seff} = 0.148$ Mb<Fb'Seff

$cheqflex := if(DCb < 0.95, \text{“OK”}, \text{“NO OK”}) = \text{“OK”}$

$cheqflex = \text{“OK”}$

Chequeo a corte

$$V_{planar} \le F_v'(Ib/Q)_{eff}$$

$$(Ib/Q)_{eff} = \frac{EI_{eff}}{\sum_{i=1}^{n/2} E_i h_i z_i}$$

$Vplanar := Rv$

$$Secv := \frac{EIeff}{\left(\left(Epar \cdot \frac{10}{3}\ cm \cdot \left(\frac{10\ cm}{3} + \frac{10\ cm}{6}\right)\right) \cdot 2 + \left(Etrans \cdot \frac{10}{6}\ cm^2\right)\right)} = 35.957\ in^2$$

$Fv'Secv := Fv \cdot KFv \cdot \lambda \cdot \phi v \cdot Secv = 17.032\ kip$

Demanda/Capacidad a corte

$DCv := \frac{Vplanar}{Fv'Secv} = 0.085$

$cheqcorte := if(DCv < 0.95, \text{“OK”}, \text{“NO OK”})$

$cheqcorte = \text{“OK”}$

Chequeo de deflexiones

$$GA_{eff} = \frac{a^2}{\left[\left(\frac{h_1}{2 \cdot G_1 \cdot b}\right) + \left(\sum_{i=2}^{n-1} \frac{h_i}{G_i \cdot b_i}\right) + \left(\frac{h_n}{2 \cdot G_n \cdot b}\right)\right]}$$

Capa	G (psi)	h/Gb (psi)
1.00	1.09E+05	8.54E-08
2.00	8.52E+03	1.09E-06
3.00	1.09E+05	8.54E-08

$$GAeff := \frac{\left(\frac{tppiso}{3} \cdot 2\right)^2}{\left(\left(\frac{8.54 \cdot 10^{-8}}{2\ psi}\right) + \left(\frac{1.09 \cdot 10^{-6}}{psi}\right) + \left(\frac{8.54 \cdot 10^{-8}}{2\ psi}\right)\right)} = \left(5.861 \cdot 10^3\right)\ kip$$

$$EI_{app} = \frac{EI_{eff}}{1 + \frac{K_s EI_{eff}}{GA_{eff} L^2}}$$

$$EIapp := \frac{EIeff}{\left(1 + \left(\frac{11.50 \cdot EIeff}{GAeff \cdot luzlibre^2}\right)\right)} = \left(3.253 \cdot 10^5\right)\ kip \cdot in^2$$

$$\delta panel := \frac{5}{384} \cdot \frac{Wul \cdot luzlibre^4}{EIapp} = 0.327\ in$$

$$\delta adm := \frac{luzlibre}{240} = 0.589\ in$$

$$DC\delta := \frac{\delta panel}{\delta adm} = 0.555$$

$$Cheqdeflex := if(\delta panel < \delta adm, \text{“OK”}, \text{“NO OK”})$$

$$Cheqdeflex = \text{“OK”}$$

Chequeo de vibración

$$\frac{f}{d^{0.7}} \geq 125.1 \qquad f = \frac{2.188}{2l^2}\sqrt{\frac{EIapp}{\rho A}} \qquad d = \frac{1728Pl^3}{48EIapp}$$

$Gmad := 0.6$ $Atrans := 1\ ft \cdot tppiso = 47.244\ in^2$

$$frecuencia := \frac{2.188 \cdot \frac{m^{\frac{3}{2}}}{kg^{\frac{1}{2}}}}{2 \cdot luzlibre^2} \cdot \sqrt{\frac{EIapp}{Gmad \cdot Atrans}} = 606.445\ Hz$$

$P := 68.56\ lbf$

$$d := \frac{1728 \cdot P \cdot luzlibre^3}{48\ EIapp} = 0.544\ m$$

$$chequeo := \frac{frecuencia}{d^{0.7}\ \frac{1}{m^{\frac{7}{10}} \cdot s}} = 928.464$$

Chequeo

$cheqvib := if(chequeo \geq 125.1, \text{“OK”}, \text{“NO OK”})$

$cheqvib = \text{“OK”}$

LOSA DE TECHO

Datos del panel Techo

$lptecho := 3.59\ m$ $anchoptecho := 60\ cm$ $tptecho := 10\ cm$

Calculo de cargas que recibe la losa

$Atrib := 0.60\ m$ $luzlibre := 3.59\ m$

$$Wul := CRmaxt \cdot Atrib = 0.104\ \frac{kip}{ft}$$

$Mul := \frac{1}{8} \cdot Wul \cdot luzlibre^2 = 21.721\ kip \cdot in$ $Rv := \frac{Wul \cdot luzlibre}{2} = 0.615\ kip$

Chequeo a flexión

$$M_b \leq F'_b S_{eff}$$

$Mb := Mul$

$$S_{eff} = \frac{2EI_{eff}}{E_1 h}$$

$$EI_{eff} = \sum_{i=1}^{n} E_i \cdot b_i \cdot \frac{h_i^3}{12} + \sum_{i=1}^{n} E_i \cdot A_i \cdot z_i^2$$

Capa	E (psi)	z (in)	Eb h^3/12 (lb-in^2)	EAz^2 (lb-in^2)	Suma	
1.00	1.74E+06	1.31	1.29E+07	1.55E+08	1.68E+08	
2.00	4.54E+04	0.00	3.37E+05	0.00E+00	3.37E+05	
3.00	1.74E+06	1.31	1.29E+07	1.55E+08	1.68E+08	
				Total	3.36E+08	(lb-in^2)

$EIeff := 3.36 \cdot 10^8\ lbf \cdot in^2$

$Seff := \frac{2 \cdot EIeff}{Epar \cdot tptecho} = 98.071\ in^3$

Momento resistente del panel de piso

$Fb'Seff := Fb \cdot CMflex \cdot KFflex \cdot \lambda \cdot \phi flex \cdot Seff = 275.158\ kip \cdot in$

Demanda/Capacidad del panel

$DCb := \frac{Mb}{Fb'Seff} = 0.079$ Mb<Fb'Seff

$cheqflex := if(DCb < 0.95, \text{“OK”}, \text{“NO OK”})$

$cheqflex = \text{“OK”}$

Chequeo a corte

$$V_{planar} \le F_v'(Ib/Q)_{eff}$$

$$(Ib/Q)_{eff} = \frac{EI_{eff}}{\sum_{i=1}^{n/2} E_i h_i z_i}$$

$Vplanar := Rv$

$$Secv := \frac{EIeff}{\left(\left(Epar \cdot 3.5\ cm \cdot \left(\frac{3.5\ cm}{2} + \frac{3\ cm}{2}\right)\right) \cdot 2 + \left(Etrans \cdot 3\ cm \cdot \frac{3\ cm}{2}\right)\right)} = 47.403\ in^2$$

$Fv'Secv := Fv \cdot CMv \cdot KFv \cdot \lambda \cdot \phi v \cdot Secv = 19.647\ kip$

Demanda/Capacidad a corte

$$DCv := \frac{Vplanar}{Fv'Secv} = 0.031$$

$cheqcorte := if(DCv < 0.95, \text{“OK”}, \text{“NO OK”})$

$cheqcorte = \text{“OK”}$

Chequeo de deflexiones

$$GA_{eff} = \frac{a^2}{\left[\left(\frac{h_1}{2 \cdot G_1 \cdot b}\right) + \left(\sum_{i=2}^{n-1} \frac{h_i}{G_i \cdot b_i}\right) + \left(\frac{h_n}{2 \cdot G_n \cdot b}\right)\right]}$$

Capa	G (psi)	h/Gb (psi)
1.00	1.09E+05	8.54E-08
2.00	8.52E+03	1.09E-06
3.00	1.09E+05	8.54E-08

$$GAeff := \frac{\left(\frac{tptecho}{3} \cdot 2\right)^2}{\left(\left(\frac{8.54 \cdot 10^{-8}}{2\ psi}\right) + \left(\frac{1.09 \cdot 10^{-6}}{psi}\right) + \left(\frac{8.54 \cdot 10^{-8}}{2\ psi}\right)\right)} = \left(5.861 \cdot 10^{3}\right)\ kip$$

$$EI_{app} = \frac{EI_{eff}}{1 + \frac{K_s EI_{eff}}{GA_{eff} L^2}}$$

$$EIapp := \frac{EIeff}{\left(1 + \left(\frac{11.50 \cdot EIeff}{GAeff \cdot luzlibre^2}\right)\right)} \cdot CM_{EI} = \left(2.709 \cdot 10^{5}\right)\ kip \cdot in^2$$

$$\delta panel := \frac{5}{384} \cdot \frac{Wul \cdot luzlibre^4}{EIapp} = 0.167\ in$$

$$\delta adm := \frac{luzlibre}{240} = 0.589\ in$$

$$DCdeft := \frac{\delta panel}{\delta adm} = 0.283$$

$$Cheqdeflex := if(\delta panel < \delta adm, \text{“OK”}, \text{“NO OK”})$$

$$Cheqdeflex = \text{“OK”}$$

DISEÑO DE PAREDES

Factores de ajuste

Factor de humedad

$CMcomp := 0.73$ $CM_{EI} := 0.833$

Factor Kf

$KFcomp := 2.40$ $KF_{EI} := 1.76$

Factor de tiempo

$\lambda := 0.8$

Factor de resistencia

$\phi comp := 0.90$ $\phi_{EI} := 0.85$

DISEÑO PARED 17

$anchoppared := 60\ cm$ $tppared := 9\ cm$

Chequeo de paredes a compresión

$P_{parallel} \le F'_c A_{parallel}$ $hpared := 2.40\ m$

$Atrib := 12.96\ m^2$ $tpanel := 9\ cm$ $Lpared17 := 2.54\ m$

Carga que recibe el muro

$$Pm17 := \frac{CRmaxt \cdot Atrib}{Lpared17} \cdot 1\ m = 2.912\ kip$$

$$Fc' := Fcpar \cdot CMcomp \cdot KFcomp \cdot \lambda \cdot \phi comp = \left(2.561 \cdot 10^3\right)\ psi$$

$$Atrans := 1\ m \cdot \frac{tppared}{3} \cdot 2 = 93\ in^2$$

$$Fc' \cdot Atrans = 238.21\ kip$$

Demanda/Capacidad de la pared a compresión

$$DCcomp := \frac{Pm17}{Fc' \cdot Atrans} = 0.012$$

$cheqcomp := if(DCcomp < 0.95, \text{“OK”}, \text{“NO OK”})$

$cheqcomp = \text{“OK”}$

Chequeo de pandeo

$$P_{cE} = \frac{\pi^2 EI'_{app-min}}{l_e^2}$$

Cálculo de rigidez y módulo cortante

$$EI_{eff} = \sum_{i=1}^{n} E_i \cdot b_i \cdot \frac{h_i^3}{12} + \sum_{i=1}^{n} E_i \cdot A_i \cdot z_i^2$$

Capa	E (psi)	z (in)	Eb h^3/12 (lb-in^2)	EAz^2 (lb-in^2)	Suma	
1.00	1.74E+06	1.18	9.40E+06	1.13E+08	1.22E+08	
2.00	4.54E+04	0.00	2.46E+05	0.00E+00	2.46E+05	
3.00	1.74E+06	1.18	9.40E+06	1.13E+08	1.22E+08	
				Total	2.45E+08	(lb-in^2)

$$EIeff := 2.45 \cdot 10^8 \ lbf \cdot in^2$$

Calcular el módulo cortante

$$GA_{eff} = \frac{a^2}{\left[\left(\frac{h_1}{2 \cdot G_1 \cdot b}\right) + \left(\sum_{i=2}^{n-1} \frac{h_i}{G_i \cdot b_i}\right) + \left(\frac{h_n}{2 \cdot G_n \cdot b}\right)\right]}$$

Capa	G (psi)	h/Gb (psi)
1.00	1.09E+05	2.758E-07
2.00	8.52E+03	3.521E-06
3.00	1.09E+05	2.758E-07

$$GAeff := \frac{\left(\frac{tppared}{3} \cdot 2\right)^2}{\left(\left(\frac{2.758 \cdot 10^{-7}}{2\ psi}\right) + \left(\frac{3.521 \cdot 10^{-6}}{psi}\right) + \left(\frac{2.758 \cdot 10^{-7}}{2\ psi}\right)\right)} = \left(1.47 \cdot 10^3\right) \ kip$$

Calcular EIapp y EIapp-min

$$EI_{app} = \frac{EI_{eff}}{1 + \frac{K_s EI_{eff}}{GA_{eff} L^2}}$$

$$EIapp := \frac{EIeff}{\left(1 + \left(\frac{11.50 \cdot EIeff}{GAeff \cdot Lpared17^2}\right)\right)} = \left(2.056 \cdot 10^8\right)\ lbf \cdot in^2$$

$$EIappmin := 0.5184 \cdot EIapp \cdot KF_{EI} \cdot CM_{EI} \cdot \phi_{EI} = \left(1.328 \cdot 10^8\right)\ lbf \cdot in^2$$

Calcular la fuerza crítica de pandeo

$$P_{cE} = \frac{\pi^2 EI'_{app-min}}{l_e^2}$$

$$Pce := \frac{\pi^2 \cdot EIappmin}{hpared^2} = \left(1.468 \cdot 10^5\right)\ lbf$$

Factor de estabilidad de columna

$$C_p = \frac{1 + \left(P_{cE} / P_c^*\right)}{2c} - \sqrt{\left[\frac{1 + \left(P_{cE} / P_c^*\right)}{2c}\right]^2 - \frac{P_{cE} / P_c^*}{c}}$$

$$Cp := \frac{1 + \left(\frac{Pce}{Fc' \cdot Atrans}\right)}{2 \cdot 0.9} - \sqrt{\left[\frac{1 + \left(\frac{Pce}{Fc' \cdot Atrans}\right)}{2 \cdot 0.9}\right]^2 - \frac{\left(\frac{Pce}{Fc' \cdot Atrans}\right)}{0.9}} = 0.549$$

Demanda/Capacidad de la pared a pandeo

$$\frac{Pm17}{Fc' \cdot Atrans \cdot Cp} = 0.022$$

$$cheqpan := if\left(\frac{Pm17}{Fc' \cdot Atrans \cdot Cp} < 0.95\ ,\ \text{“OK”}\ ,\ \text{“NO OK”}\right)$$

$cheqpan = \text{“OK”}$

DISEÑO PARED 3

$anchoppared := 60\ cm$ $tppared := 9\ cm$ $Pm17.3 := \frac{Pm17 \cdot Lpared17}{1\ m} \cdot 0.51$

Chequeo de paredes a compresión

$P_{parallel} \le F'_c A_{parallel}$ $hpared := 2.40\ m$

$Atrib := 8.08\ m^2$ $tpanel := 9\ cm$ $Lpared3 := 1.20\ m$

Carga que recibe el muro

$$Pm3 := \frac{CRmax \cdot Atrib + Pm17.3}{Lpared3} \cdot 1\ m = 12.18\ kip$$

$$Fc' := Fcpar \cdot CMcomp \cdot KFcomp \cdot \lambda \cdot \phi comp = \left(2.561 \cdot 10^3\right)\ psi$$

$$Atrans := 1\ m \cdot \frac{tppared}{3} \cdot 2 = 93\ in^2$$

$$Fc' \cdot Atrans = 238.21\ kip$$

Demanda/Capacidad de la pared a compresión

$$DCcomp := \frac{Pm3}{Fc' \cdot Atrans} = 0.051$$

$$cheqcomp := if\left(DCcomp < 0.95\ ,\ \text{“OK”}\ ,\ \text{“NO OK”}\right)$$

$cheqcomp = \text{“OK”}$

Chequeo de pandeo

$$P_{cE} = \frac{\pi^2 EI'_{app-min}}{l_e^2}$$

Cálculo de rigidez y módulo cortante

$$EI_{eff} = \sum_{i=1}^{n} E_i \cdot b_i \cdot \frac{h_i^3}{12} + \sum_{i=1}^{n} E_i \cdot A_i \cdot z_i^2$$

Capa	E (psi)	z (in)	Eb h^3/12 (lb-in^2)	EAz^2 (lb-in^2)	Suma	
1.00	1.74E+06	1.18	9.40E+06	1.13E+08	1.22E+08	
2.00	4.54E+04	0.00	2.46E+05	0.00E+00	2.46E+05	
3.00	1.74E+06	1.18	9.40E+06	1.13E+08	1.22E+08	
				Total	2.45E+08	(lb-in^2)

$EIeff := 2.45 \cdot 10^8 \ lbf \cdot in^2$

Calcular el módulo cortante

$$P_{cE} = \frac{\pi^2 EI'_{app-min}}{l_e^2}$$

Capa	G (psi)	h/Gb (psi)
1.00	1.09E+05	2.76E-07
2.00	8.52E+03	3.52E-06
3.00	1.09E+05	2.76E-07

$$GAeff := \frac{\left(\frac{tppared}{3} \cdot 2\right)^2}{\left(\left(\frac{2.76 \cdot 10^{-7}}{2\ psi}\right) + \left(\frac{3.52 \cdot 10^{-6}}{psi}\right) + \left(\frac{2.76 \cdot 10^{-7}}{2\ psi}\right)\right)} = \left(1.47 \cdot 10^3\right) \ kip$$

Calcular EIapp y EIapp-min

$$EI_{app} = \frac{EI_{eff}}{1 + \frac{K_s EI_{eff}}{GA_{eff} L^2}}$$

$$EIapp := \frac{EIeff}{1 + \frac{11.50 \cdot EIeff}{GAeff \cdot Lpared3^2}} = (1.318 \cdot 10^8)\ lbf \cdot in^2$$

$$EIappmin := 0.5184 \cdot EIapp \cdot CM_{EI} \cdot \phi_{EI} \cdot KF_{EI} = (8.515 \cdot 10^4)\ kip \cdot in^2$$

Calcular la fuerza crítica de pandeo

$$P_{cE} = \frac{\pi^2 EI'_{app-min}}{l_e^2}$$

$$Pce := \frac{\pi^2 \cdot EIappmin}{hpared^2} = 94.131\ kip$$

Factor de estabilidad de columna

$$C_f = \frac{1 + (P_{cE} / P_c^*)}{2c} - \sqrt{\left[\frac{1 + (P_{cE} / P_c^*)}{2c}\right]^2 - \frac{P_{cE} / P_c^*}{c}}$$

$$Cp := \frac{1 + \left(\frac{Pce}{Fc' \cdot Atrans}\right)}{2 \cdot 0.9} - \sqrt{\left[\frac{1 + \left(\frac{Pce}{Fc' \cdot Atrans}\right)}{2 \cdot 0.9}\right]^2 - \frac{\left(\frac{Pce}{Fc' \cdot Atrans}\right)}{0.9}} = 0.373$$

Demanda/Capacidad de la pared a pandeo

$$\frac{Pm3}{Fc' \cdot Atrans \cdot Cp} = 0.137$$

$$cheqpan := if\left(\frac{Pm3}{Fc' \cdot Atrans \cdot Cp} < 0.95, \text{“OK”}, \text{“NO OK”}\right)$$

