



UNIVERSIDAD DE JAÉN

**ESCUELA POLITÉCNICA
SUPERIOR
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
MECÁNICA Y MINERA**

TESIS DOCTORAL

**EJECUCIÓN DE VIVIENDAS
SOCIALES TIPO ALOJAMIENTOS DE
EMERGENCIA EN ZONAS RURALES
AISLADAS DE EL SALVADOR**

**PRESENTADA POR:
MATILDE MORENO COBO**

**DIRIGIDA POR:
DR. D. JUAN DE DIOS CARAZO ÁLVAREZ
DR. D. JUAN JOSÉ JIMÉNEZ DE CISNEROS Y FONFRÍA**

JAÉN, 12 DE SEPTIEMBRE DE 2017

ISBN 978-84-9159-147-4

UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior



TESIS DOCTORAL

EJECUCIÓN DE VIVIENDAS SOCIALES TIPO
ALOJAMIENTOS DE EMERGENCIA EN ZONAS
RURALES AISLADAS DE EL SALVADOR.

Programa de Doctorado: Ingeniería y Arquitectura

Área de conocimientos: Mecánica de los Medios Continuos y
Teoría de Estructuras

Línea de Investigación: Sostenibilidad y Eficiencia Energética

Doctorando: Matilde Moreno Cobo

Director: Juan de Dios Carazo Álvarez

Codirector: Juan José Jiménez de Cisneros y Fonfría

Jaén, Junio 2017

Esta memoria tiene el visto bueno del Director y Codirector del doctorando

Jaén, a _____ de Junio de 2017

Fdo: Juan de Dios Carazo Álvarez

Dr. Ingeniero Industrial

Fdo: Juan José Jiménez de Cisneros y Fonfría

Dr. Ingeniero Industrial

Tribunal nombrado por el Magnífico y Excelentísimo Sr. Rector de la Universidad de Jaén, el díade.....de.....

Presidente D.

Vocal D.

Secretario D.

Realizado el acto de defensa y lectura de la Tesis

el día....de.....de.....

en.....

CALIFICACIÓN:.....

EL PRESIDENTE

LOS VOCALES

EL SECRETARIO

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.	15
RESUMEN	17
INTRODUCCIÓN GENERAL	19
OBJETIVOS	27
METODOLOGÍA	29
ESTRUCTURA	35
CAPÍTULO 1. ESTADO DEL ARTE Y TECNOLOGÍA. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO LIVIANO EN ARQUITECTURA RESIDENCIAL Y VIVIENDA SOCIAL DE RÁPIDO MONTAJE.	37
1.1 INTRODUCCIÓN	39
1.2 ARQUITECTURA POPULAR EN E.E.U.U.	43
1.2.1 TIPOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS LIVIANAS EN EL SIGLO XIX.	43
1.2.1.1 <i>Balloon frame</i>	43
1.2.1.2 <i>Stick Style</i>	44
1.2.1.3 <i>Shingle Style</i>	44
1.2.1.4 Cast-Iron Building	45
1.2.2 TIPOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS EN EL SIGLO XX.	46
1.2.2.1 Steel framing	47
1.2.3 EXPERIENCIAS EN LA ARQUITECTURA SOCIAL NORTEAMERICANA EN EL SIGLO XX.	51
1.2.3.1 Casas Kit O Casas Por Catálogo: Sears, Roebuck and Co. 1908-1940.	51
1.2.3.2 Wright: 1911-1931	55
1.2.3.3 Casa Dymaxion. R. Buckminster Fuller. 1927	56
1.2.3.4 “The Packaged House System”, Konrad Wachsmann y Walter Gropius, General Panel Corporation, New York, 1941-1952.	57
1.2.3.5 La gran expansión. 1930-1945	59
1.2.3.6 <i>Case Study House</i> 1945-1966	59
1.2.3.7 La decadencia: 1945-1990	60
1.2.3.8 <i>Levitt Homes. Levittown, Nueva York. 1957.</i>	61
1.2.3.9 <i>Casas modulares de hoy</i>	62
1.3 ARQUITECTURA POPULAR EN EUROPA.	63
1.3.1 TIPOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS LIVIANAS EN EUROPA.	63
1.3.1.1 Casas prefabricadas antes de 1.900	63
1.3.1.2 Walter Gropius en Europa S. XX	64
1.3.1.2.1 Casa Exposición de Berlín, 1931. Walter Gropius.	64
1.3.1.2.2 Vivienda experimental para la Werkbund Exhibition, Walter Gropius, Stuttgart, 1927.	66
1.3.1.2.3 Colonia Törten, Walter Gropius, 1928.	67
1.3.1.2.4 Weissenhof Housing, Walter Gropius, Stuttgart, 1927	68
1.3.1.2.5 Baukasten im Großen, Walter Gropius y Adolf Meyer, Weimar, 1922	69
1.3.1.3 Otras iniciativas europeas en el S. XX	71
1.3.1.3.1 Casa de acero Muche-Paulick. Georg Muche y Richard Paulick. 1926.	71
1.4 ARQUITECTURA POPULAR EN SUDAMÉRICA.	73
1.4.1 CHILE.	74
1.4.2 EL SALVADOR.	81

CAPÍTULO 2. PROPUESTA CONSTRUCTIVA DE VIVIENDA AUTOSUFICIENTE Y SOSTENIBLE.	87
2.1 INTRODUCCIÓN	89
2.2 CONSIDERACIONES CONSTRUCTIVAS.	101
2.2.1 ELEMENTOS DEL SISTEMA.	103
2.2.2 PROCESO CONSTRUCTIVO.	106
2.2.2.1 Diagrama de flujo.	106
2.2.2.2 Fases del proceso.	107
2.2.2.3 Recursos necesarios.	111
2.2.2.3.1 Mano de obra.	111
2.2.2.3.2 Maquinaria y equipos.	111
2.2.2.3.3 Almacenamiento.	112
2.2.2.4 Esquema del proceso constructivo.	113
2.2.3 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.	114
2.2.3.1 Seguridad frente a los agentes atmosféricos.	114
2.2.3.2 Seguridad frente a acciones directas del hombre.	114
2.2.3.3 Seguridad frente al fuego.	114
2.2.3.4 Seguridad frente al sismo.	114
2.2.3.5 Contaminación atmosférica.	114
2.2.3.6 Aislamiento térmico y acústico.	115
2.2.4 ASPECTOS ECONÓMICOS.	115
2.2.5 VENTAJAS E INCONVENIENTES DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO.	115
2.3 CONSIDERACIONES BIOCLIMÁTICAS.	119
2.3.1 ESTUDIO BIOCLIMÁTICO EN EL SALVADOR.	119
2.3.1.1 Condiciones climatológicas de El Salvador	119
2.3.1.2 Zonas climáticas de El Salvador.	120
2.3.1.3 Condición de la precipitación.	120
2.3.1.4 Comportamiento de la temperatura ambiente	122
2.3.1.5 Comportamiento de la humedad relativa.	123
2.3.1.6 Comportamiento normal de la luz solar y el brillo solar anual	123
2.3.1.7 Comportamiento del viento. Mapas eólicos.	125
2.3.2 MÉTODOS DE BIOCLIMATIZACIÓN PARA EL SALVADOR.	127
2.4 DISEÑO ARQUITECTÓNICO Y BIOCLIMÁTICO DE VIVIENDA DE EMERGENCIA.	133
2.4.1 MEMORIA JUSTIFICATIVA Y PROGRAMA DE NECESIDADES.	133
2.4.1.1 Identificación del problema.	133
2.4.1.2 Emplazamiento del proyecto. Entorno físico.	134
2.4.1.3 Datos del usuario o promotor.	135
2.4.1.4 Programa de necesidades.	135
2.4.1.5 Descripción de la vivienda de emergencia.	136
2.4.1.6 Criterios bioclimáticos aplicados al diseño.	139
2.4.1.7 Tecnología aplicada al diseño.	140
2.4.2 DISEÑO ARQUITECTÓNICO.	141
2.4.2.1 Detalles constructivos.	149
2.4.3 PROPUESTA DE NEGOCIO. DISEÑO DE PLANCHAS DE GAS EFICIENTE.	167
2.4.5 PRESUPUESTO.	169