$cheqpan = \text{“OK”}$

DISEÑO DE DINTELES

Diseño del dintel crítico (entre paredes 9 y 10)

$Atribd := 3.32\ m^2$ $Ldin := 0.9048\ m$ $tdin := 9\ cm$ $hdin := 30\ cm$

Cargas que recibe

$$Wdin := \frac{CRmax \cdot Atribd}{Ldin} = 1.501\ \frac{kip}{ft}$$

$$Muld := \frac{Wdin \cdot Ldin^2}{8} = 1.653\ kip \cdot ft$$

$$Vdin := \frac{Wdin \cdot Ldin}{2} = 2.228\ kip$$

Módulo de sección e inercia

$$Sdin := \frac{1}{6} \cdot tdin \cdot hdin^2 = 82.382\ in^3$$

$$Idin := \frac{1}{12} \cdot tdin \cdot hdin^3 = 486.508\ in^4$$

Chequeo a flexión

$$Mb'din := Fb \cdot CMflex \cdot KFflex \cdot \lambda \cdot \phi flex \cdot Sdin = 231.14\ kip \cdot in$$

$$DCflexdin := \frac{Muld}{Mb'din} = 0.086$$

$$cheqflexd := if(DCflexdin < 0.95, \text{“OK”}, \text{“NO OK”})$$

$cheqflexd = \text{“OK”}$

Chequeo de deflexión

$$\delta admd := \frac{Ldin}{360} = 0.099\ in$$

$$\delta din := \frac{5}{384} \cdot \frac{Wdin \cdot Ldin^4}{Etrans \cdot Idin} = 0.004\ in$$

Propuesta de conexión de dintel a pared

Tornillo para madera #7 de acero de medio carbono

$tppared := 9\ cm$ $\phi tor := 0.142\ in$ $Ltor := 3\ in$

$Fyb := 90000\ psi$ $tdinc := 3\ cm$

Con base en la Tabla 12.3.3 NDS 2015

$Fe := 6500\ psi$

Longitudes de carga

$$ls := \frac{tppared}{3} + tdinc = 2.362\ in$$

$$p := tppared - ls = 1.181\ in$$

$$lm := p = 1.181\ in$$

$$pmin := 4 \cdot \phi tor = 0.568\ in$$

$$cheqp := if(p > pmin, \text{“OK”}, \text{“NO OK”})$$

$$cheqp = \text{“OK”}$$

Calcular el valor de diseño con base en los modos de falla

$$Rt := \frac{lm}{ls} \qquad Re := 1$$

$$k_1 = \frac{\sqrt{R_e + 2R_e^{\,2}(1 + R_t + R_t^{\,2}) + R_t^{\,2}R_e^{\,3}} - R_e(1 + R_t)}{(1 + R_e)}$$

$$k_2 = -1 + \sqrt{2(1 + R_e) + \frac{2F_{yb}(1 + 2R_e)D^2}{3F_{em}\ell_m^{\,2}}}$$

$$k_3 = -1 + \sqrt{\frac{2(1 + R_e)}{R_e} + \frac{2F_{yb}(2 + R_e)D^2}{3F_{em}\ell_s^{\,2}}}$$

$$k1 := \frac{\sqrt{Re + 2\ Re^2 \cdot (1 + Rt + Rt^2) + Rt^2 \cdot Re^3} - Re \cdot (1 + Rt)}{(1 + Re)}$$

$$k2 := -1 + \sqrt{2 \cdot (1 + Re) + \frac{2 \cdot Fyb \cdot (1 + 2 \cdot Re) \cdot \phi tor^2}{3 \cdot Fe \cdot ls^2}}$$

$$k3 := -1 + \sqrt{\frac{2 \cdot (1 + Re)}{Re} + \frac{2 \cdot Fyb \cdot (2 + Re) \cdot \phi tor^2}{3 \cdot Fe \cdot ls^2}}$$

$$Z = \frac{D \ell_m F_{em}}{R_d} \qquad modIm := \frac{\phi tor \cdot lm \cdot Fe}{2.2} = 495.526 \ lbf$$

$$Z = \frac{2 D \ell_s F_{es}}{R_d} \qquad modIs := \frac{2 \cdot \phi tor \cdot ls \cdot Fe}{2.2} = (1.982 \cdot 10^3) \ lbf$$

$$Z = \frac{2 k_3 D \ell_s F_{em}}{(2 + R_e) R_d} \qquad modIIIs := \frac{2 \cdot k3 \cdot \phi tor \cdot ls \cdot Fe}{(2 + Re) \cdot 2.2} = 677.128 \ lbf$$

$$Z = \frac{2 D^2}{R_d} \sqrt{\frac{2 F_{em} F_{yb}}{3 (1 + R_e)}} \qquad modIV := \frac{2 \cdot \phi tor^2}{2.2} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot Fe \cdot Fyb}{3 \cdot (1 + Re)}} = 255.977 \ lbf$$

$$Ztor := min(modIs, modIm, modIIIs, modIV) = 255.977 \ lbf$$

Factores de ajuste para Z'

$$\lambda z := 0.8 \qquad Kfz := 3.32 \qquad \phi z := 0.85 \qquad CMz := 0.8$$

$$Z'tor := Ztor \cdot \lambda z \cdot Kfz \cdot \phi z \cdot CMz = 462.315 \ lbf$$

Cantidad de tornillos

$$ntor := \frac{Vdin}{Z'tor} = 4.819$$

INTEGRACIÓN DE LA CARGA SÍSMICA

Integración de carga sísmica

Parámetros espectrales de sismo extremo

$Scr := 1.5\ g$ $S1r := 0.55\ g$

Clasificación: ordinaria

Nivel de protección mínimo: D

Sismo de diseño es un sismo con 10% de probabilidad de ser excedido en 50 años

$hn := 4.80\ m$ Altura máxima

Sistema lateral: E2, paneles de madera tipo cajón

$Ro := 6$ $\Omega r := 3$ $Cd := 4$

Ajuste por clase de sitio

Suelo tipo D: suelo firme

$Fa := 1$ $Fv := 1.5$

$Scs := Scr \cdot Fa = 1.5\ g$ $S1s := S1r \cdot Fv = 0.825\ g$

Periodo de transición

$$Ts := \frac{S1s}{Scs} = 0.55$$

$Kd := 0.66$

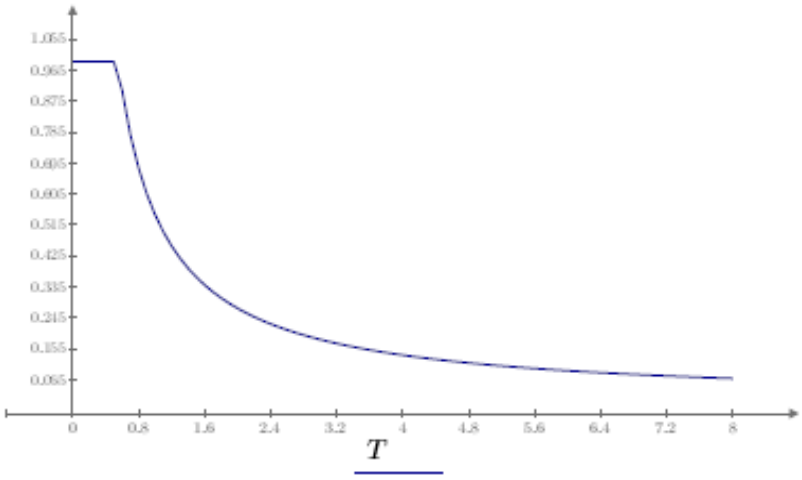
Espectro de diseño

$Scd := Scs \cdot Kd = 0.99\ g$ $S1d := S1s \cdot Kd = 0.545\ g$

Espectro de diseño

$T := 0, 0.1 .. 8$

$Sa(T) := if\left(T \le Ts, Scd, \frac{S1d}{T}\right)$



Sismo vertical

$Svd := 0.15 \cdot Scd = 0.149\ g$

Se utilizara el sismo estatico equivalente

Cálculo del periodo de vibración por el método estático equivalente

$Kt := 0.072 \qquad x := 0.75$

$Ta := Kt \cdot \left(\frac{hn}{1\ m}\right)^{x} = 0.233$

$Sa(Ta) = 0.99\ g$

$Cs := \frac{Sa(Ta)}{Ro} = 0.165\ g$

$Csmin := \max\left(0.044 \cdot Scd, 0.5 \cdot \frac{S1r}{Ro}\right) = 0.046\ g$

Cortante basal

$Alosa1 := 83.96\ m^2$ $Alosa2 := 109.62\ m^2$ $hn1 := 2.40\ m$

$Wn1 := 10822.82\ kgf$ $Wn2 := 11395.08\ kgf$ $hn2 := 2.20\ m$

$CMSws := (CMS - PP) \cdot Alosa1 + (CMSt - PP) \cdot Alosa2 = 18.47\ tonf$

$CVws := (0.25 \cdot CV) \cdot Alosa1 + (0.25 \cdot CVt) \cdot Alosa2 = 7.469\ tonf$

$PPestruc := Wn1 + Wn2 = 24.491\ tonf$

$$Ws := \frac{PPestruc + CMSws + CVws}{g} = 50.43\ ton$$

$Vb := Ws \cdot Cs = 8.321\ tonf$

Distribución de carga por nivel

$$C_{vx} = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^{n} (W_i h_i^k)}$$

$k := 1$

$Wn1 := (CMS - PP) \cdot Alosa1 + Wn1 + CV \cdot 0.25 \cdot Alosa1 = 32.264\ tonf$

$Wn2 := (CMSt - PP) \cdot Alosa2 + Wn2 + CVt \cdot 0.25 \cdot Alosa2 = 18.166\ tonf$

$$Cv1 := \frac{Wn1 \cdot hn1^k}{(Wn1 \cdot hn1^k + Wn2 \cdot hn2^k)} = 0.66$$

$$Cv2 := \frac{Wn2 \cdot hn2^k}{(Wn1 \cdot hn1^k + Wn2 \cdot hn2^k)} = 0.34$$

$Cv1 + Cv2 = 1$

$F_x = C_{vx} V_B$

$Fn1 := Cv1 \cdot Vb = 5.488\ tonf$

$Fn2 := Cv2 \cdot Vb = 2.833\ tonf$

DISEÑO DE CONEXIONES

CONEXIONES PAREDES A LOSAS

Diseño de conexión panel de losa a paneles de muro N1

Corte por carga lateral

$Ltotmurosn1 := 24\ m$ $Ltotmurosn2 := 19.42\ m$ $Ldiseño := 1\ m$

$Fn2m := \frac{Fn2}{Ltotmurosn2} = 88.916\ \frac{lbf}{ft}$ $Fn1m := \frac{Fn1}{Ltotmurosn1} = 139.404\ \frac{lbf}{ft}$

$Fntot := Fn2m + Fn1m = 228.32\ \frac{lbf}{ft}$

$Vdisplmn1 := \frac{Fntot \cdot Ldiseño}{2} = 374.54\ lbf$

Propuesta de conexión

Tornillos para madera #14 de acero de medio carbono

$tppiso := 10\ cm$ $\phi tor := 0.196\ in$ $Ltor := 8\ in$

$Fyb := 70\ ksi$ $tcpared := \frac{tppared}{3}$

Con base en la Tabla 12.3.3 NDS 2015

$Fe := 5800\ psi \cdot 0.55$

Longitudes de carga

$ls := tppiso = 3.937\ in$

$p := Ltor - ls = 4.063\ in$

$lm := p = 4.063\ in$

$pmin := 4 \cdot \phi tor = 0.784\ in$

$cheqp := if(p > pmin, \text{“OK”}, \text{“NO OK”})$

$cheqp = \text{“OK”}$

Calcular el valor de diseño con base en los modos de falla

$Rt := \frac{lm}{ls} \qquad Re := 1$

$$k_1 = \frac{\sqrt{R_e + 2R_e^{\,2}(1 + R_t + R_t^{\,2}) + R_t^{\,2}R_e^{\,3}} - R_e(1 + R_t)}{(1 + R_e)}$$

$$k_2 = -1 + \sqrt{2(1 + R_e) + \frac{2F_{yb}(1 + 2R_e)D^2}{3F_{em}\ell_m^{\,2}}}$$

$$k_3 = -1 + \sqrt{\frac{2(1 + R_e)}{R_e} + \frac{2F_{yb}(2 + R_e)D^2}{3F_{em}\ell_s^{\,2}}}$$

$$k1 := \frac{\sqrt{Re + 2\,Re^2 \cdot (1 + Rt + Rt^2) + Rt^2 \cdot Re^3} - Re \cdot (1 + Rt)}{(1 + Re)}$$

$$k2 := -1 + \sqrt{2 \cdot (1 + Re) + \frac{2 \cdot Fyb \cdot (1 + 2 \cdot Re) \cdot \phi tor^2}{3 \cdot Fe \cdot ls^2}}$$

$$k3 := -1 + \sqrt{\frac{2 \cdot (1 + Re)}{Re} + \frac{2 \cdot Fyb \cdot (2 + Re) \cdot \phi tor^2}{3 \cdot Fe \cdot ls^2}}$$

I_m	$Z = \frac{D\,\ell_m\,F_{em}}{R_d}$	$modIm := \frac{\phi tor \cdot lm \cdot Fe}{2.92} = 869.981\ lbf$
I_s	$Z = \frac{D\,\ell_s\,F_{es}}{R_d}$	$modIs := \frac{\phi tor \cdot ls \cdot Fe}{2.92} = 843.005\ lbf$
II	$Z = \frac{k_1\,D\,\ell_s\,F_{es}}{R_d}$	$modII := \frac{k1 \cdot \phi tor \cdot ls \cdot Fe}{2.92} = 354.846\ lbf$
III_m	$Z = \frac{k_2\,D\,\ell_m\,F_{em}}{(1 \quad)D}$	

$$(1 + 2R_e)\,R_d$$

III$_s$ $$Z = \frac{k_3\, D\, \ell_s\, F_{em}}{(2 + R_s)\, R_d}$$

IV $$Z = \frac{D^2}{R_d}\sqrt{\frac{2\, F_{em}\, F_{yb}}{3\,(1+R_e)}}$$

$$modIIIm := \frac{k2 \cdot \phi tor \cdot lm \cdot Fe}{(1+2 \cdot Re) \cdot 2.92} = 297.827\ lbf$$

$$modIIIs := \frac{k3 \cdot \phi tor \cdot ls \cdot Fe}{(2+Re) \cdot 2.92} = 288.592\ lbf$$

$$modIV := \frac{\phi tor^{2}}{2.92} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot Fe \cdot Fyb}{3 \cdot (1+Re)}} = 113.504\ lbf$$

$$Ztor := min(modIs, modIm, modII, modIIIm, modIIIs, modIV) = 113.504\ lbf$$

Factores de ajuste para Z'

$$\lambda z := 0.8 \qquad Kfz := 3.32 \qquad \phi z := 0.65 \qquad CMz := 0.8 \qquad Ceg := 0.67$$

$$Z'tor := Ztor \cdot \lambda z \cdot Kfz \cdot \phi z \cdot CMz \cdot Ceg = 105.031\ lbf$$

Cantidad de tornillos

$$ntor := \frac{Vdisplmn1}{Z'tor} = 3.566$$ por metro de longitud

Diseño de conexión panel de losa a paneles de muro N2

Corte por carga lateral y gravitacional

$$Lml := 1\ m \qquad An2 := 109.62\ m^{2} \qquad Hmn2 := 2.20\ m$$

$$Fn2m = 88.916\ \frac{lbf}{ft} \qquad Fmln2 := Fn2m \cdot 1\ m = 291.718\ lbf$$

$$Wmln2 := \frac{CRmaxt \cdot An2}{Ltotmurosn2} = 982.023\ \frac{lbf}{ft}$$

$$Rvcg := \frac{Wmln2 \cdot Lml}{2} = 1.611\ kip$$

$$Ttrac := \frac{Fmln2 \cdot Hmn2}{Lml} = 0.642\ kip \qquad Tx := \frac{Fmln2}{2} = 0.146\ kip$$

Propuesta de conexión de panel a placa

Perno diámetro 1/4" x 4.5" de longitud

$tppared := 9\ cm \qquad \phi tor := 0.25\ in \qquad Ltor := 4.5\ in$

$Fyb := 45000\ psi \qquad tplaca := \frac{3}{16}\ in$

Con base en la Tabla 12.3.3 NDS 2015

$Fepar := 6700\ psi$

$Feperp := 5800\ psi$

$Fe := 5800\ psi$

Longitudes de carga

$ls := tppared = 3.543\ in$

$p := tppared = 3.543\ in$

$lm := p = 3.543\ in$

$pmin := 4 \cdot \phi tor = 1\ in$

$cheqp := if(p > pmin, \text{“OK”}, \text{“NO OK”})$

$cheqp = \text{“OK”}$

Calcular el valor de diseño con base en los modos de falla

$Rt := \frac{lm}{ls} \qquad Re := 1$

$$k1 := \frac{\sqrt{Re + 2\ Re^2 \cdot \left(1 + Rt + Rt^2\right) + Rt^2 \cdot Re^3} - Re \cdot (1 + Rt)}{(1 + Re)}$$

$$k2 := -1 + \sqrt{2 \cdot (1 + Re) + \frac{2 \cdot Fyb \cdot (1 + 2 \cdot Re) \cdot \phi tor^2}{3 \cdot Fe \cdot ls^2}}$$

$$k3 := -1 + \sqrt{\frac{2 \cdot (1 + Re)}{Re} + \frac{2 \cdot Fyb \cdot (2 + Re) \cdot \phi tor^2}{3 \cdot Fe \cdot ls^2}}$$

$$Z = \frac{D\,\ell_m\,F_{em}}{R_d}$$

$$modIm := \frac{\phi tor \cdot lm \cdot Fe}{5} = (1.028 \cdot 10^3)\ lbf$$

$$Z = \frac{2\,D\,\ell_s\,F_{es}}{R_d}$$

$$modIs := \frac{2 \cdot \phi tor \cdot ls \cdot Fe}{5} = (2.055 \cdot 10^3)\ lbf$$

$$modIIIs := \frac{2 \cdot k3 \cdot \phi tor \cdot ls \cdot Fe}{(2+Re) \cdot 4} = 872.757\ lbf$$

$$Z = \frac{2\,k_3\,D\,\ell_s\,F_{em}}{(2+R_e)\,R_d}$$

$$modIV := \frac{2 \cdot \phi tor^2}{4} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot Fe \cdot Fyb}{3 \cdot (1+Re)}} = 291.481\ lbf$$

$$Z = \frac{2\,D^2}{R_d}\sqrt{\frac{2\,F_{em}\,F_{yb}}{3\,(1+R_e)}}$$

$$Ztor := min(modIs, modIm, modIIIs, modIV) = 291.481\ lbf$$

Factores de ajuste para Z'

$$\lambda z := 0.8 \qquad Kfz := 3.32 \qquad \phi z := 0.85 \qquad CMz := 0.8$$

$$Z'tor := Ztor \cdot \lambda z \cdot Kfz \cdot \phi z \cdot CMz = 526.437\ lbf$$