2.5 ANÁLISIS COMPARATIVO.	171
2.6 MÉTODOS DE DIFUSIÓN DEL SISTEMA.	173
2.6.1 MARKETING DIGITAL [REDES SOCIALES, CATÁLOGOS...]	173
CAPÍTULO 3. PROGRAMA EXPERIMENTAL UCA-JA. PROYECTO DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL PARA EL DESARROLLO DE CASA AUTOSUFICIENTE Y SOSTENIBLE PARA REGIONES AISLADAS EN SOLUCIÓN DE ESTRUCTURA METÁLICA.	175
3.1 INTRODUCCIÓN.	177
3.1.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.	177
3.1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.	181
3.2 SISTEMA CONSTRUCTIVO.	183
3.3 MODELO EXPERIMENTAL.	187
3.3.1 INTRODUCCIÓN.	187
3.3.2 ASPECTOS RELEVANTES EN LA DEFINICIÓN DEL MODELO EXPERIMENTAL.	187
3.3.3 GEOMETRÍA Y CONSTRUCCIÓN DEL MODELO.	188
3.3.4 DETERMINACIÓN DE LAS DEMANDAS SOBRE EL MODELO EXPERIMENTAL.	194
3.4 MODELO NUMÉRICO.	197
3.4.1 INTRODUCCIÓN	197
3.4.2 ASPECTOS RELEVANTES EN LA DEFINICIÓN DEL MODELO NUMÉRICO.	202
3.5 PROGRAMA EXPERIMENTAL.	207
3.5.1 ENSAYO A MATERIALES.	207
3.5.1.1 Perfil de acero formado en frío.	207
3.5.1.2 Lámina de fibrocemento.	208
3.5.1.3 Hormigón de solera de fundación.	212
3.5.2 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO (SECUENCIA CONSTRUCTIVA).	214
3.5.3 INSTRUMENTACIÓN DEL MODELO A ESCALA NATURAL.	220
3.5.3.1 Ubicación de transductores de desplazamiento y desplazamiento de control.	220
3.5.3.2 Ubicación de las galgas extensométricas.	221
3.5.4 SISTEMA DE CARGA.	224
3.5.5 HISTORIA DE DESPLAZAMIENTOS PROYECTADA.	227
3.6 RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO DEL MODELO A ESCALA NATURAL.	229
3.6.1 HISTORIA DE DESPLAZAMIENTOS Y CARGAS CORRESPONDIENTES.	229
3.6.2 DESCRIPCIÓN DE LA EVOLUCIÓN DEL DAÑO Y DE LA FALLA DEL MODELO.	231
3.6.3 RELACIONES CARGA – DESPLAZAMIENTO OBTENIDAS.	241
3.6.4 INFORMACIÓN REGISTRADA POR LAS GALGAS EXTENSOMÉTRICAS.	243
3.7 ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS Y COMPARACIONES CON EL MODELO ANALÍTICO.	245
3.7.1 CRITERIOS Y PARÁMETROS DE RESISTENCIA.	245
3.7.2 CRITERIOS Y PARÁMETROS DE RIGIDEZ.	245
3.7.3 CRITERIOS Y PARÁMETROS DE COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL.	246
3.7.4.1 Comportamiento de los elementos de conexión “Pins”.	249
3.7.4 APLICACIÓN DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES AL MODELO DISEÑADO.	251

CAPÍTULO 4. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS, CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS DE TRABAJO.	253
4.1 CONCLUSIONES GENERALES.	255
4.2 RECOMENDACIONES Y LÍNEAS FUTURAS DE TRABAJO	265
BIBLIOGRAFÍA	279

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Efectos de los terremotos de 2001 en El Salvador. Escuela de El Limón. [1].....	20
Figura 2. Diagrama de Gantt. Comparativa de modelos arquitectónicos. [2]	22
Figura 3. Detalles ensayo experimental. Paredes cargadas en el mismo plano. Baran y Alica. [13] .	23
Figura 4. Modelo de pared sometida a cargas verticales y horizontales. Lange y Naujorks [34].	25
Figura 5. Respuesta típica de paneles bajo cargas laterales. Nithyadharan y Kalyanaraman [35]. ...	25
Figura 6. Sistema constructivo liviano Plycem, Nueva Esperanza, estancia en El Salvador, 2014. ...	26
Figura 7. Imágenes del prototipo de vivienda durante la estancia en Coimbra, Portugal, 2011.	29
Figura 8. Miembros participantes del programa experimental. Laboratorio de Estructuras Grandes. (UCA), El Salvador, 2014.	30
Figura 9. Modelo a escala real. Laboratorio de Estructuras Grandes. UCA, El Salvador.	31
Figura 10. Proceso de colocación de galgas extensométricas y marco de carga.	32
Figura 11. The Winslow House, Massachussets, 1624. [43]	40
Figura 12. Sistema constructivo balloon frame. Vivienda de dos plantas. [46].....	43
Figura 13. Iglesia St Marys en Chicago, 1.833. [46]	43
Figura 14. The John N. A. Griswold House, Newport Art Museum in Newport, 1862 [46].....	44
Figura 15. Victorian Stick style architecture by Richard Morris Hunt. [46]	44
Figura 16. Barrio de Haight-Ashbury, en San Francisco. [46].....	45
Figura 17. William Watts Sherman House. [46]	45
Figura 18. La Commissioner's House, Royal Naval Dockyard. [48].....	46
Figura 19. Casa Lovell Health House, Los Ángeles, Richard Neutra, 1922-1926. [46]	46
Figura 20. Exposición de prototipo de vivienda con sistema Steel Framing. [49].....	48
Figura 21. Esquema estructural del sistema Steel Framing. [50]	48
Figura 22. Modelos de casas Sears del catálogo "Modern Homes", 1908. [51]	51
Figura 23. Modelos de casas Sears del catálogo "Modern Homes", 1928-1931. [51].....	52
Figura 24. Sears Home nº 13394c-13394d, 1934. [51].....	53
Figura 25. Portada del catálogo de 1916 de Gordon-Van Tine. [51]	53
Figura 26. Modelos de casas Sears del catálogo "Modern Homes", 1.940. [51]	55
Figura 27. Modelos de "American System-Built Houses". [46]	55
Figura 28. Carteles de modelos de "American System-Built Houses". [46]	56
Figura 29. Prototipo Casa Dymaxion. [46]	56
Figura 30. Planta Casa Dymaxion. [46].....	56
Figura 31. Perspectiva de vivienda tipo A. [50].....	57
Figura 32. Esquema de ensamblaje de paneles. [52].....	57
Figura 33. Perspectiva interior de un modelo de vivienda. [52]	58
Figura 34. Dibujos de distintas Case Study House. [57].....	59
Figura 35. Imágenes de viviendas construidas Case Study House. [57].....	60
Figura 36. Exposición de los 3.300 componentes que formaban una Casa Lustron, 1949. [46].....	60
Figura 37. Transporte de los componentes de una Casa Lustron. [46].....	60
Figura 38. Modelos Levitt Homes, 1957 [46]	61
Figura 39. Imágenes de la vivienda Portable Colonial Cottage. [46]	63
Figura 40. Diferentes modelos de Casa de Cobre, Exposición de Berlín, Walter Gropius, 1931.	64
Figura 41. Construcción Modelo de Casa de Cobre, Walter Gropius, 1931. [61].....	64
Figura 42. Perspectiva Casa de Cobre. [61]	64
Figura 43. Dibujo en planta de tres modelos de vivienda. Casa de Cobre, Gropius, 1931. [53]	65
Figura 44. Casa nº 17 para la Werkbund Exhibition, Walter Gropius, Stuttgart, 1927. [62].....	66
Figura 45. Imágenes de Casa nº 17 para la Werkbund Exhibition, Gropius, Stuttgart, 1927. [62].	66
Figura 46. Imágenes de vivienda de la Colonia Törten, Walter Gropius, 1928. [64].....	67
Figura 47. Planta de una vivienda, Gropius, Exposición Weissenhof Siedlung, Stuttgart, 1927. [66] 68	
Figura 48. Imágenes de vivienda, Gropius, Exposición Weissenhof Siedlung, Stuttgart, 1927. [66].	68
Figura 49. Sistema constructivo Baukasten im Großen, Gropius y Adolf Meyer, Weimar, 1922. [67] 69	
Figura 50. Esquema de crecimiento, prototipo Baukasten im Großen, Gropius y Meyer, 1922. [67].	70
Figura 51. Prototipo de vivienda Baukasten im Großen, Gropius y Meyer, Weimar, 1922. [67].....	70