Cantidad de tornillos

$$ntor := \frac{Tx}{Z'tor} = 0.277$$ por metro de muro

Chequeo a arrancamiento de los tornillos

Fuerza de arrancamiento

$$Farr := Ttrac = 641.78\ lbf$$

Capacidad del tornillo

Tornillo para madera #9 de acero de medio carbono

$$\phi tor := 0.142\ in \qquad Ltor := 3.5\ in$$

$$Wtor := 2850 \frac{lbf}{in^2} \cdot Gmad^2 \cdot \phi tor = 145.692 \frac{lbf}{in}$$

Longitud de penetración

$$lp := Ltor - tplaca = 3.313\ in$$

$$\lambda z := 0.8 \qquad Kfz := 3.32 \qquad \phi z := 0.85 \qquad CMz := 0.8$$

$$Wtor' := Wtor \cdot lp \cdot CMz \cdot \lambda z \cdot Kfz \cdot \phi z = 871.623\ lbf$$

$$cheqarr := if(Wtor' > Farr, \text{“OK”}, \text{“NO OK”})$$

$$cheqarr = \text{“OK”}$$

DISEÑO DE CONEXIÓN PANEL DE TECHO A PAREDES N2

Corte por carga lateral

$$Ltotmurosn2 := 19.42\ m \qquad Ldiseño := 1\ m$$

$$Fn2m := \frac{Fn2}{Ltotmurosn2} = 88.916 \frac{lbf}{ft}$$

$$Vdis := \frac{Fn2m \cdot Ldiseño}{2} = 145.859\ lbf$$

Propuesta de conexión

Tornillos para madera #14 de acero de carbono medio

$$tptecho := 10\ cm \qquad \phi tor := 0.196\ in \qquad Ltor := 8\ in$$

$$Fyb := 70\ ksi$$

Con base en la Tabla 12.3.3 NDS 2015

$$Fe := 5800\ psi \cdot 0.55$$

Longitudes de carga

$ls := tptecho = 3.937\ in$

$p := Ltor - ls = 4.063\ in$

$lm := p = 4.063\ in$

$pmin := 4 \cdot \phi tor = 0.784\ in$

$cheqp := if(p > pmin, \text{“OK”}, \text{“NO OK”})$

$cheqp = \text{“OK”}$

Calcular el valor de diseño con base en los modos de falla

$$Rt := \frac{lm}{ls} \qquad Re := 1$$

$$k1 := \frac{\sqrt{Re + 2\ Re^2 \cdot \left(1 + Rt + Rt^2\right) + Rt^2 \cdot Re^3} - Re \cdot (1 + Rt)}{(1 + Re)}$$

$$k2 := -1 + \sqrt{2 \cdot (1 + Re) + \frac{2 \cdot Fyb \cdot (1 + 2 \cdot Re) \cdot \phi tor^2}{3 \cdot Fe \cdot ls^2}}$$

$$k3 := -1 + \sqrt{\frac{2 \cdot (1 + Re)}{Re} + \frac{2 \cdot Fyb \cdot (2 + Re) \cdot \phi tor^2}{3 \cdot Fe \cdot ls^2}}$$

$$modIm := \frac{\phi tor \cdot lm \cdot Fe}{2.92} = 869.981\ lbf$$

$$modIs := \frac{\phi tor \cdot ls \cdot Fe}{2.92} = 843.005\ lbf$$

$$modII := \frac{k1 \cdot \phi tor \cdot ls \cdot Fe}{2.92} = 354.846\ lbf$$

$$modIIIm := \frac{k2 \cdot \phi tor \cdot lm \cdot Fe}{(1 + 2 \cdot Re) \cdot 2.92} = 297.827\ lbf$$

$$modIIIs := \frac{k3 \cdot \phi tor \cdot ls \cdot Fe}{(2 + Re) \cdot 2.92} = 288.592\ lbf$$

$$modIV := \frac{\phi tor^2}{2.92} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot Fe \cdot Fyb}{3 \cdot (1 + Re)}} = 113.504\ lbf$$

$$Ztor := min(modIs, modIm, modII, modIIIm, modIIIs, modIV) = 113.504\ lbf$$

Factores de ajuste para Z'

$\lambda z := 0.8$ $Kfz := 3.32$ $\phi z := 0.65$ $CMz := 0.8$ $Ceg := 0.67$

$$Z'tor := Ztor \cdot \lambda z \cdot Kfz \cdot \phi z \cdot CMz \cdot Ceg = 105.031\ lbf$$

Cantidad de tornillos

$$ntor := \frac{Vdis}{Z'tor} = 1.389$$ por metro de longitud

CONEXION PARED A CIMIENTOS

CONEXIÓN PARED A CIMIENTOS

Corte por carga lateral y gravitacional

$Lml := 1\ m$ $An1 := 85\ m^2$ $Ltotmurosn1 := 24\ m$ $Hmn1 := 2.40\ m$

$$Fn1m = 0.139\ \frac{kip}{ft}$$ $$Fmln1 := (Fn2m + Fn1m) \cdot 1\ m = 0.749\ kip$$

$$Wmln1 := \frac{CRmax \cdot An1}{Ltotmurosn1} + Wmln2 = 2.431\ \frac{kip}{ft}$$

$$Rvcg := \frac{Wmln1 \cdot Lml}{2} = 3.987\ kip$$

$$Ttrac := \frac{Fmln1 \cdot Hmn1}{Lml} = 1.798\ kip$$ $$Tx := \frac{Fmln1}{2} = 0.375\ kip$$

Propuesta de conexión de panel a placa

Perno 1/4" de diámetro x 4 1/2" de longitud Acero 316

$tppared := 9\ cm$ $\phi tor := 0.245\ in$ $Ltor := 4.5\ in$

$Fyb := 30\ ksi$ $tplaca := \frac{1}{2}\ in$

En base a la Tabla 12.3.3 NDS 2015

$Fepar := 6700\ psi$

$Feperp := 5800\ psi$

$Fe := 5800\ psi$

Longitudes de carga

$ls := Ltor = 4.5\ in$

$p := Ltor = 4.5\ in$

$lm := p = 4.5\ in$

$pmin := 4 \cdot \phi tor = 0.98\ in$

$cheqp := if(p > pmin, \text{“OK”}, \text{“NO OK”})$

$cheqp = \text{“OK”}$

Calcular el valor de diseño con base en los modos de falla

$Rt := \frac{lm}{ls}$ $Re := 1$

$$k1 := \frac{\sqrt{Re + 2\ Re^2 \cdot \left(1 + Rt + Rt^2\right) + Rt^2 \cdot Re^3} - Re \cdot (1 + Rt)}{(1 + Re)}$$

$$k2 := -1 + \sqrt{2 \cdot (1 + Re) + \frac{2 \cdot Fyb \cdot (1 + 2 \cdot Re) \cdot \phi tor^2}{3 \cdot Fe \cdot ls^2}}$$

$$k3 := -1 + \sqrt{\frac{2 \cdot (1 + Re)}{Re} + \frac{2 \cdot Fyb \cdot (2 + Re) \cdot \phi tor^2}{3 \cdot Fe \cdot ls^2}}$$

Double Shear

$Z = \frac{D\ \ell_m\ F_{em}}{}$

$modIm := \frac{\phi tor \cdot lm \cdot Fe}{5} = \left(1.279 \cdot 10^3\right)\ lbf$

$$Z = \frac{2 D \ell_s F_{os}}{R_d}$$

$$modIs := \frac{2 \cdot \phi tor \cdot ls \cdot Fe}{5} = (2.558 \cdot 10^3)\ lbf$$

$$Z = \frac{2 k_3 D \ell_s F_{em}}{(2+R_e) R_d}$$

$$modIIIs := \frac{2 \cdot k3 \cdot \phi tor \cdot ls \cdot Fe}{(2+Re) \cdot 4} = (1.074 \cdot 10^3)\ lbf$$

$$Z = \frac{2 D^2}{R_d} \sqrt{\frac{2 F_{em} F_{yb}}{3 (1+R_e)}}$$

$$modIV := \frac{2 \cdot \phi tor^2}{4} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot Fe \cdot Fyb}{3 \cdot (1+Re)}} = 228.568\ lbf$$

$$Ztor := min(modIs, modIm, modIIIs, modIV) = 228.568\ lbf$$

Factores de ajuste para Z'

$\lambda z := 0.8$ $Kfz := 3.32$ $\phi z := 0.85$ $CMz := 0.8$

$$Z'tor := Ztor \cdot \lambda z \cdot Kfz \cdot \phi z \cdot CMz = 412.813\ lbf$$

Cantidad de tornillos

$$ntor := \frac{Tx}{Z'tor} = 0.907$$ Por metro de longitud

Chequeo a arrancamiento de los tornillos

Fuerza de arrancamiento

$$Farr := Ttrac = 1.798\ kip$$

Capacidad del tornillo

Anclaje con epóxico HILTI HY 200 y varilla HAS embedida 8.60 cm

$$Wtor' := 4855\ lbf$$

$$Wtor' = 4.855\ kip$$

$$cheqarr := if(Wtor' > Farr, \text{“OK”}, \text{“NO OK”})$$

$chequarr = \text{“OK”}$

CONEXIONES PANEL A PANEL

Diseño de conexión pared-pared

Calcular la fuerza cortante para pared crítica (3)

$Hpared3 := 2.40\ m$ $Ltotyn1 := 33.60\ m$ $Ltotyn2 := 34.14\ m$

$Atrib17 := 12.96\ m^2$ $Atrib3 := 8.08\ m^2$

Fuerza que recibe del nivel 2 pared (17)

$Lpared17 := 2.54\ m$ $PorcentajeL17 := \frac{Lpared17}{Ltotyn2} = 0.074$

$Fm17 := PorcentajeL17 \cdot Fn2 = 0.421\ kip$

Fuerza sísmica que recibe la pared

$Lpared3 := 1.20\ m$ $PorcentajeL3 := \frac{Lpared3}{Ltotyn1} = 0.036$

$Fm3 := PorcentajeL3 \cdot Fn1 + Fm17 = 0.814\ kip$

Carga gravitacional sobre el muro

$$Wm3 := \frac{Atrib3 \cdot CRmax + Atrib17 \cdot CRmaxt \cdot 0.51}{Lpared3} = 3.712\ \frac{kip}{ft}$$

Calculo del cortante máximo entre paneles

$Rvcs := \frac{Fm3 \cdot Hpared3}{Lpared3} = 1.627\ kip$ $Rvcg := \frac{Wm3 \cdot Lpared3}{2} = 7.308\ kip$

$Vmax3 := \frac{Rvcs + Rvcg}{2} = 4.468\ kip$

Propuesta de conexión

Tornillos para madera #9 de acero de medio contenido de carbono

$tppared := 9\ cm \qquad \phi tor := 0.142\ in \qquad Ltor := 3\ in$

$Fyb := 70\ ksi$

Con base en la Tabla 12.3.3 NDS 2015

$Fe := 6500\ psi$

Longitudes de carga

$$ls := \frac{tppared}{3} \cdot 2 = 2.362\ in$$

$$p := Ltor - ls = 0.638\ in$$

$$lm := p = 0.638\ in$$

$$pmin := 4 \cdot \phi tor = 0.568\ in$$

$$cheqp := if(p > pmin, \text{“OK”}, \text{“NO OK”})$$

$$cheqp = \text{“OK”}$$

Calcular el valor de diseño con base en los modos de falla

$$Rt := \frac{lm}{ls} \qquad Re := 1$$

$$k1 := \frac{\sqrt{Re + 2\ Re^2 \cdot \left(1 + Rt + Rt^2\right) + Rt^2 \cdot Re^3} - Re \cdot (1 + Rt)}{(1 + Re)}$$

$$k2 := -1 + \sqrt{2 \cdot (1 + Re) + \frac{2 \cdot Fyb \cdot (1 + 2 \cdot Re) \cdot \phi tor^2}{3 \cdot Fe \cdot ls^2}}$$

$$k3 := -1 + \sqrt{\frac{2 \cdot (1 + Re)}{Re} + \frac{2 \cdot Fyb \cdot (2 + Re) \cdot \phi tor^2}{3 \cdot Fe \cdot ls^2}}$$

$$modIm := \frac{\phi tor \cdot lm \cdot Fe}{2.2} = 267.584\ lbf$$

$$modIs := \frac{2 \cdot \phi tor \cdot ls \cdot Fe}{2.2} = (1.982 \cdot 10^3)\ lbf$$

$$modIIIs := \frac{2 \cdot k3 \cdot \phi tor \cdot ls \cdot Fe}{(2+Re) \cdot 2.2} = 673.495\ lbf$$

$$modIV := \frac{2 \cdot \phi tor^2}{2.2} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot Fe \cdot Fyb}{3 \cdot (1+Re)}} = 225.751\ lbf$$

$$Ztor := min(modIs, modIm, modIIIs, modIV) = 225.751\ lbf$$

Factores de ajuste para Z'

$\lambda z := 0.8$ $Kfz := 3.32$ $\phi z := 0.65$ $CMz := 0.8$

$$Z'tor := Ztor \cdot \lambda z \cdot Kfz \cdot \phi z \cdot CMz = 311.789\ lbf$$

Cantidad de tornillos

$$ntor := \frac{Vmax3}{Z'tor} = 14.329$$

DISEÑO DE CONEXIÓN PANEL DE PARED A PANEL DE PARED (ESQUINAS)

Corte por carga lateral

$Vmaxpe := Vmax3 \cdot 2 = 8.935\ kip$

Propuesta de conexión

Tornillos para madera HBS8180 diámetro 8mm longitud 180 mm

$tppared := 9\ cm$ $\phi tor := 8\ mm$ $Ltor := 180\ mm$

$Fyb := 145\ ksi$

Con base en la Tabla 12.3.3 NDS 2015

$Fe := 5200\ psi \cdot 0.55$

Longitudes de carga

$ls := tppared = 3.543\ in$

$p := Ltor - ls = 3.543\ in$

$lm := p = 3.543\ in$

$pmin := 4 \cdot \phi tor = 1.26\ in$

$cheqp := if(p > pmin, \text{“OK”}, \text{“NO OK”})$

$cheqp = \text{“OK”}$

Calcular el valor de diseño con base en los modos de falla

$Rt := \frac{lm}{ls} \qquad Re := 1$

$$k1 := \frac{\sqrt{Re + 2\ Re^2 \cdot \left(1 + Rt + Rt^2\right) + Rt^2 \cdot Re^3} - Re \cdot (1 + Rt)}{(1 + Re)}$$

$$k2 := -1 + \sqrt{2 \cdot (1 + Re) + \frac{2 \cdot Fyb \cdot (1 + 2 \cdot Re) \cdot \phi tor^2}{3 \cdot Fe \cdot ls^2}}$$

$$k3 := -1 + \sqrt{\frac{2 \cdot (1 + Re)}{Re} + \frac{2 \cdot Fyb \cdot (2 + Re) \cdot \phi tor^2}{3 \cdot Fe \cdot ls^2}}$$

$modIm := \frac{\phi tor \cdot lm \cdot Fe}{5} = 638.353\ lbf$

$modIs := \frac{\phi tor \cdot ls \cdot Fe}{5} = 638.353\ lbf$

$modII := \frac{k1 \cdot \phi tor \cdot ls \cdot Fe}{4.5} = 293.794\ lbf$

$modIIm := \frac{k2 \cdot \phi tor \cdot lm \cdot Fe}{(1 + 2 \cdot Re) \cdot 4} = 316.825\ lbf$

$$modIIIs := \frac{k3 \cdot \phi tor \cdot ls \cdot Fe}{(2+Re) \cdot 4} = 316.825\ lbf$$

$$modIV := \frac{\phi tor^2}{4} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot Fe \cdot Fyb}{3 \cdot (1+Re)}} = 291.581\ lbf$$

$$Ztor := min(modIs, modIm, modII, modIIIm, modIIIs, modIV) = 291.581\ lbf$$

Factores de ajuste para Z'

$$\lambda z := 0.8 \qquad Kfz := 3.32 \qquad \phi z := 0.65 \qquad CMz := 0.8 \qquad Ceg := 0.67$$

$$Z'tor := Ztor \cdot \lambda z \cdot Kfz \cdot \phi z \cdot CMz \cdot Ceg = 269.814\ lbf$$

Cantidad de tornillos

$$ntor := \frac{Vmaxpe}{Z'tor} = 33.116$$

DISEÑO DE CONEXIÓN PANEL DE LOSA A PANEL DE LOSA

Corte por carga lateral

$$Vdisplmn1 = 0.375\ kip$$

Propuesta de conexión

Tornillos para madera #7 acero con carbono medio

$$tplosa := 10\ cm \qquad \phi tor := 0.122\ in \qquad Ltor := 3.5\ in$$

$$Fyb := 90\ ksi$$

Con base en la Tabla 12.3.3 NDS 2015

$$Fe := 6500\ psi$$

Longitudes de carga

$$ls := \frac{tplosa}{3} + \frac{tplosa}{6} = 1.969\ in$$

$p := Ltor - ls = 1.531\ in$

$lm := p = 1.531\ in$

$pmin := 4 \cdot \phi tor = 0.488\ in$

$cheqp := if(p > pmin, \text{“OK”}, \text{“NO OK”})$

$cheqp = \text{“OK”}$

Calcular el valor de diseño con base en los modos de falla

$Rt := \frac{lm}{ls} \qquad Re := 1$

$$k1 := \frac{\sqrt{Re + 2\ Re^2 \cdot (1 + Rt + Rt^2) + Rt^2 \cdot Re^3} - Re \cdot (1 + Rt)}{(1 + Re)}$$

$$k2 := -1 + \sqrt{2 \cdot (1 + Re) + \frac{2 \cdot Fyb \cdot (1 + 2 \cdot Re) \cdot \phi tor^2}{3 \cdot Fe \cdot ls^2}}$$

$$k3 := -1 + \sqrt{\frac{2 \cdot (1 + Re)}{Re} + \frac{2 \cdot Fyb \cdot (2 + Re) \cdot \phi tor^2}{3 \cdot Fe \cdot ls^2}}$$

$modIm := \frac{\phi tor \cdot lm \cdot Fe}{2.2} = 552.035\ lbf$

$modIs := \frac{\phi tor \cdot ls \cdot Fe}{2.2} = 709.556\ lbf$

$modII := \frac{k1 \cdot \phi tor \cdot ls \cdot Fe}{2.2} = 264.754\ lbf$

$modIIIm := \frac{k2 \cdot \phi tor \cdot lm \cdot Fe}{(1 + 2 \cdot Re) \cdot 2.2} = 188.873\ lbf$

$modIIIs := \frac{k3 \cdot \phi tor \cdot ls \cdot Fe}{(2 + Re) \cdot 2.2} = 242.767\ lbf$

$modIV := \frac{\phi tor^2}{2.2} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot Fe \cdot Fyb}{3 \cdot (1 + Re)}} = 94.474\ lbf$

$Ztor := min(modIs, modIm, modII, modIIIm, modIIIs, modIV) = 94.474\ lbf$

Factores de ajuste para Z'

$\lambda z := 0.8 \qquad Kfz := 3.32 \qquad \phi z := 0.65 \qquad CMz := 0.8$

$Z'tor := Ztor \cdot \lambda z \cdot Kfz \cdot \phi z \cdot CMz = 130.481\ lbf$

Cantidad de tornillos

$ntor := \frac{Vdis}{Z'tor} = 1.118$ por metro de longitud

Diseño de conexion pared-pared Nivel 2

Calcular la fuerza cortante para pared crítica (17)

$Ltotyn2 := 34.14\ m \qquad Atrib17 := 12.96\ m^2 \qquad Hpared17 := 2.1\ m$

$Lpared17 := 2.54\ m \qquad PorcentajeL17 := \frac{Lpared17}{Ltotyn2} = 0.074$

$Fm17 := PorcentajeL17 \cdot Fn2 = 0.421\ kip$

Carga gravitacional sobre el muro

$Wm17 := \frac{Atrib17 \cdot CRmaxt}{Lpared17} = 0.888\ \frac{kip}{ft}$

Cálculo del cortante máximo entre paneles

$Rvcs := \frac{Fm17 \cdot Hpared17}{Lpared17} = 0.348\ kip \qquad Rvcg := \frac{Wm17 \cdot Lpared17}{2} = 3.699\ kip$

$Vmax17 := Rvcs + Rvcg = 4.047\ kip$

Propuesta de conexión

Tornillos para madera #12 de acero de medio carbono

$tppared := 9\ cm \qquad \phi tor := 0.171\ in \qquad Ltor := 3\ in$

$Fyb := 80\ ksi$

Con base en la Tabla 12.3.3 NDS 2015

$Fe := 6500\ psi$

Longitudes de carga

$ls := \frac{tppared}{3} + \frac{tppared}{6} = 1.772\ in$

$p := Ltor - ls = 1.228\ in$

$lm := p = 1.228\ in$

$pmin := 4 \cdot \phi tor = 0.684\ in$

$cheqp := if(p > pmin, \text{“OK”}, \text{“NO OK”})$

$cheqp = \text{“OK”}$

Calcular el valor de diseño con base en los modos de falla

$Rt := \frac{lm}{ls} \qquad Re := 1$

$$k1 := \frac{\sqrt{Re + 2\ Re^2 \cdot \left(1 + Rt + Rt^2\right) + Rt^2 \cdot Re^3} - Re \cdot (1 + Rt)}{(1 + Re)}$$

$$k2 := -1 + \sqrt{2 \cdot (1 + Re) + \frac{2 \cdot Fyb \cdot (1 + 2 \cdot Re) \cdot \phi tor^2}{3 \cdot Fe \cdot ls^2}}$$

$$k3 := -1 + \sqrt{\frac{2 \cdot (1 + Re)}{Re} + \frac{2 \cdot Fyb \cdot (2 + Re) \cdot \phi tor^2}{3 \cdot Fe \cdot ls^2}}$$

$modIm := \frac{\phi tor \cdot lm \cdot Fe}{2.66} = 232.817\ kgf$

$modIs := \frac{\phi tor \cdot ls \cdot Fe}{2.66} = 335.794\ kgf$

$modII := \frac{k1 \cdot \phi tor \cdot ls \cdot Fe}{2.66} = 121.046\ kgf$

$$modIIIm := \frac{k2 \cdot \phi tor \cdot lm \cdot Fe}{(1+2 \cdot Re) \cdot 2.66} = 81.993\ kgf$$

$$modIIIs := \frac{k3 \cdot \phi tor \cdot ls \cdot Fe}{(2+Re) \cdot 2.66} = 118.259\ kgf$$

$$modIV := \frac{\phi tor^{2}}{2.66} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot Fe \cdot Fyb}{3 \cdot (1+Re)}} = 65.647\ kgf$$

$$Ztor := min(modIs, modIm, modII, modIIIm, modIIIs, modIV) = 65.647\ kgf$$

Factores de ajuste para Z'

$\lambda z := 0.8$ $Kfz := 3.32$ $\phi z := 0.65$ $CMz := 0.8$

$$Z'tor := Ztor \cdot \lambda z \cdot Kfz \cdot \phi z \cdot CMz = 90.667\ kgf$$

Cantidad de tornillos

$$ntor := \frac{Vmax17}{Z'tor} = 20.247$$

DISEÑO DE CONEXIÓN PANEL DE PARED A PANEL DE PARED (ESQUINAS) N2

Corte por carga lateral

$Vmaxpe := Vmax17 = 4.047\ kip$

Propuesta de conexión

Tornillos para madera HBS6160 diámetro 6mm longitud 160 mm

$tppared := 9\ cm$ $\phi tor := 6\ mm$ $Ltor := 160\ mm$

$Fyb := 145\ ksi$

Con base en la Tabla 12.3.3 NDS 2015

$Fe := 6500\ psi \cdot 0.55$

Longitudes de carga

$ls := tppared = 9\ cm$

$p := Ltor - ls = 7\ cm$

$lm := p = 7\ cm$

$pmin := 4 \cdot \phi tor = 2.4\ cm$

$cheqp := if(p > pmin, \text{“OK”}, \text{“NO OK”})$

$cheqp = \text{“OK”}$

Calcular el valor de diseño con base en los modos de falla

$Rt := \frac{lm}{ls} \qquad Re := 1$

$$k1 := \frac{\sqrt{Re + 2\ Re^2 \cdot \left(1 + Rt + Rt^2\right) + Rt^2 \cdot Re^3} - Re \cdot (1 + Rt)}{(1 + Re)}$$

$$k2 := -1 + \sqrt{2 \cdot (1 + Re) + \frac{2 \cdot Fyb \cdot (1 + 2 \cdot Re) \cdot \phi tor^2}{3 \cdot Fe \cdot ls^2}}$$

$$k3 := -1 + \sqrt{\frac{2 \cdot (1 + Re)}{Re} + \frac{2 \cdot Fyb \cdot (2 + Re) \cdot \phi tor^2}{3 \cdot Fe \cdot ls^2}}$$

$$modIm := \frac{\phi tor \cdot lm \cdot Fe}{2.86} = 369.112\ kgf$$

$$modIs := \frac{\phi tor \cdot ls \cdot Fe}{2.86} = 474.572\ kgf$$

$$modII := \frac{k1 \cdot \phi tor \cdot ls \cdot Fe}{2.86} = 177.058\ kgf$$

$$modIIIm := \frac{k2 \cdot \phi tor \cdot lm \cdot Fe}{(1 + 2 \cdot Re) \cdot 2.86} = 133.888\ kgf$$

$$modIIIs := \frac{k3 \cdot \phi tor \cdot ls \cdot Fe}{(2+Re) \cdot 2.86} = 172.141 \ kgf$$

$$modIV := \frac{\phi tor^2}{2.86} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot Fe \cdot Fyb}{3 \cdot (1+Re)}} = 116.331 \ kgf$$

$$Ztor := min(modIs, modIm, modII, modIIIm, modIIIs, modIV) = 116.331 \ kgf$$

Factores de ajuste para Z'

$$\lambda z := 0.8 \qquad Kfz := 3.32 \qquad \phi z := 0.65 \qquad CMz := 0.8 \qquad Ceg := 0.67$$

$$Z'tor := Ztor \cdot \lambda z \cdot Kfz \cdot \phi z \cdot CMz \cdot Ceg = 107.647 \ kgf$$

Cantidad de tornillos

$$ntor := \frac{Vmaxpe}{Z'tor} = 17.053$$

B. Diseño estructural en secciones laminadas

1. Integración de cargas

Listado de losas			
Losa	**Nivel**	**Área (m2)**	**t (m)**
1.00	1.00	80.31	0.095
2.00	2.00	103.59	0.076

Tipo	Nivel	Vol.	D (kg/m3)	Wipp (kg)
Muros	N1	13.65	600.00	8,187.94
Muros	N2	3.30	600.00	1,978.13
Losas	N1	6.10	600.00	4,577.88
Losas	N2	7.87	600.00	4,723.87
			Total	**19,467.81**

Carga muerta sobrepuesta			Carga*Área
Entrepiso	210.00	Kg/m2	12,287.98
Techo	81.00	Kg/m2	3,667.21
		Total	**15,955.19**

Carga viva			Carga*Área
Entrepiso	200.00	Kg/m2	16,062.72
Techo	100.00	Kg/m2	10,359.36
		Tota	**26,422.08**

Combinación de cargas últimas		
Entrepiso		
CRU	593.00	kgf/m2
Techo		
CRU	265.30	kg/m2

Peso sísmico	
Ws total (kg)	**42,028.52**
Peso entrepiso (kg)	29,069.47
Peso techo (kg)	12,959.05

2. Diseño sísmico

Ubicación **Guatemala**

Io = 1

Scr = 1.5 g

S1r = 0.55 g

Suelo D

Fa = 1

Fv = 1.5

Ajuste por tipo de suelo

Scs = 1.5 g

S1s = 0.825 g

Periodo de transición

Ts = 0.55 seg

Como es una estructura Clasificación Ordinaria

Nivel de protección mínima D

Sismo con 10% de probabilidad de ser excedido en 50 años.

Sistema lateral E2 con paneles de madera tipo cajon 6 NSE 3

R= 6

Ωr= 3

Cd= 4

Factor de escala

Kd = 0.66

Ordenadas espectrales a nivel de diseño

Scd = 0.99 g

S1d = 0.54 g

Sismo estático equivalente

Componente de Sismo Vertical

Svd= 0.1485 g

Periodo de vibración empírico

Kt = 0.072

hn = 4.6 m

x = 0.75

Ta = 0.226 seg

$$T_a = K_T (h_n)^x$$

Sistema Estructural

Sistema lateral E2 con paneles de madera tipo cajon 6 NSE 3

R= 6

Ωr= 3

Cd= 4

Como Ta < Ts

Sa(Ta)= Scd

$$S_a(T) = S_{cd} \quad \text{si } T \le T_s$$

$$S_a(T) = S_{1d} / T \quad \text{si } T > T_s$$

Sa(Ta)= 0.99 g

Coeficiente sísmico

Cs = 0.165 g

Ws = 42,028.52

Vb = Cs * Ws

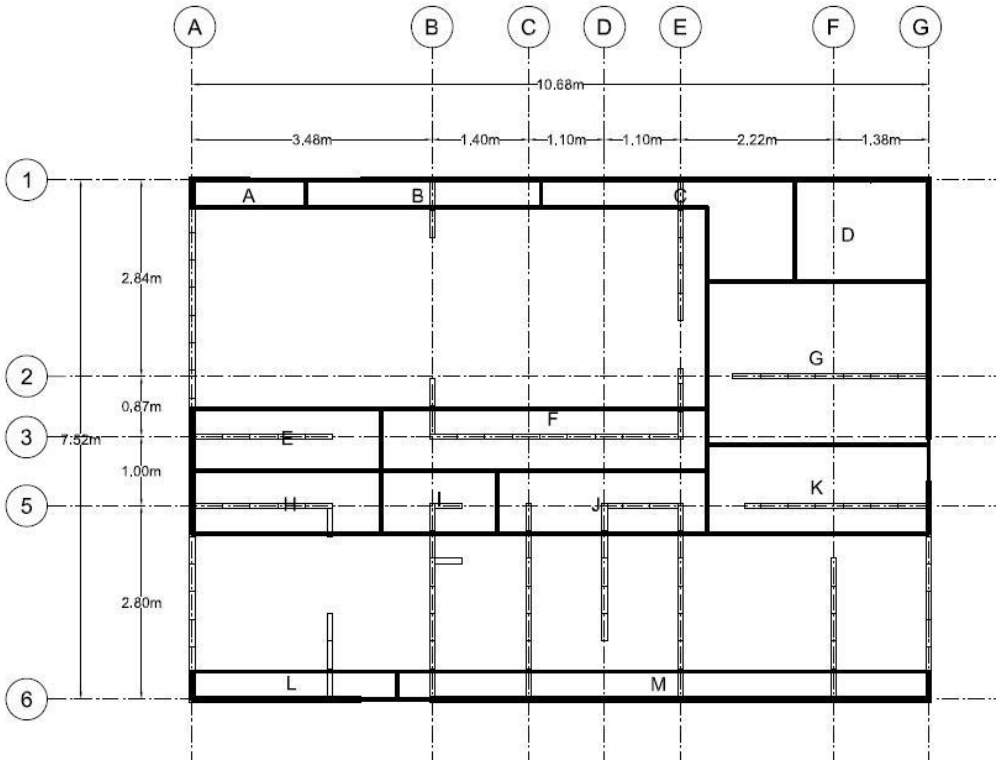
Vb = 6934.70606

k = 1

Nivel	Wi	hi	Wi *hi^k	Cvx	Fx
1	29,069.47	2.4	69766.7328	0.54	3739.51
2	12,959.05	4.6	59611.6282	0.46	3195.20
		∑	129378.361	1	6934.71

3. Diseño de muros

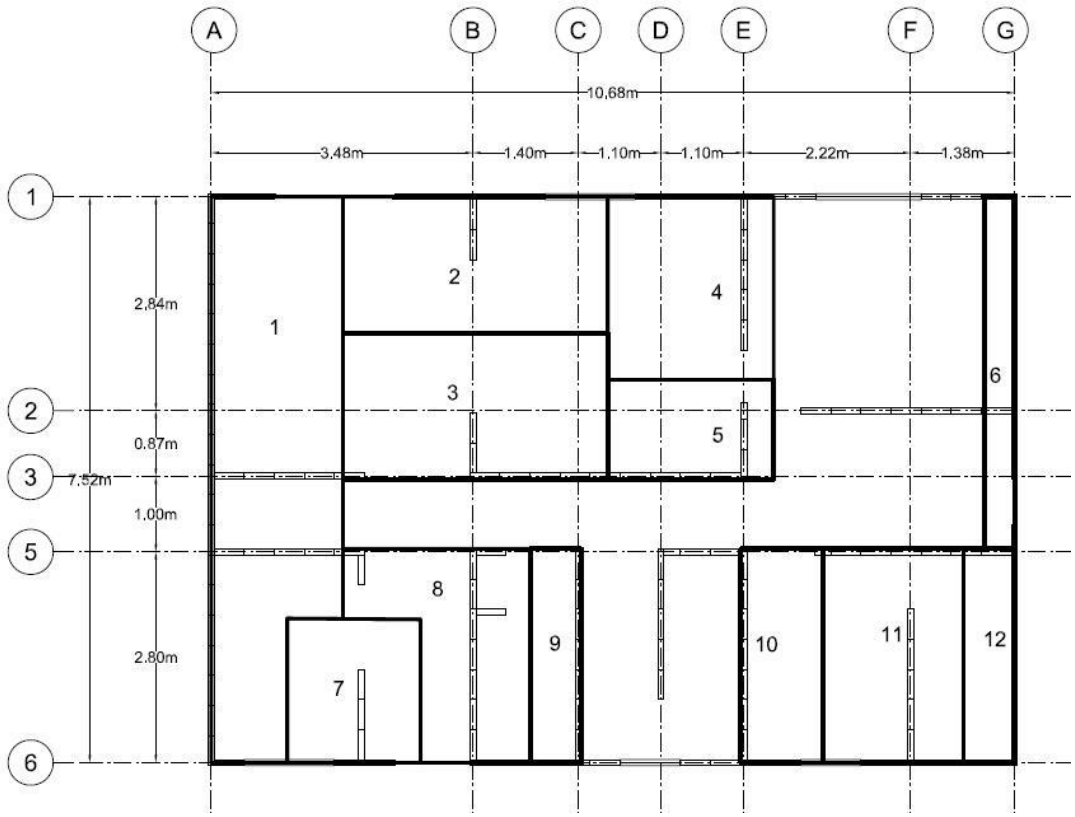
Planta baja de muros en dirección X



Muro	t (m)	L (m)	H (m)	Atr (m^2)	A muro (m^2)
A	0.076	0.80	2.40	0.66	0.06
B	0.076	2.00	2.40	1.36	0.15
C	0.076	2.40	2.40	2.85	0.18
D	0.076	1.28	2.40	2.86	0.10
E	0.076	2.00	2.40	2.47	0.15
F	0.076	3.60	2.40	4.25	0.27
G	0.076	2.80	2.40	7.60	0.21
H	0.076	2.00	2.40	2.48	0.15
I	0.076	0.80	2.40	1.53	0.06
J	0.076	1.20	2.40	2.75	0.09
K	0.076	2.60	2.40	4.13	1.43
L	0.076	1.20	2.40	1.19	2.81
M	0.076	5.20	2.40	3.09	5.47
Totales		**27.88**		**37.22**	**11.14**

Chequeo a compresión y pandeo									
Muro	**K**	**Lc**	**lc/d1**	**lc/d2**	**Fce**	**Cp**	**Fcd (kg)**	**Fcc (kg)**	**D/C**
A	1	2.40	6.00	31.58	5,127,826.89	0.25	656.68	15,388.35	**0.04**
B	1	2.40	6.00	31.58	5,127,826.89	0.25	1,217.70	15,388.35	**0.08**
C	1	2.40	6.00	31.58	5,127,826.89	0.25	2,106.57	15,388.35	**0.14**
D	1	2.40	6.00	31.58	5,127,826.89	0.25	1,982.50	15,388.35	**0.13**
E	1	2.40	6.00	31.58	5,127,826.89	0.25	1,928.99	15,388.35	**0.13**
F	1	2.40	6.00	31.58	5,127,826.89	0.25	2,520.25	15,388.35	**0.16**
G	1	2.40	6.00	31.58	5,127,826.89	0.25	4,506.80	15,388.35	**0.29**
H	1	2.40	6.00	31.58	5,127,826.89	0.25	1,470.64	15,388.35	**0.10**
I	1	2.40	6.00	31.58	5,127,826.89	0.25	1,045.25	15,388.35	**0.07**
J	1	2.40	6.00	31.58	5,127,826.89	0.25	1,768.71	15,388.35	**0.11**
K	1	2.40	6.00	31.58	5,127,826.89	0.25	2,881.53	15,388.35	**0.19**
L	1	2.40	6.00	31.58	5,127,826.89	0.25	1,087.70	15,388.35	**0.07**
M	1	2.40	6.00	31.58	5,127,826.89	0.25	2,511.54	15,388.35	**0.16**