Figura 52. Cartel Casa de acero, Muche-Paulick. Georg Muche y Richard Paulick. 1926. [68].....	71
Figura 53. Planta Casa de acero, Muche-Paulick. Georg Muche y Richard Paulick. 1926. [68]	71
Figura 54. Vivienda experimental CORVI en bloque de madera, Chile, 1959-1962. [45].....	75
Figura 55. Vivienda experimental CORVI, Casa Cimeta, Chile, 1959-1962. [45].....	76
Figura 56. Vivienda experimental CORVI, Casa Cholguán, Chile, 1959-1962. [45].....	76
Figura 57. Vivienda experimental CORVI Casa Desco, Chile, 1960. [45]	77
Figura 58. Vivienda experimental CORVI Casa madera terciada Imasa, Chile, 1960. [45].....	77
Figura 59. Detalles constructivos de la Casa Elton, Chile, 1956. [45]	78
Figura 60. Imágenes del prototipo construido Technopanel, Chile, 2010. [45].....	79
Figura 61. Prototipo construido Casa Marco Polo. [69]	80
Figura 62. Construcción modelo TECHO, Comunidad Zona Verde, Nuevo Cuscatlán, 2016. [71]....	82
Figura 63. Tipología de vivienda Plycem. [71]	85
Figura 64. Detalle interior de vivienda tipología Plycem. [71]	85
Figura 65. Imágenes de ciudades destruidas en Siria y Perú. [74] [40].....	89
Figura 66. Viviendas sociales, Padre Pedro Opeka, Akamasoa, Madagascar, 2013. [75].....	90
Figura 67. Mapa de Centroamérica. [6]	91
Figura 68. Mapa de los departamentos en los que se divide El Salvador. [6]	92
Figura 69. Departamento de la Libertad. Límite de la zona de estudio. [6]	93
Figura 70. Porcentaje del tipo de vivienda en la zona Nueva San Salvador (Santa Tecla). [76].....	94
Figura 71. Zona afectada en Las Colinas, Santa Tecla, El Salvador, terremoto 2001. [78].....	96
Figura 72. Lluvia media a escala nacional, 2017 y la norma climatológica 1981-2010. [88].....	98
Figura 73. Visita a las instalaciones de PLYCEM, estancia en El Salvador, Enero 2014.	101
Figura 74. Visita a Colonia Nueva Esperanza, Sistema constructivo PLYCEM, El Salvador, 2014. 102	
Figura 75. Interior de vivienda, Colonia Nueva Esperanza, sistema PLYCEM, El Salvador, 2014. .102	
Figura 76. Diagrama de flujo del proceso constructivo Plycem 2000. [87]	106
Figura 77. Diferentes módulos de láminas Plycem; de pared, ventana y puerta. [87].....	109
Figura 78. Esquema del proceso constructivo Plycem. [87]	113
Figura 79. Promedios mensuales de humedad relativa y precipitación, Santa Tecla. [95].....	121
Figura 80. Lluvia anual acumulada en 2015 y su normal climatológica. [95].....	121
Figura 81. Promedios mensuales de temperatura, Santa Tecla. [95].....	122
Figura 82. Comportamiento de la temperatura media, 2015, en valles medios calurosos. [95]	122
Figura 83. Comportamiento de la humedad relativa anual 2015. [95]	123
Figura 84. Mapa de brillo solar. Proyecto SWERA. [89]	124
Figura 85. Mapa de radiación solar. Proyecto SWERA. [89]	124
Figura 86. Mapa eólico de El Salvador elaborado por NREL.	125
Figura 87. Orientación de una manzana de viviendas diseñada para esta tesis.	128
Figura 88. Sistemas de ventilación. Flujo del aire en el interior de la vivienda.	129
Figura 89. Sistema de energía solar térmica. agosto 2010. [41]	130
Figura 90. Sistema de Captación de Agua Pluvial en Techos (SCAPT). [41].....	131
Figura 91. Vista en 3d del modelo inalámbrico de la estructura y modulación de perfiles.	141
Figura 92. Imagen en 3d de la 1ª fase de dos viviendas de emergencia adosadas.	142
Figura 93. Imagen en 3d de viviendas de emergencia en distintas fases, sin cubierta.	142
Figura 94. Modulación de la parcela. Malla de 0,61 x 0,61 m.....	143
Figura 95. Esquema de zonificación. 1ª Fase de vivienda de emergencia.	144
Figura 96. Imagen en 3d de la 1ª fase de la vivienda de emergencia. Galería sin cubrir.	145
Figura 97. Imagen en 3d de la 1ª fase de la vivienda de emergencia. Galería cubierta.....	145
Figura 98. Esquema de zonificación. 2ª Fase de vivienda de emergencia.....	146
Figura 99. Imagen en 3d de la 2ª fase de la vivienda de emergencia.	147
Figura 100. Imagen en 3d de vivienda de emergencia en 1ª y 3ª fase.....	147
Figura 101. Esquema de zonificación. 3ª Fase de vivienda de emergencia.....	148
Figura 102. Detalle 1. Forjado. Anclaje sobre cimiento. Encuentro perfil de carga y amarre[87].	149
Figura 103. Detalle 2. Forjado. Encuentro perfiles de carga de pared portante [87].	150
Figura 104. Detalle 3. Forjado. Rigidizadores entre perfiles de carga [87].	151
Figura 105. Detalle 4. Forjado. Fijación de lámina Plystone a perfiles [87].	152
Figura 106. Detalle 5. Forjado. Acabados. Colocación de losetas de vinil [87].	153