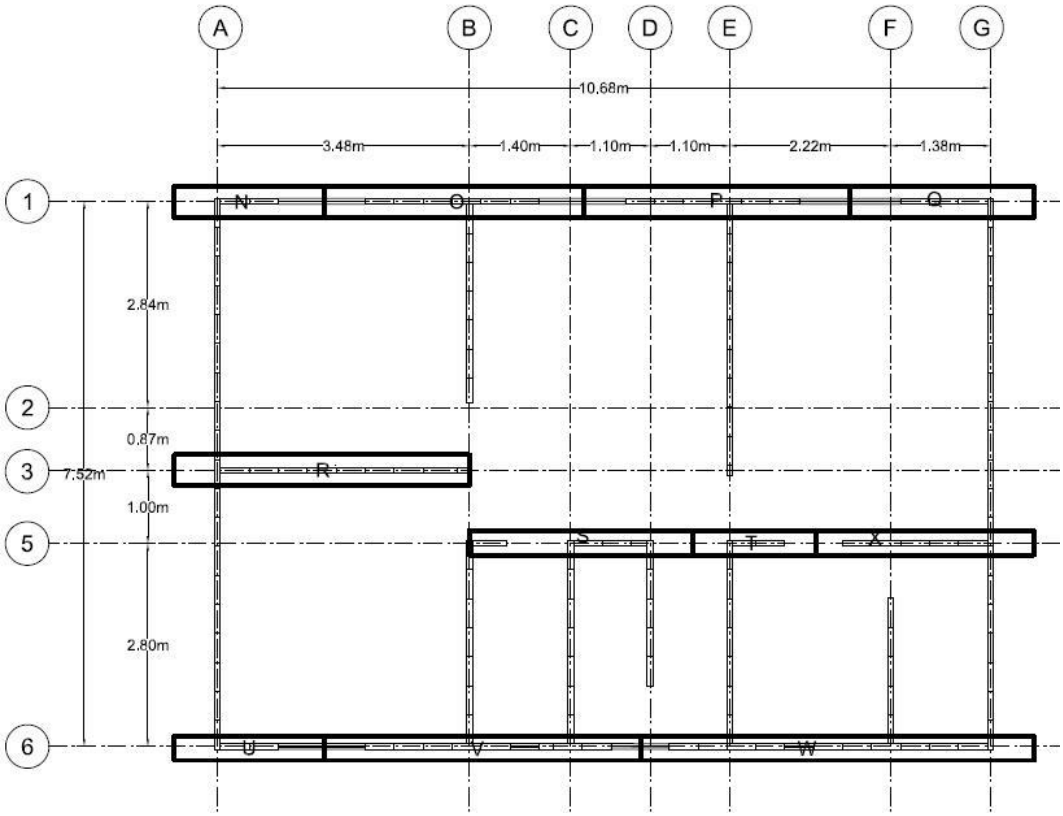
Planta baja de muros en dirección Y



Muro	t (m)	L (m)	H (m)	Atr (m^2)	A muro (m^2)
1	0.076	7.52	2.40	11.76	0.57
2	0.076	1.00	2.40	6.39	0.08
3	0.076	1.00	2.40	6.83	0.08
4	0.076	2.00	2.40	5.38	0.15
5	0.076	1.00	2.40	2.92	0.08
6	0.076	3.80	2.40	1.87	0.29
7	0.076	1.20	2.40	3.39	0.09
8	0.076	2.80	2.40	5.10	0.21
9	0.076	2.80	2.40	1.93	0.21
10	0.076	5.00	2.40	3.12	0.38
11	0.076	2.80	2.40	5.32	0.21
12	0.076	2.00	2.40	1.93	0.15
Totales		**32.92**		**55.93**	**2.50**

Chequeo a compresión y pandeo									
Muro	**K**	**Lc**	**lc/d1**	**lc/d2**	**Fce**	**Cp**	**Fcd (kg)**	**Fcc (kg)**	**D/C**
1	1	2.40	6.00	31.58	5,127,826.89	0.25	9,671.78	15,388.35	**0.63**
2	1	2.40	6.00	31.58	9,891,400.00	0.45	5,529.46	28,310.97	**0.20**
3	1	2.40	6.00	31.58	9,891,400.00	0.45	5,790.27	28,310.97	**0.20**
4	1	2.40	6.00	31.58	9,891,400.00	0.45	4,930.42	28,310.97	**0.17**
5	1	2.40	6.00	31.58	9,891,400.00	0.45	3,471.64	28,310.97	**0.12**
6	1	2.40	6.00	31.58	9,891,400.00	0.45	3,277.74	28,310.97	**0.12**
7	1	2.40	6.00	31.58	9,891,400.00	0.45	2,008.49	28,310.97	**0.07**
8	1	2.40	6.00	31.58	9,891,400.00	0.45	5,473.66	28,310.97	**0.19**
9	1	2.40	6.00	31.58	9,891,400.00	0.45	3,250.97	28,310.97	**0.11**
10	1	2.40	6.00	31.58	9,891,400.00	0.45	4,444.79	28,310.97	**0.16**
11	1	2.40	6.00	31.58	9,891,400.00	0.45	5,237.37	28,310.97	**0.18**
12	1	2.40	6.00	31.58	9,891,400.00	0.45	3,313.32	28,310.97	**0.12**

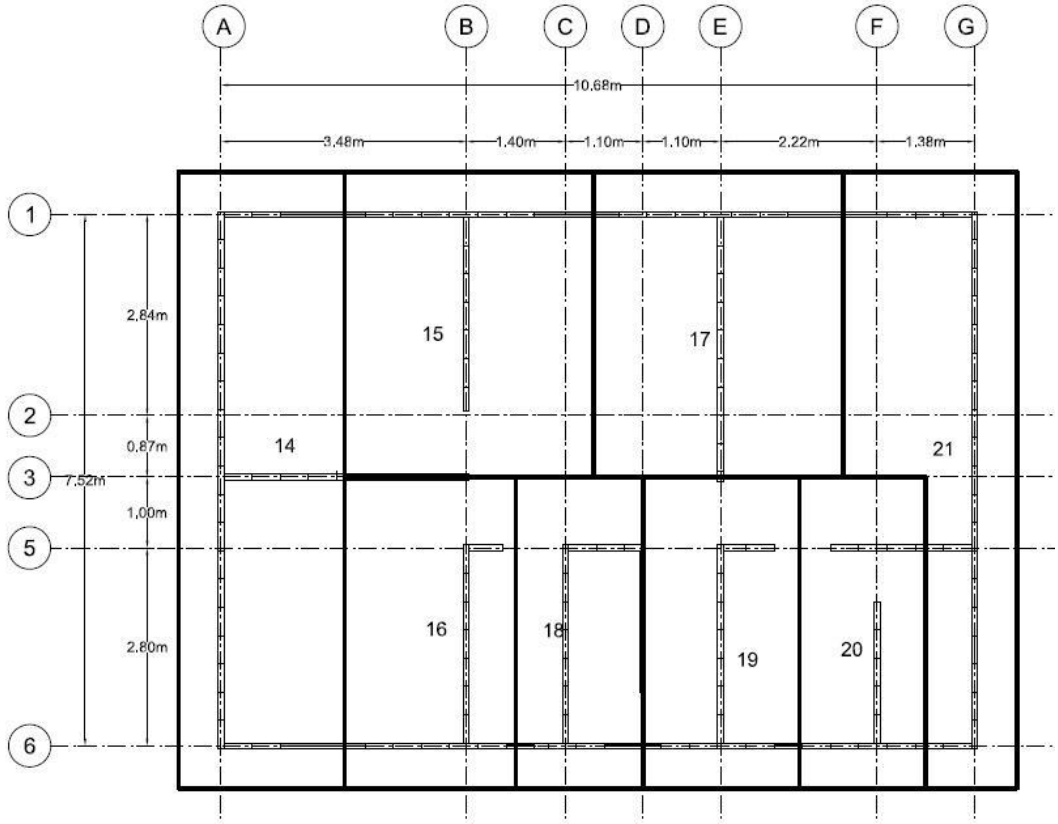
Planta alta de muros en dirección X



Muro	t (m)	L (m)	H (m)	Atr (m^2)	A muro (m^2)
N	0.038	0.80	1.60	1.00	0.03
O	0.038	2.40	1.60	1.55	0.09
P	0.038	2.40	1.60	1.57	0.09
Q	0.038	1.20	1.60	1.08	0.05
R	0.076	3.40	2.60	1.75	0.26
S	0.076	1.20	2.20	1.04	0.09
T	0.076	0.80	2.20	0.60	0.06
U	0.038	0.80	1.60	0.70	0.03
V	0.038	3.40	1.60	1.48	0.13
W	0.038	4.40	1.60	1.82	0.17
X	0.076	2.00	2.20	1.03	0.15
Totales		**22.80**		**13.62**	**1.15**

Chequeo a compresión y pandeo									
Muro	**K**	**Lc**	**lc/d1**	**lc/d2**	**Fc Pandeo**	**Cp**	**Fcd (kg)**	**Fcc (kg)**	**D/C**
N	1	1.60	4.00	42.11	2,884,402.63	0.14	265.30	4,397.26	**0.06**
O	1	1.60	4.00	42.11	2,884,402.63	0.14	411.22	4,397.26	**0.09**
P	1	1.60	4.00	42.11	2,884,402.63	0.14	416.52	4,397.26	**0.09**
Q	1	1.60	4.00	42.11	2,884,402.63	0.14	286.52	4,397.26	**0.07**
R	1	2.40	6.00	31.58	5,127,826.89	0.25	464.28	15,388.35	**0.03**
S	1	2.35	5.88	30.92	5,348,353.63	0.26	275.91	16,022.11	**0.02**
T	1	2.35	5.88	30.92	5,348,353.63	0.26	159.18	16,022.11	**0.01**
U	1	2.35	5.88	61.84	1,337,088.41	0.07	185.71	2,057.25	**0.09**
V	1	1.60	4.00	42.11	2,884,402.63	0.14	392.64	4,397.26	**0.09**
W	1	1.60	4.00	42.11	2,884,402.63	0.14	482.85	4,397.26	**0.11**
X	1	2.20	5.50	28.95	6,102,537.79	0.29	273.26	18,167.29	**0.02**

Planta alta de muros en dirección Y



Muro	t (m)	L (m)	H (m)	Atr (m^2)	A muro (m^2)
14	0.038	7.52	1.60	10.18	0.29
15	0.076	2.80	2.10	13.12	0.21
16	0.076	2.80	2.10	9.23	0.21
17	0.076	3.80	2.10	13.12	0.29
18	0.076	2.80	2.10	7.94	0.21
19	0.076	2.80	2.10	9.78	0.21
20	0.076	2.00	2.10	7.85	0.15
21	0.076	7.52	1.60	16.35	0.57
Totales		**32.04**		**87.56**	**2.15**

Chequeo a compresión y pandeo									
Muro	**K**	**Lc**	**lc/d1**	**lc/d2**	**Fc Pandeo**	**Cp**	**Fcd (kg)**	**Fcc (kg)**	**D/C**
14	1	1.60	4.00	42.11	2,884,402.63	0.14	2,699.59	4,397.26	**0.61**
15	1	2.10	5.25	27.63	6,697,569.82	0.32	3,480.15	19,833.92	**0.18**
16	1	2.10	5.25	27.63	6,697,569.82	0.32	2,449.36	19,833.92	**0.12**
17	1	2.10	5.25	27.63	6,697,569.82	0.32	3,480.15	19,833.92	**0.18**
18	1	2.10	5.25	27.63	6,697,569.82	0.32	2,106.48	19,833.92	**0.11**
19	1	2.10	5.25	27.63	6,697,569.82	0.32	2,594.63	19,833.92	**0.13**
20	1	2.10	5.25	27.63	6,697,569.82	0.32	2,082.61	19,833.92	**0.11**
21	1	1.60	4.00	21.05	11,537,610.51	0.52	4,337.66	32,303.14	**0.13**

4. Diseño de paneles de entrepiso

Diseño de el módulo crítico del entrepiso

1. Integración de cargas

4 NSE 2 - pag 11

Tabiques interiores

$CMtab := 75\ \frac{kg}{m^2}$ $Pc := 78\ \frac{kg}{m^2}$ *ASCE*

Peso propio de la madera

$Ppmad := 600\ \frac{kg}{m^3} \cdot 9.5\ cm = 57\ \frac{kg}{m^2}$

Carga muerta total

$Muerta := CMtab + Ppmad + Pc = 210\ \frac{kg}{m^2}$

Carga Viva

$Viva := 200\ \frac{kg}{m^2}$

2. Metodos de diseño LRFD

3. Esfuerzos admisibles

$Fb := 15\ \frac{N}{mm^2}$ $Em := 12000\ \frac{N}{mm^2}$

4. Combinaciones de carga basado en AGIES NSE 2

4.1 Combinacion de carga mayorada para el metodo LRFD

$CR1 := 1.4 \cdot Muerta = 294\ \frac{kg}{m^2}$

pag.45 - cap. 4.2.1

$CR2 := 1.3 \cdot Muerta + 1.6 \cdot Viva = 593\ \frac{kg}{m^2}$

$CRu := \max(CR1, CR2) = 593\ \frac{kg}{m^2}$

5. Analizar el entrepiso formado por modulos

5.1. Módulo

$Atmod := 40\ cm$ $Lmod := 3.60\ m$

$Wum := CRu \cdot Atmod = 237.2 \ \frac{kg}{m}$

$Mum := 0.125 \cdot Wum \cdot Lmod^2 = 384.264 \ kg \cdot m$

6. Coeficientes de ajuste

Factor de duracion de carga

$CD := 1$ AWC

Factor de humedad

$CM := 0.8$

Factor de tamaño

$CF := 1$

7. Propiedades de la sección

7.1. Módulo

$Bmod := 40 \ cm$ $tmod := 9.5 \ cm$

$Imod := \frac{1}{12} \cdot Atmod \cdot tmod^3$ $Smod := \frac{1}{6} \cdot Bmod \cdot tmod^2$

8. Momentos resistentes (LRFD)

8.1. Módulo

Momento resistente del módulo

$\phi b := 0.90$

$KF := \frac{2.16}{\phi b} = 2.4$

$\lambda := 0.8$

$Fb' := Fb \cdot CM \cdot CF \cdot \phi b \cdot KF \cdot \lambda = 20.736 \ \frac{N}{mm^2}$

$M'rmod := Fb' \cdot Smod = 12.476 \ kN \cdot m$

Demanda vs capacidad de los elementos

9.1 Módulo (si<1)

LRFD

$$DCrtab := \frac{Mum \cdot g}{Mrmod} = 0.302$$

10. Chequeo de las deflexiones

10.1 Deflexión en el tablón

$$\delta modm := \frac{5}{384} \cdot \frac{(Muerta \cdot g \cdot Atmod) \cdot Lmod^4}{Em \cdot Imod} = 0.525\ cm$$

$$\delta modv := \frac{5}{384} \cdot \frac{(Viva \cdot g \cdot Atmod) \cdot Lmod^4}{Em \cdot Imod} = 0.5\ cm$$

11. Control de deflexiones

11.1 Chequeo de módulo

Por muerta mas viva

$$\Delta myv := \frac{Lmod}{240} = 1.5\ cm$$

$$R1 := \text{if}(\Delta myv > \delta modm + \delta modv, \text{"OK"}, \text{"No Cumple"})$$

$$R1 = \text{"OK"}$$

Por viva

$$\Delta v := \frac{Lmod}{360} = 1\ cm$$

$$R2 := \text{if}(\Delta v > \delta modv, \text{"OK"}, \text{"No Cumple"})$$

$$R2 = \text{"OK"}$$

5. Diseño de paneles de techo

1. Integración de cargas

4 NSE 2 - pag 11

Elementos techo

$Shingle := 10 \frac{kg}{m^2}$ $Psolar := 15 \frac{kg}{m^2}$ *ASCE*

Peso propio de la madera

$Ppmad := 600 \frac{kg}{m^3} \cdot 7.6\ cm = 45.6 \frac{kg}{m^2}$

Carga muerta total

$Muerta := Shingle + Ppmad + Psolar = 70.6 \frac{kg}{m^2}$

Carga viva

$Viva := 100 \frac{kg}{m^2}$

2. Metodos de diseño LRFD

3. Esfuerzos admisibles

$Fb := 15 \frac{N}{mm^2}$ $Em := 12000 \frac{N}{mm^2}$

4. Combinaciones de carga basado en AGIES NSE 2

4.1 Combinacion de carga mayorada para el método LRFD

$CR1 := 1.4 \cdot Muerta = 98.84 \frac{kg}{m^2}$

pag.45 - cap. 4.2.1

$CR2 := (1.3 \cdot Muerta + 1.6 \cdot Viva) = 251.78 \frac{kg}{m^2}$

$CRu := \max(CR1, CR2) = 251.78 \frac{kg}{m^2}$

5. Analizar el entrepiso formado por modulos

5.1 Módulo

Modulo 1 Modulo 2

$Atmod := 40\ cm$ $Lmod := 3.60\ m$ $Lmod2 := 4.20\ m$

LRFD

$$Wum := CRu \cdot Atmod = 100.712 \ \frac{kg}{m}$$

Módulo 1

$$Mum1 := 0.125 \cdot Wum \cdot Lmod^2 = 163.153 \ kg \cdot m$$

Módulo 2

$$Mum2 := 0.125 \cdot Wum \cdot Lmod2^2 = 222.07 \ kg \cdot m$$

6. Coeficientes de ajuste

Factor de humedad NDS

$$CM := 0.8$$

Factor de tamaño

$$CF := 1$$

Factor de temperatura

$$CT := 1$$

7. Propiedades de la sección

7.1 Módulo

7.1 Módulos

Módulo 1 Módulo 2

$$tmod1 := 7.6 \ cm \qquad tmod2 := 7.6 \ cm \qquad Bmod := 40 \ cm$$

$$Imod1 := \frac{1}{12} \cdot Atmod \cdot tmod1^3 \quad Smod1 := \frac{1}{6} \cdot Bmod \cdot tmod1^2$$

$$Imod2 := \frac{1}{12} \cdot Atmod \cdot tmod2^3 \quad Smod2 := \frac{1}{6} \cdot Bmod \cdot tmod2^2$$

8. Momentos resistentes (LRFD)

8.1 Módulo

Momento resistente del módulo

$$\phi b := 0.90$$

$$KF := \frac{2.16}{\phi b} = 2.4$$

$$\lambda := 0.8$$

$$Fb' := Fb \cdot CM \cdot CF \cdot CT \cdot KF \cdot \phi b \cdot \lambda = 20.736 \ \frac{N}{mm^2}$$

$$M'rmod1 := Fb' \cdot Smod1 = 7.985\ kN \cdot m$$

$$M'rmod2 := Fb' \cdot Smod2 = 7.985\ kN \cdot m$$

Demanda vs capacidad de los elementos

9.1 Módulo1 (si < 1) *LRFD*

$$DCrtab := \frac{Mum1 \cdot g}{M'rmod1} = 0.2$$

9.1 Módulo2 (si < 1) *LRFD*

$$DCrtab2 := \frac{Mum2 \cdot g}{M'rmod2} = 0.273$$

10. Chequeo de las deflexiones

10.1 Deflexion en el módulo 1

$$\delta modm := \frac{5}{384} \cdot \frac{(Muerta \cdot g \cdot Atmod) \cdot Lmod^4}{Em \cdot Imod1} = 0.345\ cm$$

$$\delta modv := \frac{5}{384} \cdot \frac{(Viva \cdot g \cdot Atmod) \cdot Lmod^4}{Em \cdot Imod1} = 0.489\ cm$$

10.2 Deflexion en el módulo 2

$$\delta mod2m := \frac{5}{384} \cdot \frac{(Muerta \cdot g \cdot Atmod) \cdot Lmod2^4}{Em \cdot Imod2} = 0.639\ cm$$

$$\delta mod2v := \frac{5}{384} \cdot \frac{(Viva \cdot g \cdot Atmod) \cdot Lmod2^4}{Em \cdot Imod2} = 0.905\ cm$$

11. Control de deflexiones

11.1 Chequeo del módulo 1

Por muerta mas viva

$$\Delta myv := \frac{Lmod}{240} = 1.5\ cm$$

$$R1 := \text{if}(\Delta myv > \delta modm + \delta modv, \text{“OK”}, \text{“No Cumple”})$$

$$R1 = \text{“OK”}$$

Por viva

$$\Delta v := \frac{Lmod}{360} = 1\ cm$$

$$R2 := \text{if}(\Delta v > \delta modv, \text{“OK”}, \text{“No Cumple”})$$

$$R2 = \text{“OK”}$$

11.2 Chequeo del módulo 2

Por muerta mas viva

$$\Delta myv2 := \frac{Lmod2}{240} = 1.75\ cm$$

$$R1 := \text{if}(\Delta myv2 > \delta mod2m + \delta mod2v, \text{“OK”}, \text{“No Cumple”})$$

$$R1 = \text{“OK”}$$

Por viva

$$\Delta v2 := \frac{Lmod2}{360} = 1.167\ cm$$

$$R2 := \text{if}(\Delta v2 > \delta mod2v, \text{“OK”}, \text{“No Cumple”})$$

$$R2 = \text{“OK”}$$

6. Conexión pared a pared

Muros primer nivel en dirección Y									
Muro	**L (m)**	**H (m)**	**Atr (m^2)**	**Carga Lateral**	**Carga Gravitacional**	**Corte Vertical Critico** Unión	**Cantidad de Tornillos**	**Cantidad por muro**	**Espaciamiento (cm)**
				kg	**M (kg/m)**	**V (kg)**			
A	0.80	2.40	0.66	122.97	820.85	697.25	3	13	18
B	2.00	2.40	1.36	253.39	574.58	878.65	4	52	18
C	2.40	2.40	2.85	531.00	877.74	1,584.29	6	65	18
D	1.28	2.40	2.86	532.87	1,563.75	1,999.93	8	29	18
E	2.00	2.40	2.47	460.20	868.91	1,421.15	6	52	18
F	3.60	2.40	4.25	791.85	700.07	1,788.02	7	104	18
G	2.80	2.40	7.60	1,416.01	1,609.57	3,467.12	13	78	18
H	2.00	2.40	2.48	462.07	735.32	1,289.80	5	52	18
I	0.80	2.40	1.53	285.06	1,287.40	1,370.15	5	13	18
J	1.20	2.40	2.75	512.37	1,535.09	1,945.79	8	26	18
K	2.60	2.40	4.13	769.49	1,078.59	2,112.46	8	72	18
L	1.20	2.40	1.19	221.72	877.94	970.20	4	26	18
M	5.20	2.40	3.09	575.72	519.86	1,617.35	6	156	18
Totales	**27.88**		**37.22**					**738.00**	

Muros primer nivel en dirección X										
Muro	**t (m)**	**L (m)**	**H (m)**	**Atr (m^2)**	**CargaLateral (kg)**	**Carga Grav. /kg/m)**	**Corte vertical (kg)**	**Cant. Tornillos**	**Cant. por muro**	**Espaciamiento (cm)**
1	0.076	7.52	2.40	11.76	1,457.68	1,286.14	5,301.11	20	356	12
2	0.076	1.00	2.40	6.39	792.25	4,410.84	4,106.82	15	30	12
3	0.076	1.00	2.40	6.83	846.77	4,671.65	4,368.08	16	30	12
4	0.076	2.00	2.40	5.38	667.00	2,053.08	2,853.49	11	80	12
5	0.076	1.00	2.40	2.92	362.02	2,189.47	1,963.58	8	30	12
6	0.076	3.80	2.40	1.87	231.84	580.23	1,248.86	5	170	12
7	0.076	1.20	2.40	3.39	419.92	1,673.74	1,844.08	7	40	12
8	0.076	2.80	2.40	5.10	632.29	1,954.88	3,278.79	12	120	12
9	0.076	2.80	2.40	1.93	239.28	1,161.06	1,830.58	7	120	12
10	0.076	5.00	2.40	3.12	386.81	1,411.33	3,714.01	14	230	12
11	0.076	2.80	2.40	5.32	659.57	1,703.52	2,950.26	11	120	12
12	0.076	2.00	2.40	1.93	239.28	860.65	1,147.79	5	80	12
Totales		**32.92**		**55.93**					**1,406.00**	

Muros segundo nivel en dirección Y										
Muro	**t (m)**	**L (m)**	**H (m)**	**Atr (m^2)**	**Carga Lateral (kg)**	**Carga Grav. /kg/m)**	**Corte vertical (kg)**	**Cant. Tornillos**	**Cant. por muro**	**Espaciamiento (cm)**
N	0.038	0.80	1.60	1.00	234.60	331.63	601.84	3	3	53
O	0.038	2.40	1.60	1.55	363.62	171.34	448.02	2	15	53
P	0.038	2.40	1.60	1.57	368.32	173.55	453.80	2	15	53
Q	0.038	1.20	1.60	1.08	253.36	238.77	481.08	2	6	53
R	0.076	3.40	2.60	1.75	410.54	136.55	546.08	2	23	87
S	0.076	1.20	2.20	1.04	243.98	229.93	585.25	3	6	73
T	0.076	0.80	2.20	0.60	140.76	198.98	466.67	2	3	73
U	0.038	0.80	1.60	0.70	164.22	232.14	421.29	2	3	53
V	0.038	3.40	1.60	1.48	347.20	115.48	359.71	2	23	53
W	0.038	4.40	1.60	1.82	426.96	109.74	396.68	2	30	53
X	0.076	2.00	2.20	1.03	241.63	136.63	402.43	2	12	73
Totales		**22.80**		**13.62**					**138.00**	

Muros segundo nivel en dirección X										
Muro	**t (m)**	**L (m)**	**H (m)**	**Atr (m^2)**	**Carga Lateral (kg)**	**Carga Grav. /kg/m)**	**Corte vertical (kg)**	**Cant. Tornillos**	**Cant. por muro**	**Espaciamiento (cm)**
14	0.038	7.52	1.60	10.18	371.31	358.99	1,428.79	6	160	18
15	0.076	2.80	2.10	13.12	478.67	1,242.91	2,099.08	8	54	23
16	0.076	2.80	2.10	9.23	336.89	874.77	1,477.35	6	54	23
17	0.076	3.80	2.10	13.12	478.67	915.83	2,004.60	8	77	23
18	0.076	2.80	2.10	7.94	289.73	752.32	1,270.54	5	54	23
19	0.076	2.80	2.10	9.78	356.87	926.66	1,564.97	6	54	23
20	0.076	2.00	2.10	7.85	286.45	1,041.30	1,342.07	5	36	23
21	0.076	7.52	1.60	16.35	596.61	576.82	2,295.77	9	160	18
Totales		**32.04**		**87.56**					**648.90**	

Diseño de panel a corte entre conexiones

1. Demanda a corte de dientes entre paneles de muros

$Fvd := 5288.19\ kg$

2. Dimensiones de panel

$d := 2.4\ m$

$b := \frac{3}{4}\ in$

$I := \frac{1}{12} \cdot b \cdot d^3 = 0.0219\ m^4$

3. Primer momento

$Q := \frac{b \cdot d^2}{8} = 0.014\ m^3$

4. Esfuerzo admisible

$Fv := 16\ \frac{N}{mm^2}$

$Fv' := Fv \cdot 0.73 \cdot 2.40 \cdot 0.9 \cdot 0.8 = 20.183\ \frac{N}{mm^2}$

5. Capacidad del módulo de corte horizontal

$esptor := 15\ cm$ $\quad Planov := 2$ $\quad Captorv := 91.5\ kg$

$Fvch := \frac{Fv' \cdot I \cdot b}{Q \cdot g} = 62730.81\ kg$ $\quad Fvctor := \frac{d}{esptor} \cdot Planov \cdot Captorv = 2928\ kg$

$Revision := \text{if}(Fvch < Fvctor, \text{“NO OK”}, \text{“OK”}) = \text{“OK”}$

6. Demanda/Capacidad

si DC<100%

$DC := \frac{Fvd}{Fvch} = 8.43\%$

7. Conexiones entrepiso y techo a pared externa e interna

Diseño de conexión horizontal de entrepiso a pared

1. Demanda para la tracción y corte de los tornillos

1.1 Demanda a corte de panel crítico de entrepiso

$CRU := 593\ \frac{kg}{m^2}$ $Lpanelcrit := 3.6\ m$ $Atpanel := 0.4\ m$

$dpanel := 9.5\ cm$

$$Fvd := \frac{CRU \cdot Atpanel \cdot Lpanelcrit}{2} = 426.96\ kg$$

1.2 Cálculo de tracción y corte que recibe el tornillo

$Mvd := Fvd \cdot 16\ cm = 68.314\ kg \cdot m$

$$Ftd := \frac{Mvd}{\frac{dpanel}{2}} = 1438.18\ kg \qquad Fvd := Ftd = 1438.18\ kg$$

2. Capacidad de extracción del tornillo

Tipo de tornillo: TBS8100

$Ftc := 300\ kg$

$$ntornillost := \frac{Ftd}{Ftc} = 5$$

3. Capacidad de corte del tornillo

Tipo de tornillo: TBS8100

$Fvc := 208\ kg$

$$ntornillosc := \frac{Fvd}{Fvc} = 7$$

4. Resultados

$cantidadreal := \max(ntornillost, ntornillosc) = 7$

$$Stor := \frac{Atpanel}{cantidadreal} = 6\ cm$$

Diseño de conexión de entrepiso y techo a las paredes

1. Demanda de corte para paredes

$Cbasal1 := 3759.29\ kg$ $Cbasal2 := 3180.23\ kg$

1.1 Entrepiso

$Lmex := 27.38\ m$ $Lmey := 35.32\ m$

$Lmemin := min(Lmex, Lmey) = 27.38\ m$

$Ctote := \frac{Cbasal1}{Lmemin} = 137.301\ \frac{kg}{m}$

1.2 Techo

$Lmtx := 22.80\ m$ $Lmty := 35.32\ m$

$Lmtmin := min(Lmtx, Lmty) = 22.8\ m$

$Ctott := \frac{Cbasal2}{Lmtmin} = 139.484\ \frac{kg}{m}$

1.3 Combinados Entrepiso

$CTOT := Ctote + Ctott = 276.784\ \frac{kg}{m}$

1.4 Corte Unitario Entrepiso y Techo

$C1m := \frac{CTOT \cdot 1\ m}{2} = 138.392\ kg$ $C2m := \frac{Ctott \cdot 1\ m}{2} = 69.742\ kg$

2. Capacidad del tornillo y cantidad en entrepiso

Tipo Tornillo VGZ7180 $Ctor := 83\ kg$ Pag 98

$Cantor := \frac{C1m}{Ctor} = 2$ $Espaciamiento := \frac{1\ m}{Cantor} = 60\ cm$

2. Capacidad del tornillo y cantidad en techo

Tipo Tornillo VGZ7180 $Ctor := 83\ kg$ Pag 98

$Cantor := \frac{C2m}{Ctor} = 1$ $Espaciamiento := \frac{1\ m}{Cantor} = 1\ m$

8. Conexión de placa T a cimiento

Diseño de conexión de placa a concreto

1. Demanda de tracción para tornillos en placa

$Cbasaln1 := 6934.71\ kg$ $Cbasaln2 := 3195.20\ kg$

$CRUtecho := 265.30\ \frac{kg}{m^2}$ $CRUentre := 593\ \frac{kg}{m^2}$

$Atytot := 55.93\ m^2$

Se utilizara el muro #1 Crítico del primer nivel

1.1 Corte crítico

$Lmcrit := 7.52\ m$ $Hm := 2.40\ m$ $Atyn1 := 11.76\ m^2$

$Atyn2 := 10.18\ m^2$

$Clateral := \frac{Atyn1}{Atytot} \cdot Cbasaln1 = 1458.11\ kg$

$Wml := (CRUentre \cdot Atyn1) + (CRUtecho \cdot Atyn2) = 9674.434\ kg$

1.2 Tracción crítica

$Reaccpos := \frac{Wml}{2} = 4837.217\ kg$

$Reaccbasalneg := \frac{Clateral \cdot Hm}{1\ m} = 3499.47\ kg$

2. Capacidad del perno a tracción, cantidad y espaciamiento

Tipo: Perno de expansion AB1 Cod. FE210415

Página 334

Tipo de espaciamiento M8

$Tperno := 3.6\ \frac{kN}{g} = 367.098\ kg$ $Cperno := 4.8\ \frac{kN}{g} = 489.464\ kg$

$Cantpernos := \frac{Reaccbasalneg}{Tperno} = 10$ $Cantpernos2 := \frac{Clateral}{Cperno} = 3$

$Straccion := \frac{Lmcrit}{Cantpernos} = 79\ cm$ $Scorte := \frac{Lmcrit}{Cantpernos2} = 3\ m$

$Sgeneral := min(Straccion, Scorte) = 79\ cm$ por dos filas en cada punto de la placa

Diseño de conexión de panel a placa nivel 1

1. Demanda de corte para tornillos que atraviesan placa

$Cbasal1 := 6742.10\ kg$ $Cbasal2 := 3127.21\ kg$

$Lmx := 27.38\ m$ $Lmy := 35.32\ m$ $Attot := 55.93\ m^2$

$Lmmin := min(Lmx, Lmy) = 27.38\ m$ $Atcrit := 11.76\ m^2$

$Ctot := \frac{Cbasal1}{Lmmin} = 246.242\ \frac{kg}{m}$ $Ctot2 := \frac{Atcrit}{Attot} \cdot Cbasal1 = 1417.61\ kg$

$CRUtecho := 251.78\ \frac{kg}{m^2}$ $CRUentre := 593\ \frac{kg}{m^2}$

$Atot := 80.31\ m^2$

$Aml := \frac{Atot}{Lmmin} = 2.933\ \frac{m^2}{m}$

$Wml := (CRUentre \cdot Aml) + (CRUtecho \cdot Aml) = 2477.877\ \frac{kg}{m}$

1.1 Demanda a corte

$Vd := \frac{Ctot \cdot 1\ m}{2} = 123.12\ kg$

2. Capacidad del tornillo y cantidad

Perno de 1/4" x 4.5" $Vctor := 145\ kg$ Pag 117

$Cant := \frac{Vd}{Vctor} = 0.85$

$Espaciamiento := \frac{1\ m}{Cant} = 1.2\ m$

9. Conexión de placa T a entrepiso

Diseño de conexión

1. Datos generales

$Cbasal := 3180.23\ kg$ $CRUentre := 593\ \frac{kg}{m^2}$

$CRUtecho := 265.30\ \frac{kg}{m^2}$

$Atot := 103.59\ m^2$

1.1 Muros del primer nivel

$Lmx := 22.80\ m$ $Lmy := 35.32\ m$ $Hm := 2.20\ m$

$Lmmin := min(Lmx, Lmy) = 22.8\ m$

$$Ctott := \frac{Cbasal \cdot 1\ m}{Lmmin} = 139.484\ kg$$

$$Aml := \frac{Atot}{Lmmin} = 4.543\ \frac{m^2}{m}$$

$Wml := CRUtecho \cdot Aml = 1205.37\ \frac{kg}{m}$

1.2 Tracción unitaria

$$Reacc := \frac{Wml \cdot 1\ m}{2} = 602.685\ kg$$

$$C1m := \frac{Ctott \cdot Hm}{1\ m} = 306.864\ kg$$

2. Capacidad del tornillo a tracción y corte, cantidad y espaciamiento

Tipo de tornillo: TBS880 $Ttor := 230\ kg$ $Ctor := 130\ kg$ Pag 36

Corte

$$Canttor := \frac{C1m}{Ctor} = 2$$

$$Espaciamiento := \frac{1\ m}{Canttor} = 42\ cm$$

Tracción

$$Canttor2 := \frac{Reacc}{Ttor} = 3$$

$$Espaciamiento2 := \frac{1\ m}{Canttor2} = 38\ cm$$

Diseño de conexión de panel a placa nivel 2

1. Demanda de corte para tornillos que atraviesan placa

$Cbasal1 := 6939.52\ kg$ $Cbasal2 := 3180.23\ kg$

$Lmx := 22.80\ m$ $Lmy := 35.32\ m$

$Lmmin := min(Lmx, Lmy) = 22.8\ m$

$Ctot := \frac{Cbasal2}{Lmmin} = 139.484\ \frac{kg}{m}$

$CRUtecho := 265.30\ \frac{kg}{m^2}$

$Atot := 103.59\ m^2$

$Aml := \frac{Atot}{Lmmin} = 4.543\ \frac{m^2}{m}$

$Wml := CRUtecho \cdot Aml = 1205.37\ \frac{kg}{m}$

1.1 Demanda a corte

$C1m := \frac{Ctot \cdot 1\ m}{2} = 69.742\ kg$

2. Capacidad del tornillo y cantidad

Perno de 1/4" x 4.5" $Ctor := 145\ kg$

$Cantor := \frac{C1m}{Ctor} = 0.48$

$Espaciamiento := \frac{1\ m}{Cantor} = 2\ m$

10. Diseño de viga dintel

Diseño de el módulo crítico del

1. Integracion de Entrepiso cargas

4 NSE 2 - pag 11

Tabiques interiores

$CMtab := 75 \ \frac{kg}{m^2}$ $Pc := 78 \ \frac{kg}{m^2}$ *ASCE*

Peso propio de la madera

$Ppmad := 600 \ \frac{kg}{m^3} \cdot 9.5 \ cm = 57 \ \frac{kg}{m^2}$

Carga muerta total

$Muerta := CMtab + Ppmad + Pc = 210 \ \frac{kg}{m^2}$

Carga viva

$Viva := 200 \ \frac{kg}{m^2}$

2. Métodos de diseño LRFD

3. Esfuerzos admisibles

$Fb := 15 \ \frac{N}{mm^2}$ $Em := 12000 \ \frac{N}{mm^2}$

4. Combinaciones de carga basado en AGIES NSE 2

4.1 Combinación de carga mayorada para el método LRFD

$CR1 := 1.4 \cdot Muerta = 294 \ \frac{kg}{m^2}$

pag.45 - cap. 4.2.1

$CR2 := 1.3 \cdot Muerta + 1.6 \cdot Viva = 593 \ \frac{kg}{m^2}$

$CRu := \max(CR1, CR2) = 593 \ \frac{kg}{m^2}$

5. Analizar el entrepiso formado por módulos

5.1 Módulo

$Atmod := 3 \ m$ $Lmod := 2 \ m$

LRFD

$Wum := CRu \cdot Atmod = (1.779 \cdot 10^3)\ \frac{kg}{m}$

$Mum := 0.125 \cdot Wum \cdot Lmod^2 = 889.5\ kg \cdot m$

6. Coeficientes de ajuste

Factor de duración de carga

$CD := 1$ AWC

Factor de humedad

$CM := 0.8$

Factor de tamaño

$CF := 1$

7. Propiedades de la sección

7.1 Módulo

$Bmod := 7.6\ cm$ $tmod := 30\ cm$

$Imod := \frac{1}{12} \cdot Atmod \cdot tmod^3$ $Smod := \frac{1}{6} \cdot Bmod \cdot tmod^2$

8. Momentos resistentes (LRFD)

8.1 Módulo

Momento Resistente del módulo

$\phi b := 0.90$

$KF := \frac{2.16}{\phi b} = 2.4$

$\lambda := 0.8$

$Fb' := Fb \cdot CM \cdot CF \cdot \phi b \cdot KF \cdot \lambda = 20.736\ \frac{N}{mm^2}$

$M'rmod := Fb' \cdot Smod = 23.639\ kN \cdot m$

Demanda vs capacidad de los elementos

9.1 Módulo (si < 1)

LRFD

$$DCrtab := \frac{Mum \cdot g}{M'rmod} = 0.369$$

10. Chequeo de las deflexiones

10.1 Deflexion en el tablón

$$\delta modm := \frac{5}{384} \cdot \frac{(Muerta \cdot g \cdot Atmod) \cdot Lmod^4}{Em \cdot Imod} = 0.002\ cm$$

$$\delta modv := \frac{5}{384} \cdot \frac{(Viva \cdot g \cdot Atmod) \cdot Lmod^4}{Em \cdot Imod} = 0.002\ cm$$

11. Control de deflexiones

11.1 Chequeo del módulo

Por muerta más viva

$$\Delta myv := \frac{Lmod}{240} = 0.833\ cm$$

$$R1 := \text{if}(\Delta myv > \delta modm + \delta modv, \text{“OK”}, \text{“No Cumple”})$$

$$R1 = \text{“OK”}$$

Por viva

$$\Delta v := \frac{Lmod}{360} = 0.556\ cm$$

$$R2 := \text{if}(\Delta v > \delta modv, \text{“OK”}, \text{“No Cumple”})$$

$$R2 = \text{“OK”}$$

11. Diseño de cimentación.

a. Cimentación por pilotes.