Figura 107. Detalle 6. Forjado. Distribución de láminas Plystone [87].	154
Figura 108. Detalle 7. Paredes. Ensamblaje de perfiles con separación de 610 mm [87].	155
Figura 109. Detalle 8. Paredes. Fijación láminas Plystone. Separación de perfiles 610 mm [87].	156
Figura 110. Detalle 9. Paredes exteriores. Tipo de juntas. Junta flexible [87].	157
Figura 111. Detalle 10. Paredes. Fijación de láminas Plystone. Encuentro de muros en T [87].	158
Figura 112. Detalle 11. Paredes. Fijación láminas Plystone. Encuentro de muros a 45° [87].	159
Figura 113. Detalle 12. Paredes. Fijación láminas Plystone. Encuentro de muros en esquina [87].	160
Figura 114. Detalle 13. Paredes exteriores. Vanos de ventanas. Colocación lámina Plystone [87].	161
Figura 115. Detalle 14. Paredes exteriores. Vanos de ventanas. Colocación de marcos [87].	162
Figura 116. Detalle 15. Paredes exteriores. Vanos de ventanas. Dinteles y antepechos [87].	163
Figura 117. Detalle 16. Paredes exteriores. Vanos de puertas. [87].	164
Figura 118. Detalle 17. Paredes exteriores. Vanos de puertas. Colocación de marcos [87].	165
Figura 119. Detalle 18. Paredes exteriores. Instalaciones eléctricas [87].	166
Figura 120. Modelo de plancha a gas elaborado para iniciar el proceso de simulación. [96].	167
Figura 121. Diseño final de plancha a gas eficiente. [96]	168
Figura 122. Albarán suministrado por Plycem para la ejecución del modelo experimental.	169
Figura 123. Colapso de vivienda de adobe, depto. de Cuscatlán, terremoto de 2001. [1].	178
Figura 124. Colapso de vivienda de mampostería confinada, Sonsonate, terremoto de 2001. [1].	178
Figura 125. Casas modelo, Juayúa, Sonsonate. Sist. Bloque Panel. Taishim [1].	179
Figura 126. Ensayo en Laboratorio Estructuras Grandes. Sist. Bloque Panel. Taishim [1].	179
Figura 127. Prototipo adobe reforzado. Taishim [1].	179
Figura 128. Ensayo en mesa inclinable, UES, [1].	179
Figura 129. Prototipo suelo cemento, San Julián, Sonsonate [1].	180
Figura 130 Modelos de suelo cemento [1].	180
Figura 131. Prototipo mampostería bloque de concreto [1].	180
Figura 132. Modelo ensayado [1].	180
Figura 133. Perfiles de acero de lámina delgada del sistema constructivo. [87].	184
Figura 134. Disposición de los elementos de acero en el entramado. [87].	185
Figura 135. Fijaciones y anclajes del sistema constructivo. [87].	186
Figura 136. Esquema general del modelo a escala natural ensayado.	188
Figura 137. Vistas en 3d del modelo a escala natural ensayado.	189
Figura 138. Estructura auxiliar de apoyo de techo del modelo experimental de vivienda.	190
Figura 139. Pared 1 del modelo a escala natural ensayado.	191
Figura 140. Paredes 2 y 3 y planta de cubierta de techo del modelo a escala natural ensayado.	192
Figura 141. Modelo SAP del Modelo Experimental.	204
Figura 142. Deformación del perfil PE central.	205
Figura 143. Deformación del perfil PA superior.	206
Figura 144. Variación de momentos flectores en las láminas en la dirección horizontal.	206
Figura 145. Esquema de probeta de acero para ensayo de tensión.	207
Figura 146. Esquema de probeta de fibrocemento para ensayo de flexión.	208
Figura 147. Montaje del ensayo a flexión en fibrocemento.	209
Figura 148. Falla a flexión de probeta de fibrocemento.	210
Figura 149. Instalación de medidor de deformación unitaria en probeta de fibrocemento.	210
Figura 150. Recolector de datos, ordenador y celda de carga.	211
Figura 151. Equipo técnico y personal de ensayo lámina de fibrocemento.	211
Figura 152. Inicio del ensayo del hormigón.	212
Figura 153. Rotura probeta de hormigón.	212
Figura 154. Gráfica de resistencia adquirida por el hormigón.	213
Figura 155. Recogida de datos durante el ensayo de hormigón.	213
Figura 156. Colocación del refuerzo de la Solera de Fundación.	214
Figura 157. Proceso de colado de la Solera de Fundación.	215
Figura 158. Colocación del Perfil de Anclaje de la Pared 1 sobre la Solera de Fundación.	215
Figura 159. Fijación de los perfiles verticales de la Pared 1 al Perfil de Anclaje.	216

Figura 160. Colocación del perfil de anclaje superior de la Pared 1.....	216
Figura 161. Construcción de retículas de paredes laterales y detalles de esquina superior.....	217
Figura 162. Fijación de las láminas de fibrocemento a las retículas de las paredes.....	217
Figura 163. Modelo sin cubierta de techo.....	218
Figura 164. Construcción de la retícula de la estructura del techo.....	218
Figura 165. Colocación de la retícula de la estructura del techo.....	219
Figura 166. Colocación de láminas de fibrocemento de techo vista del modelo completo.....	219
Figura 167. Ubicación y capacidades de medición de Transductores de Desplazamiento.....	220
Figura 168. Transductores de Desplazamiento en anclajes a la cimentación.....	221
Figura 169. Identificación de las galgas extensométricas en la Pared 1, Cara Oeste.....	222
Figura 170. Identificación de las galgas extensométricas en la Pared 1, Cara Este.....	222
Figura 171. Identificación de las galgas extensométricas en la Pared 2, Caras Norte y Sur.....	223
Figura 172. Identificación de las galgas extensométricas en la Pared 3, Caras Sur y Norte.....	223
Figura 173. Sistema de carga actuando sobre el modelo.....	224
Figura 174. Bomba hidráulica, mangueras y celdas de presión.....	225
Figura 175. Esquema de la distribución de la carga aplicada sobre la pared 1.....	225
Figura 176. Recolector de datos (Data Logger).....	226
Figura 177. Hojas de toma de datos en el ensayo a escala natural.....	229
Figura 178. Rotación perfil de anclaje.....	231
Figura 179. Separación lámina-perfil.....	231
Figura 180. Torsión perfil de anclaje PA.....	231
Figura 181. Patrón del levantamiento de la pared 1.....	232
Figura 182. Sistema de carga actuando sobre la Pared 1. Ciclo 18.....	232
Figura 183. Patrón de los levantamientos de las paredes 2 y 3.....	233
Figura 184. Sistema de carga actuando sobre la Pared 2. Ciclo 18.....	233
Figura 185. Agrietamientos identificados en la cara este de la pared 1.....	234
Figura 186. Fisura G1 en la cara este de la pared 1.....	234
Figura 187. Patrón de deflexión de la estructura de techo.....	235
Figura 188. Levantamiento de perfil de anclaje en pared 1 cara este.....	236
Figura 189. Separación del perfil y lámina en la intersección de las paredes 1 y 3.....	236
Figura 190. Fisura G2 en la cara este de la pared 1.....	237
Figura 191. Agrietamientos identificados en la cara oeste de la pared 1.....	237
Figura 192. Rotación y desplazamiento de la pared 1 al final de la fase de carga del ciclo 22.....	238
Figura 193. Desplazamiento experimentado por la pared 1 tras la rotación en su base.....	238
Figura 194. Colapso de la fisura G2 en la cara este de la pared 1.....	239
Figura 195. Colapso de la fisura G4 en la cara oeste de la pared 1.....	239
Figura 196. Deformaciones permanentes experimentadas por distintos perfiles de la estructura.....	240
Figura 197. Relaciones Carga – Deformación en los distintos ciclos de carga.....	241
Figura 198. Envolvente de las curvas Carga – Deformación.....	242
Figura 199. Esquema de la deformación experimentada por el modelo.....	246
Figura 200. Gráficas de deformación unitaria. Galgas extensométricas 1WV2, 1WV9 y 1WV16.....	247
Figura 201. Gráficas de deformación unitaria. Galgas extensométricas 1EV9 y 1EV16.....	248
Figura 202. Comportamiento estructural del módulo de salón de la vivienda en Sap2000.....	251
Figura 203. Comportamiento estructural del módulo de salón de la vivienda en Sap2000.....	251
Figura 204. Detalle constructivo SPFA.....	257
Figura 205. Vivienda social de 45 m2 con sistema SPFA.....	257
Figura 206. Imagen en 3d de viviendas de emergencia en distintas fases de crecimiento.....	261