Viga crítica

Luz =	12.17 ft

Peralte mínimo de la viga

dmin=L/18.5=	7.89 in
d=	12.00 in
bw=	8.00 in

Cargas sobre la viga

Ancho Tributario=	8.00 ft
WDL=	***2.89 kips/ft***
losa=	0.59 kips/ft
peso propio=	0.10 kips/ft
Muros de corte=	2.19 kips/ft

WLL=	***0.32 kips/ft***

Combinaciones de carga

1.4DL=	4.04 kips/ft
1.3Dl+1.6LL=	4.26 kips/ft
Wu=	4.26 kips/ft

Efectos máximos

$M(+)=wL^2/11$	57.39 kips-ft
$M(-)=wL^2/10$	63.13 kips-ft
V=1.15WL/2	29.83 kips

Acero mínimo y su capacidad

Asmin=200bw*d/Fy=		0.32 in2
	Fy=	60.00 ksi
BarraNo=		4.00
Cantidad		2.00 un
As=		***0.39*** in2
Conclusión		**Ok**

fiMn=fi(AsFy(d-a/2)		213.37 k-in
	fi=	0.90
	As	0.39 in^2
	fy=	60.00 psi
	f'c=	4.00 psi
	d=	10.50 in
	bw=	8.00 in
	a=	0.87

Separación entre barrillas	
Distancia al borde=	2.25 in
Distancia entre barillas de extremo=	3.50 in
Separacion entre barras=	3.00 in

Diseño de refuerzo flexionante

Momento	k-ft	fiMn,k-ft
Positivo	57.39	67.97
Negativo	63.13	67.97

As,in2	*Barra No*	*Cantidad*	*a,in*	**D/C**
1.77	6.00	2.00	3.90	**0.84**
	6.00	2.00		
1.77	6.00	2.00	3.90	**0.93**
	6.00	2.00		

Resistencia en corte	
fiV=fi*2*raizf'c*bw*d=	7.97 kips
Vu=	29.83 kips
Conclusión	***Refuerzo de corte requerido***

Según el chequeo realizado, las vigas van a necesitar pasadores de corte para asegurar su resistencia.

Corte que resiste el acero de refuerzo

Barra No.	4.00
Fy	40 ksi
As	0.393 in^2
S	5 in
fi Vs=fi*As*Fy*d/S	24.7275 kips
Vt	32.70 kips
D/C	*0.91*
Conclusión	***OK***

Se va a requerir refuerzo de barra No.4 a cada 5in.

Revision de las deflexiones

Carga Viva

$d=0.0069WL^4/EI$	0.022 in
W_{LL}	0.32 k/in
L	146.03 in
E=57100 raiz(f´c)	114200 ksi
Icr=0.35Ig	403.20 in^4
Deflexion permisible L/360	0.405626667 in
Conclusión	***Ok***

Carga Muerta +Viva

$d=0.0069WL^4/EI$	0.218 in
$W_{DL}+W_{LL}$	3.21 k/in
L	146.03 in
E=57100 raiz(f´c)	114200 ksi
Icr=0.35Ig	403.20 in^4
Deflexion permisible L/240	0.61 in
Conclusión	***Ok***

Carga sobre el pilote=	**53.94**	**Kips**
Capacidad de carga de punta		
$Qp= 1.3cN_c+qN_q+0.3\gamma BN_\gamma$	**17,799.90**	**libra/ft2**
c=	430.00	libra/ft2
q = γDf	1,647.15	libra/ft2
γ=	179.35	libra/ft3
Nc=	14.80	
Nq=	5.60	
Nγ=	2.25	
B=	2.50	ft
Df=	9.18	ft
ϕ=	25.00	°
Qp=	**87,330.74**	**Libras**
	87.33	**Kips**

Primero se chequea la capacidad de carga de punta del pilote con la ecuación de capacidad de carga de Terzaghi que se encuentra anteriormente.

Los coeficientes Nc, Nq y Ny se obtienen de la Tabla 25.

Tabla 25. Factores de capacidad de carga modificados de Terzaghi.

ϕ	N_c'	N_q'	N_γ'	ϕ	N_c'	N_q'	N_γ'
0	5.70	1.00	0.00	26	15.53	6.05	2.59
1	5.90	1.07	0.005	27	16.30	6.54	2.88
2	6.10	1.14	0.02	28	17.13	7.07	3.29
3	6.30	1.22	0.04	29	18.03	7.66	3.76
4	6.51	1.30	0.055	30	18.99	8.31	4.39
5	6.74	1.39	0.074	31	20.03	9.03	4.83
6	6.97	1.49	0.10	32	21.16	9.82	5.51
7	7.22	1.59	0.128	33	22.39	10.69	6.32
8	7.47	1.70	0.16	34	23.72	11.67	7.22
9	7.74	1.82	0.20	35	25.18	12.75	8.35
10	8.02	1.94	0.24	36	26.77	13.97	9.41
11	8.32	2.08	0.30	37	28.51	15.32	10.90
12	8.63	2.22	0.35	38	30.43	16.85	12.75
13	8.96	2.38	0.42	39	32.53	18.56	14.71
14	9.31	2.55	0.48	40	34.87	20.50	17.22
15	9.67	2.73	0.57	41	37.45	22.70	19.75
16	10.06	2.92	0.67	42	40.33	25.21	22.50
17	10.47	3.13	0.76	43	43.54	28.06	26.25
18	10.90	3.36	0.88	44	47.13	31.34	30.40
19	11.36	3.61	1.03	45	51.17	35.11	36.00
20	11.85	3.88	1.12	46	55.73	39.48	41.70
21	12.37	4.17	1.35	47	60.91	44.45	49.30
22	12.92	4.48	1.55	48	66.80	50.46	59.25
23	13.51	4.82	1.74	49	73.55	57.41	71.45
24	14.14	5.20	1.97	50	81.31	65.60	85.75
25	14.80	5.60	2.25				

Fuente: Das. B (1999)

Luego se revisa el pilote por la fricción generada por el contacto con el suelo que lo rodea.

Fricción	
Qs = pLf	**24.80 Kips**
p=	7.85 ft
L=	9.18 ft
$f = K\sigma'_s \tan\delta$	0.34
$K = 1-\text{sen}\phi$	0.58
$\sigma'_s =$	1.65
$\delta = 0.8\phi$	20.00

La capacidad de carga última es la suma de las capacidades de soporte de punta del pilote y la fricción generada.

Capacidad de soporte última	
Qu= Qs+Qp	**112.13 Kips**
Qp=	87.33 Kips
Qs=	24.80 Kips
FS=	**2**
Qadm=	**56.06 Kips**

Se le aplica un factor de seguridad de 2 al resultado.

b. Losa de cimentación

Capacidad de carga del suelo

$q_u=cN_cF_{cs}+qN_qF_{qs}+1/2\gamma BN_\gamma F_{\gamma s}=$	**12217.21 libra/ft2**
c=	430.00 libra/ft2
q = γDf	0.00 libra/ft2
γ=	179.35 libra/ft3
Nc=	14.80
Nq=	5.60
Nγ=	2.25
B=	28.67 ft
Df=	0.00 ft
ϕ=	25.00 °
Fcs=	1.28
Fqs=	2.60
Fγs=	0.71
FS=	3.00
qneta adm=	**4072.40 libra/ft2**
	4.07 Kips/ft2

Luego de aplicarle un factor de seguridad de 3 al resultado obtenemos que la capacidad de carga neta es de 4.07Kips.

A continuación se presentan las cargas que estará soportando cada punto crítico de la losa.

Tabla 26. Carga de puntos en losa de cimentación

Puntos	Cargas	
1	35	Kips
2	35	Kips
3	35	Kips
4	35	Kips
5	35	Kips
6	35	Kips
7	35	Kips
8	35	Kips
9	35	Kips
10	35	Kips
11	35	Kips
12	35	Kips
	420	**Kips**

Fuente: Elaboración propia.

Se supone que todas las cargas que actúan en los puntos de la losa son igual a la carga más crítica que la afecta y se procede a obtener las presiones de los puntos críticos de la losa.

Tamaño de la losa	
L=	39.03 ft
B=	28.67 ft
Carga	
Q=	420.00 Kips
Momentos de inercia	
Ix=	142032.85 ft4
Iy=	76613.42 ft4
Centroides	
x=	12.27 ft
y=	17.47 ft
Excentricidad	
ex=	0.07 ft
ey=	0.05 ft
Momentos de excentricidad	
Mx=	20.664 kips-ft
My=	27.552 kips-ft

Para obtener la presión en cada punto se utiliza la siguiente ecuación.

$$q = \frac{Q}{A} \pm \frac{M_x x}{I_y} \pm \frac{M_y y}{I_x}$$

A partir de la ecuación anterior podemos obtener la siguiente tabla, y luego obtener el crítico para comparar con el admisible neto.

Tabla 27. q crítico en cada punto.

Punto	Q/A	x	Myx/Iy		y	Mxy/Ix		q
A	0.3754	-14.27	-0.00513		-19.47	-0.00283		0.3674
B	0.3754	-4.71	-0.00169		-19.47	-0.00283		0.3709
C	0.3754	0.03	0.00001		-19.47	-0.00283		0.3726
D	0.3754	-4.71	-0.00169		-19.47	-0.00283		0.3709
E	0.3754	14.40	0.00518		-19.47	-0.00283		0.3777
F	0.3754	-14.27	-0.00513		19.56	0.00285		0.3731
G	0.3754	-4.71	-0.00169		19.56	0.00285		0.3765
H	0.3754	0.03	0.00001		19.56	0.00285		0.3782
I	0.3754	-4.71	-0.00169		19.56	0.00285		0.3765
J	0.3754	14.40	0.00518		19.56	0.00285		0.3834

Fuente: Elaboración propia.

qcrítico= 0.383 Kips/ft2
qadm= 4.07 Kips/ft2
Conclusión ***OK***

Se procede obteniendo el espesor de la losa por medio del punzonamiento generado por las cargas y el muro. Es importante tomar en cuenta que para este paso si se toma en cuenta el verdadero tamaño del muro para obtener el punzonamiento que genera en la losa.

Espesor de la losa
U= 35 Kips

bo= (2*(3+d))+(2*(147.6+d/2)
bo=6+2d+295.2+d
Bo=301.2+3d

Según el ACI 318-95:

$$\phi V_c \geq V_u$$

Entonces,

$$\phi Vc=\phi*4*\sqrt{f'c}*bo*d$$

ϕVc≥Vu
f'c= 3200 lb/pulg
ϕVc=ϕ4√f'cbod 192.33 *(301.2+3d)d ≥35000
(301.2+4d)d= 181.97889
4d^2+301.2d= 181.97
d= 0.6 in

Al despejar “d” de la ecuación se obtiene el espesor requerido de la losa para soportar el corte generado por los muros.

Sin embargo hay que tomar en cuenta el refuerzo que va a necesitar la losa para soportar los momentos. Entonces el espesor mínimo para la misma será de 5 pulgadas.

Luego se obtienen las reacciones promedio del suelo hacia la losa.

Reacción promedio del suelo	
Franja ABGF	
q1=(qA + qB)/2	0.3691
q2=(qF+qE)/2	0.3748
Franja BCDIHG	
q1=(qB+qC+Qd)/3	0.3714
q2=(qG+qF+QH)/3	0.3760
Franja DEJI	
q1=(qC+qD)/2	0.3743
q2=(qJ+qI)/2	0.3800

Entonces,

Reacción del suelo por franja		
ABFE=	138.8	Kips
BCDGIH=	139.4	Kips
CDHG=	140.7	Kips
TOTAL	**419.0**	**Kips**

419Kips ≈ 420Kips

Para finalizar es necesario diseñar los refuerzos de acero que va a requerir la losa.

Refuerzo de acero
C=0.85F'cab
T=Asfy
C=t
Compresión
0.85F'cab=Asfy

f'c=	3 Kips
fy=	60
As=	0.51 a

Mediante el diagrama de momentos se obtiene el momento máximo positivo.

Momento positivo

Mu=ϕAsfy(d-a/2)

Mu=	0.74

8.91= (0.9)(60)(0.51a)(5-(a/2)

a=	0.065 in

Entonces

As=	0.003 in^2/ft

Segun ACI 318-95
As mínimo=200/fy

As mínimo=	0.2 in^2/ft

Entonces se deben de utilizar varillas No.4 a 10 pulgadas en la parte inferior de la cimentación.

Momento negativo
Mu=ϕAsfy(d-a/2)

Mu=	15.08

15.08= (0.9)(60)(0.51a)(5-(a/2)

a=	0.12 in

Entonces

As=	0.061 in^2/ft

Segun ACI 318-95
As mínimo=200/fy

As mínimo=	0.2 in^2/ft

Entonces se deben de utilizar varillas No.4 @ 10 in en la parte superior de la cimentación.

C. Diseño de instalaciones

1. Cálculo de sistema solar fotovoltaico

Carga de consumo diario

Estimación de carga						
Descripción	Unidades	Potencia (AC)	Potencia (DC)	Horas Uso	Energía/día	carga/día
Luminaria	20		12	4	960	80
Tomacorriente	51		12	4	2448	204
Electrodomestico	10		16	4	640	40

L= 324.7058824 Ah/dia

Cálculo del generador fotovoltaico

$$N = N_{pp} * N_{ps}$$

$$N_{ps} = \frac{V_{ng}}{V_{np}}$$

$$N_{pp} = \frac{L}{I_m * G}$$

N= 4

Cálculo de la batería

$$C_{Ah} = \frac{L * d}{P_d}$$

Cah= 600 amp

Cálculo del generador de carga

$$I_{mg} = N_{pp} * I_{cc}$$

Img= 400 amp

2. Cálculo de sistema de agua potable

I.- Cálculo de la población del proyecto

Total de cuartos humedos	6	Cantidad de Habitaciones del Proyecto	
		TotHAb = (2+2+1)	5
		Habitantes por Habitación:	2
		Total Habitantes de Casa	4
		Personal de Servicio y Mantenimiento	1
		Total habitantes del proyecto	**5**
Unidades Habitacionales			
Casa 3 Habitaciones	3		
Total Apartamentos	**3**		**5 habitantes**

II.- Cálculo de los gastos del proyecto

Qmedio diario = (Población x Dotación) / 86,400

Qmáx. diario = Cvd x Qmedio diario

Qmax. horario = Cvh x Qmáx. diario

Qdiseño = (24 / Tb) x Qmáx. diario

Dotación =	200	lts / hab / día
Población =	5	habitantes
Cvd = Coeficiente de variación diaria =	1.20	
Cvh = Coeficiente de variación horaria =	1.5	
Tb = Tiempo de bombeo diario =	12	horas

Qmedio diario=	(5	x	200	) / 86,400 =		**0.0 lps**
Qmáx. diario =	1.20	x	0.0	=		**0.0 lps**
Qmax. horario =	1.5	x	0.0	=		**0.0 lps**
Qdiseño =	(24	/	12	)x	0.0 =	**0.0 lps**

Nota : El gasto de diseño se utiliza para determinar el diámetro de la línea de conducción y seleccionar el equipo de bombeo. El Gasto Máximo Diario sirve de referencia para calcular el volumen de regularización requerido en el

proyecto, mientras que el Gasto Máximo Horario se ocupa en la revisión del funcionamiento y diseño hidráulico de la red de distribución.

III .- Cálculo del diámetro de la línea de conducción

Para el caso de gastos pequeños y lineas de conducción relativamente cortas, se aplica la siguiente formula para obtener el diámetro económico de la línea de conducción.

$$D = 1.30 \sqrt{Qdiseño}$$

Q = Gasto de diseño, en lps
D = Diámetro de la conducción, en pulgadas

$$D = 1.30 \sqrt{0.0} = 0\ "$$

$$D = 0\ "$$

IV .- Cálculo de cisterna

Demanda diaria	1000 lts
Volumen cisterna Nivel Intreso	2000 lts
Total Volumen Almacenamiento	**2000 lts**

Días de previsión de agua por consumo diario por habitante **2 días**

3. Cálculo de sistema de drenajes de aguas negras y pluviales

Memoria de cálculo

I .- Cálculo de la Población de Proyecto

Total de cuartos humedos	6	Cantidad de Habitaciones del Proyecto	
		TotHAb = (2+2+1)	5
		Habitantes por Habitación:	2
		Total Habitantes de Casa	4
		Personal de Servicio y Mantenimiento	1
		Total habitantes del proyecto	5
Unidades Habitacionales			
Apartamentos 3 Habitaciones	3		
Total Apartamentos	3		**5 habitantes**

II .- Cálculo de los Gastos de Proyecto

	Dotación =	200	lts / hab / día
	Población =	5	habitantes
	Producción de lodos =	45.4	lts / hab / día
	Tiempo de Retención =	24	horas
Q= dotación x No de personas	Q=	1000	lts
		1	mts3

III .- Volúmen de aguas negras s/sólidos

V1 = 80% caudal	V1=	800	lts
		0.8	mt3
V2=V1 + (No personas x producción de lodos)	V2=	1027	lts
Dimensión del tratamiento		1.027	mt3

Se propone la instalación de un biodigestor anaeróbico de 1.0 M3

Carga orgánica de ingreso	DBOi	350	mg/lt DBO
Carga orgánica salida, remoción 85%	DBOs	52.5	mg/lt DBO
Carga orgánica removida	DBOr	297.5	mg/lt DBO
Eficiencia del diseño %	DBOr/DBOi	85	%
Carga orgánica diaria - 52g	DBOi en kg x (hab)x(dotación/p)	0.35	kgDBO/día
Producción de lodos - 80%		0.28	kgDBO/día
Cantidad de lodos a remover produce 0.15kg expresado en kg DBO removido al 2.5%	(DBOi-DBOs en kg) x (0.15)	0.042	kg lodos/día
		0.00105	m3/día
		0.19163	m3/semestre
		0.38325	m3/año

D. Costos.

1. Cimentación

a. Cimentación con pilotes.