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparativa entre sistema Steel Framing, sistema de madera y mampostería.	50
Tabla 2. Elementos del sistema PLYCEM	103
Tabla 3 Espesores de lámina PLYCEM de acuerdo con su uso.	104
Tabla 4. Dimensiones de las láminas PLYCEM según calibre.	104
Tabla 5. Aspectos arquitectónicos. Sistema Plycem.	105
Tabla 6. Mano de obra. Sistema Plycem.	111
Tabla 7. Maquinaria y Equipo PLYCEM.....	112
Tabla 8. Reducción sonora en función del espesor de la lámina PLYCEM.	115
Tabla 9. Evaluación funcional sistema PLYCEM.	117
Tabla 10. Régimen de vientos en El Salvador.	126
Tabla 11. Cuadro de superficies. 1ª fase de la vivienda de emergencia.	136
Tabla 12. Cuadro de superficies. 2ª fase de la vivienda de emergencia.	137
Tabla 13. Cuadro de superficies. 3ª fase de la vivienda de emergencia.	138
Tabla 14. Criterios bioclimáticos aplicados al diseño.	139
Tabla 15. Tecnologías aplicadas al diseño de la vivienda.	140
Tabla 16. Materiales utilizados en la vivienda de emergencia.....	170
Tabla 17. Cuadro comparativo de costos de vivienda de interés social en El Salvador.	171
Tabla 18. Dimensiones de probeta de acero.	207
Tabla 19. Resultado de ensayo a tensión en acero.....	208
Tabla 20. Módulo de ruptura, σ_r , del fibrocemento.....	210
Tabla 21. Módulo de elasticidad del fibrocemento.....	211
Tabla 22. Resistencia a compresión de hormigón de solera de fundación.	213
Tabla 23. Historia de desplazamientos y cargas correspondientes en el desarrollo del ensayo..	230
Tabla 24. Rigidez promedio de las distintas fases de carga del ensayo.	243
Tabla 25. Comparación de rigideces obtenidas.....	245
Tabla 26. Relación entre desplazamiento y sección de Pins en el nudo N417/(CDP10).	250
Tabla 27. Superficies construidas de las distintas fases de la vivienda de emergencia.	260

ÍNDICE DE PLANOS DE LA VIVIENDA DE EMERGENCIA.