Estructura de vigas
Mano de obra

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
2 Albañiles	Día	6	Q250.00	Q1,500.00
1 Ayudante	Día	6	Q75.00	Q450.00
			Total	**Q1,950.00**

El transporte de materiales está integrado únicamente en los costos de la estructura de vigas, sin embargo este será utilizado para transportar todos los materiales que serán utilizados para la cimentación con pilotes.

Transporte

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Transporte de materiales	Camionada	4	500	Q2,000.00
			Total	**Q2,000.00**

Vigas de 0.30mX0.20m con 8 hierros No.6 con estribos No.4@0.13m
Materiales

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Cemento	Saco	30	Q76.90	Q2,307.00
Arena	M^3	1.87	Q91.16	Q170.47
Piedrín	M^3	2.24	Q196.10	Q439.26
Madera	Tabla	83	Q65.00	Q5,395.00
Repello	M^3	0.125	Q1,167.48	Q145.94
Agua	Sisterna	1	Q350.00	Q350.00
Varilla No.6	Unidad	88	Q87.00	Q7,656.00
Varilla No.4	Unidad	110	Q50.00	Q5,500.00
Alambre de amarre	Libra	25	Q6.00	Q150.00
			Total	**Q22,113.67**

Pilotes
Mano de obra

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
2 Albañiles	Día	6	Q125.00	Q750.00
1 Ayudante	Día	6	Q75.00	Q450.00
			Total	**Q1,200.00**

Pilotes de 0.76m con 8 hierros No.6 con confinamiento de hierro No.3 @ 0.15m

Materiales

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Cemento	Saco	144	Q76.90	Q11,073.60
Arena	M^3	9	Q91.16	Q820.44
Piedrín	M^3	10.8	Q196.10	Q2,117.88
Lamina	Unidad	12	Q150.00	Q1,800.00
Repello	M^3	0.125	Q1,167.48	Q145.94
Agua	Cisterna	2	Q350.00	Q700.00
Varilla No.6	Unidad	56	Q87.00	Q4,872.00
Varilla No.3	Unidad	120	Q20.00	Q2,400.00
Alambre de amarre	Libra	25	Q6.00	Q150.00
			Total	**Q24,079.86**

Losa

Mano de obra

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
2 Albañiles	Día	8	Q125.00	Q1,000.00
1 Ayudante	Día	8	Q75.00	Q600.00
			Total	**Q1,600.00**

Materiales

Losa de vigueta y bovedilla de poliestireno + 0.05m de concreto.

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Vigueta y bovedilla	m2	80	Q90.00	Q7,200.00
Cemento	Saco	32	Q76.90	Q2,460.80
Arena	M3	2	Q91.16	Q182.32
Piedrin	M3	2.4	Q196.10	Q470.64
			Total	**Q10,313.76**

TOTAL DE CIMENTACIÓN		**Q65,057.28**

b. Losa de cimentación.

Losa

Mano de obra

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
2 Albañiles	Día	7	Q250.00	Q1,750.00
1 Ayudante	Día	7	Q75.00	Q525.00
			Total	**Q2,275.00**

Transporte

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Transporte de materiales	Camionada	2	500	Q1,000.00
			Total	**Q1,000.00**

Losa de cimentacion de 0.13m de espesor con hierros No.4 de refuerzos

Materiales

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Cemento	Saco	83.2	Q76.90	Q6,398.08
Arena	M^3	5.2	Q91.16	Q474.03
Piedrín	M^3	6.24	Q196.10	Q1,223.66
Madera	Tabla	12	Q65.00	Q780.00
Agua	Sisterna	1	Q350.00	Q350.00
Varilla No.4	Unidad	147	Q50.00	Q7,350.00
Varilla No.4	Unidad	30	Q50.00	Q1,500.00
Alambre de amarre	Libra	25	Q6.00	Q150.00
			Total	**Q18,225.78**

Hay que recordar que para este tipo de cimentación es necesario incluir la preparación del terreno y sus costos.

Preparación del terreno

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Preparación del terreno	Unidad	1	Q1,840.00	Q1,840.00
			Total	**Q1,840.00**

TOTAL DE CIMENTACIÓN	Q22,465.78

2. Fosa séptica de mampostería.

   a. Fosa séptica de mampostería.

Mano de obra

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
2 Albañiles	Dia	8	Q250.00	Q2,000.00
1 Ayudante	Dia	8	Q75.00	Q600.00
			Total	**Q2,600.00**

Excavación

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Herramientas (5% de mano de obra)	Unidad	1	Q80.00	Q80.00
			Total	**Q80.00**

Transporte

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Retiro de material	Camionada	2	Q500.00	Q1,000.00
Transporte de materiales	Flete	1	Q750.00	Q750.00
			Total	**Q1,750.00**

Losa inferior de fosa séptica de concreto de 0.1X2.7X1.25m con electromalla de 3/3
Materiales

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Cemento	Saco	6	Q76.90	Q461.40
Arena	M3	0.36	Q91.16	Q32.82
Piedrín	M3	0.44	Q196.10	Q86.28
Madera	Tabla	5	Q65.00	Q325.00
Repello	M3	0.125	Q1,167.48	Q145.94
Agua	Sisterna	1	Q350.00	Q350.00
Electromalla de 6X6 de 3/3	Unidad	1	Q277.00	Q277.00
			Total	**Q1,678.44**

Losa superior de fosa séptica de concreto de 0.10X2.4X0.95m con electromalla de 6X6 de 2/2
Materiales

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Cemento	Saco	3	Q76.90	Q230.70
Arena	M3	0.17	Q91.16	Q15.50
Piedrín	M3	0.2	Q196.10	Q39.22
Repello	M3	0.085	Q1,167.48	Q99.24
Electromalla de 6X6 de 2/2	Unidad	1	Q319.00	Q319.00
			Total	**Q703.65**

*Para la integración de costos de la losa superior de la fosa séptica, no se toma en cuenta la madera para la formaleta, ya que se pueden utilizar las caras opuestas de la madera utilizada para hacer la losa inferior.

Muros de block de 0.14X0.19X0.39m fundido con aplicación de mortero de repello e impermeabilizante
Materiales

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Cemento	Saco	6	Q76.90	Q461.40
Arena	M3	0.345	Q91.16	Q31.45
Piedrín	M3	0.414	Q196.10	Q81.19
Block de 0.14X0.19X0.39m	Unidad	115	Q3.68	Q423.20
Mortero de pega	Saco	4	Q38.00	Q152.00
Repello	M3	0.2	Q1,167.48	Q233.50
Impermeabilizante	Saco	2	Q335.00	Q670.00
			Total	**Q2,052.73**

*El impermeabilizante incluido en la integración de costos del muro de block, es utilizado también para impermeabilizar las dos losas y la pantalla de la fosa séptica, por lo anterior no se encontrará el impermeabilizante en las integraciones de costos respectivas.

Columnas de concreto de 0.15X0.15m con 4 hierros No.3 con estribos No.2 @ 0.2m Materiales

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Cemento	Saco	1	Q76.90	Q76.90
Arena	M3	0.055	Q91.16	Q5.01
Piedrín	M3	0.066	Q196.10	Q12.94
Hierro No.3	Varilla	4	Q21.37	Q85.48
Hierro No.2	Varilla	16	Q8.25	Q132.00
Madera	Tabla	3	Q65.00	Q195.00
Alambre de amarre	libra	1	Q6.00	Q6.00
			Total	**Q513.34**

Solera de remate de concreto de 0.15X0.15m con 4 hierros No.3 con estribos No.2 @ 0.2m Materiales

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Cemento	Saco	1	Q76.90	Q76.90
Arena	M3	0.062	Q91.16	Q5.65
Piedrín	M3	0.075	Q196.10	Q14.71
Hierro No.3	Varilla	5	Q21.37	Q106.85
Hierro No.2	Varilla	25	Q8.25	Q206.25
Madera	Tabla	5	Q65.00	Q325.00
Alambre de amarre	Libra	1	Q6.00	Q6.00
			Total	**Q741.36**

Cortina de concreto con refuerzo de eletromalla de 6X6 de 3/3

Materiales

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Cemento	Saco	1	Q76.90	Q76.90
Arena	M3	0.06	Q91.16	Q5.47
Piedrín	M3	0.075	Q196.10	Q14.71
Electromalla de 6X6 de 3/3	Unidad	1	Q277.00	Q277.00
			Total	**Q374.08**

Conductos de tuberia PVC de 4''.

Materiales

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Tubo	Unidad	1	Q181.75	Q181.75
T's	Unidad	3	Q18.31	Q54.93
Pegamento PVC	Bote	1	Q80.00	Q80.00
			Total	**Q236.68**

Campo de absorción.

Materiales

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Grava	M3	0.5	Q196.10	Q98.05
Arena/Limo	M3	0.5	Q91.16	Q45.58
Geotextil	M2	2	Q18.00	Q36.00
			Total	**Q143.63**

COSTO TOTAL	**Q10,923.90**

b. Fosa séptica de polietileno.

Mano de obra

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
2 Albañiles	Dia	4	Q250.00	Q1,000.00
1 Ayudante	Dia	4	Q75.00	Q300.00
			Total	**Q1,300.00**

Excavación

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Herramientas (5% de mano de obra)	Unidad	1	Q40.00	Q40.00
			Total	**Q40.00**

Transporte

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Retiro de material	Camionada	2	Q400.00	Q800.00
Transporte de materiales	Flete	1	750	Q750.00
			Total	**Q1,550.00**

Fosa séptica

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Fosa séptica de polietileno	Unidad	1	Q3,665.53	Q3,665.53
			Total	**Q3,665.53**

Conductos de tuberia PVC de 4''.

Materiales

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Tubo	Unidad	1	Q181.75	Q181.75
Pegamento PVC	Bote	1	Q80.00	Q80.00
			Total	**Q181.75**

Campo de absorción.

Materiales

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Grava	M3	0.5	Q196.10	Q98.05
Arena/Limo	M3	0.5	Q91.16	Q45.58
Geotextil	M2	2	Q18.00	Q36.00
			Total	**Q143.63**

COSTO TOTAL	**Q6,905.91**

3. Instalaciones.

Cuantificación de material eléctrico				
Material	Cantidad	Unidad	Precio unitario	Total
Cable Negro # 12	200	ml	GTQ8.00	GTQ1,600.00
Cable Blanco # 12	200	ml	GTQ8.00	GTQ1,600.00
Cable verde # 12	100	ml	GTQ8.00	GTQ800.00
Cable Rojo # 14	70	ml	GTQ6.00	GTQ420.00
Cable Amarillo # 12	150	ml	GTQ6.00	GTQ900.00
Cable cobre verde # 8	25	ml	GTQ22.00	GTQ550.00
Cajas rectangulares	68	unidad	GTQ2.50	GTQ170.00
Cajas octogonales	18	unidad	GTQ4.00	GTQ72.00
Cajas cuadradas	2	unidad	GTQ4.00	GTQ8.00
Varilla de cobre	1	unidad	GTQ300.00	GTQ300.00
mordaza	1	unidad	GTQ25.00	GTQ25.00
Tablero	1	unidad	GTQ150.00	GTQ150.00
Placas completas	51	unidad	GTQ25.00	GTQ1,275.00
Flipones	8	unidad	GTQ45.00	GTQ360.00
			TOTAL	**GTQ8,230.00**

Cuantificación de material de drenajes				
Material	Cantidad	unidad	Precio unitario	Total
Tubo PVC 3"	20	unidad	GTQ24.00	GTQ480.00
Tubo PVC 2"	5	unidad	GTQ18.00	GTQ90.00
Tubo PVC 1 1/2	2	unidad	GTQ15.00	GTQ30.00
Reducidor de 3" a 2"	5	unidad	GTQ12.00	GTQ60.00
Reducidor de 3 a 1 1/2"	5	unidad	GTQ10.00	GTQ50.00
Codo PVC 3"	20	unidad	GTQ16.00	GTQ320.00
Tee PVC 3"	20	unidad	GTQ18.00	GTQ360.00
Sifón de 2"	3	unidad	GTQ25.00	GTQ75.00
Pegamento PVC	1.5	galón	GTQ340.00	GTQ510.00
			TOTAL	**GTQ1,975.00**

Cuantificación de material de plomería				
Material	Cantidad	Unidad	Precio unitario	Total
Tubería PVC 1"	20	unidad	GTQ17.00	GTQ340.00
Tubería PVC 3/4"	8	unidad	GTQ15.00	GTQ120.00
Tubería PVC 1/2	8	unidad	GTQ13.00	GTQ104.00
Reducidor PVC 1 a 3/4	12	unidad	GTQ8.00	GTQ96.00
Reducidor PVC 1 a 1/2	20	unidad	GTQ6.50	GTQ130.00
Niple hg 4"	20	unidad	GTQ9.00	GTQ180.00
Niple HG 2"	20	unidad	GTQ7.00	GTQ140.00
Codos PVC 1"	30	unidad	GTQ2.00	GTQ60.00
Codos PVC 3/4"	20	unidad	GTQ1.40	GTQ28.00
Codos PVC 1/2"	40	unidad	GTQ0.60	GTQ24.00
Adaptador hembra 1/2	20	unidad	GTQ3.00	GTQ60.00
Cinta teflón	15	unidad	GTQ1.50	GTQ22.50
Pegamento PVC	3	galón	GTQ340.00	GTQ1,020.00
Pegamento CPVC	0.5	galón	GTQ400.00	GTQ200.00
Tubo CPVC 1.2	10	unidad	GTQ21.00	GTQ210.00
Codo CPVC 1/2	20	unidad	GTQ1.60	GTQ32.00
Tee CPVC 1/2	10	unidad	GTQ3.00	GTQ30.00
Tee PVC 1/2	10	unidad	GTQ1.50	GTQ15.00
Codo HG 1/2	20	unidad	GTQ4.00	GTQ80.00
			TOTAL	**GTQ2,891.50**

Contrato de mano de obra instalaciones eléctricas					
UNIDADES	**C 1N**	**C 2N**	**total C**	**valor**	**total**
Gas	1		1	Q42.00	Q42.00
Teléfono	2	5	7	Q38.00	Q266.00
Televisión	3	5	8	Q38.00	Q304.00
calentador solar	1		1	Q38.00	Q38.00
caja registro de tel y cable	1	1	2	Q37.00	Q74.00
tubos subidas fuerza, ilumi, tel ,tv, interco	9		9	Q10.00	Q90.00
Fuerza 110	10	10	20	Q50.00	Q1,000.00
Iluminación normal	18	18	36	Q50.00	Q1,800.00
Iluminación 3W	3	3	6	Q12.00	Q72.00
colocar, alambrar, bornear, flipones, papelería, tierra	1		1	Q350.00	Q350.00
caja soquet+niple+rh+gan+ tierra+ alambrar	1		1	Q150.00	Q150.00
					Q4,186.00

Contrato de mano de obra para Instalaciones eléctricas e hidráulicas				
Contratista	Especialidad	días	Precio día	Total
Xxxxxxxx	Plomero	10	GTQ225.00	GTQ2,250.00
Xxxxxxxx	Plomero	10	GTQ225.00	GTQ2,250.00
Xxxxxxxx	Plomero	10	GTQ225.00	GTQ2,250.00
Xxxxxxxx	Ayudante	10	GTQ150.00	GTQ1,500.00
			Total	**GTQ8,250.00**

Los costos de material e instalación de los sistemas eléctricos, de plomería y drenaje se resumen en el siguiente cuadro:

Cuadro resumen de costos			
Material	Costo	Mano de obra	Costo
Eléctrico	GTQ8,230.00	Eléctrico	GTQ4,186.00
Plomería	GTQ2,891.50	Plomería	GTQ4,500.00
drenaje	GTQ1,975.00	Drenaje	GTQ3,750.00
Total	GTQ13,096.50	Total	GTQ12,436.00
Total		**GTQ25,532.50**	

4. Mano de obra total.

Mano de obra total

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
2 Albañiles	Dia	57	Q250.00	Q14,250.00
1 Ayudante	Dia	57	Q75.00	Q4,275.00
			Total	**Q18,525.00**

5. Costo de transporte.

Transporte de materiales de planta a obra.

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Transporte del material	Camionada ($10m^3$)	5	Q500.00	Q2,500.00
			Total	**Q2,500.00**

6. Preparación del terreno.

   a. Losa de cimentación.

Mano de obra

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
2 Albañiles	Día	4	Q250.00	Q1,000.00
1 Ayudante	Día	4	Q75.00	Q300.00
			Total	**Q1,300.00**

Limpieza del terreno

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Herramientas (5% de mano de obra)	Unidad	1	Q40.00	Q40.00
			Total	**Q40.00**

Retiro de material

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Retiro de material	Camionada	1	Q500.00	Q500.00
			Total	**Q500.00**

Compactación del terreno

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Rodo de compatación	Día	1	Q500.00	Q500.00
			Total	**Q500.00**

COSTO TOTAL	**Q2,365.00**

7. Armado de la estructura.

Armado de la estructura

Mano de obra

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
2 Albañiles	Dia	42	Q250.00	Q10,500.00
1 Ayudante	Dia	42	Q75.00	Q3,150.00
			Total	**Q13,650.00**

Transporte

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Transporte del material	Camionada ($10m^3$)	5	Q500.00	Q2,500.00
			Total	**Q2,500.00**

Instalaciones electricas´ e hidraulicas´

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Instalaciones electricas´ e hidraulicas´	globas	1	Q20,071.50	Q20,071.50
			Total	**Q20,071.50**

Materiales

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Paneles para primer nivel	Panel	112	Q800.00	Q89,600.00
Paneles para segundo nivel	M^2	116	Q600.00	Q69,600.00
Paneles para entrepiso	M^2	80	Q540.00	Q43,200.00
Paneles para techo	M^2	85	Q540.00	Q45,900.00
Tornillo para madera No.9 (panel a panel) L=3in	Docena	1440	Q3.00	Q4,320.00
Tornillo para madera No.12 (panel a panel) L=3in	Docena	1300	Q4.50	Q5,850.00
Tornillo para madera No.7 (losa a losa) L=3.5in	Docena	1174	Q2.50	Q2,935.00
Tornillos para madera No.14 (losa a primer nivel) 8in	Docena	267	Q12.00	Q3,204.00
Perno de 1/4'' y L=4'' (losa a segundo nivel)	Docena	61	Q4.00	Q244.00
Tornillo para madera No.14 (Techo a muro) 8in	Docena	121	Q12.00	Q1,452.00
Tornillo HBS8180 de D=8mm y L=180mm (esquinas)	Docena	495	Q10.00	Q4,950.00
Tornillo HBS6160 de D=6mm y L=160mm (esquinas)	Docena	182	Q8.00	Q1,456.00
Perno de 1/4'' y L=4.5'' (muro a losa de cimentacion)	Docena	67	Q5.00	Q335.00
Perfil de acero de 1/2''	M	58.41	Q25.00	Q1,460.25
Varillas HAS de 3/8'' de L=8.6cm	Varilla (1m)	16	Q6.93	Q110.88
Pegamento Epoxico	Bolsa	2	Q117.36	Q234.72
Alquiler de andamios	Global	1	Q2,500.00	Q2,500.00
			Total	**Q277,351.85**

TOTAL DE ARMADO DE ESTRUCTURA	**Q313,573.35**