A 1. Urbanización.	268
A 2. Planta de distribución y superficies. 1ª Fase.	269
A 3. Planta de distribución y superficies. 2ª Fase.	270
A 4. Planta de distribución y superficies. 3ª Fase.	271
A 5. Alzado frontal y trasero. 1ª, 2ª Y 3ª Fase.	272
A 6. Secciones transversales. 1ª, 2ª Y 3ª Fase.	273
A 7. Secciones longitudinales. 1ª, 2ª Y 3ª Fase.	274
A 8. Cimentación.	275
A 9. Estructura. Planta baja y cubierta.	276
A 10. Estructura. Formación de pendientes y cubierta.	277



AGRADECIMIENTOS.

Es mi deseo dedicar esta tesis a mi hijo recién nacido Beltrán por tener que compartirme en sus primeros meses de vida con la escritura de la misma y por haber sido uno de los motores que han ayudado a su finalización.

A mis padres por haberme inculcado desde que nací la capacidad de trabajo, esfuerzo y superación, apoyándome a cumplir mis sueños, por muy complicados que fueran.

En especial quisiera agradecer a una pareja de profesores, José Carlos y Patricia Hasbun, y su familia, su hospitalidad y generosidad durante la estancia en El Salvador. Sin su ayuda y dedicación exclusiva durante el mes que nos regalaron en la Universidad Centroamericana ``José Simeón Cañas``, no hubiese sido posible el desarrollo de la misma. Nunca olvidaré aquella segunda familia que dejamos al otro lado del ``charco.``

Por supuesto, no puedo dejar de agradecer a mis directores de tesis, Juan de Dios y Juan José, por haberme dado la oportunidad de vivir la extraordinaria experiencia docente en la Universidad de Jaén y haber dedicado su tiempo a cumplir este reto personal de finalizar mis estudios de postgrado.



RESUMEN

Las sacudidas sísmicas que han azotado a determinados países altamente sensibles a este tipo de catástrofes naturales, como Haití o El Salvador, sumadas a la crisis económica mundial, hacen altamente necesaria la búsqueda y el desarrollo de soluciones efectivas en vivienda de respuesta rápida, donde primen aspectos como: facilidad y rapidez de montaje, sostenibilidad y bajo coste.

El interés de la tesis que se plantea está motivado por la búsqueda de soluciones alternativas en viviendas sociales sostenibles (alojamientos de emergencia) en las zonas rurales aisladas, en las cuales se optimicen todos los parámetros de la ejecución a un coste mínimo (aprox. 100-200 \$/m²/vivienda).

Se plantea en esta tesis el análisis y evolución de sistemas constructivos livianos en la arquitectura social y su importancia en las culturas americana, europea y sudamericana.

La viabilidad para el desarrollo de esta investigación se ve favorecida por las buenas relaciones con la Universidad José Simeón Cañas (UCA), de El Salvador, que ya comenzó con la investigación de este tipo de soluciones, con el Proyecto Taishim [1], y que está especializada en el ensayo experimental frente a acciones sísmicas de diferentes tipos de estructuras. Este proyecto permitió el desarrollo de un estudio, reflejado en un artículo que fue presentado en el VIII Congreso de Construcción Metálica y Mixta [2], en el que se valoraban las ventajas e inconvenientes de materiales, como el hormigón y el adobe, ya ensayados por esta y otras iniciativas, frente a la elección de una estructura de acero liviano atornillada y de fácil ejecución. Llegando a conclusiones del porqué de la ineficacia de la mayoría de ellas y del por qué no resuelven los problemas a medio-largo plazo de forma rápida y al menor coste. Del análisis comparativo realizado, se deduce que, la solución de acero ofrece las mejores condiciones en cuanto a ahorro de mano de obra, tiempos de ejecución, durabilidad, flexibilidad, facilidad de montaje, reutilización y reciclaje. Y dependiendo de los paneles de revestimiento, los mejores resultados en cuanto a habitabilidad, salubridad, aislamiento térmico y acústico, ahorro energético y sostenibilidad. Los modelos Taishim [1], de adobe y hormigón, no respondían con las mismas garantías a los anteriores puntos.

Este estudio junto con el desarrollado en el Trabajo Tutelado de Iniciación a la Investigación TTII [3], en Diciembre de 2011, en el que se definen las necesidades y condicionantes para la ejecución de viviendas sociales en El Salvador, permite el desarrollo de una propuesta arquitectónica y constructiva con características bioclimáticas, incluida en esta tesis.

El profesor Juan José Jiménez realizó una estancia en El Salvador durante los años 2009 y 2010, donde conoció el Proyecto Taishim, solicitando al profesor Juan de Dios Carazo continuar con la línea de este trabajo mediante un Proyecto de Cooperación Internacional entre la Universidad de Jaén (UJA), y la Universidad José Simeón Cañas de El Salvador (UCA). Una vez aprobado el proyecto, se incluyó en el mismo, el desarrollo de una tesis doctoral que recogiera los resultados de la estancia desarrollada en dicha universidad entre enero-febrero de 2014, realizada por la autora de esta tesis y, cuyos resultados se reflejan en un artículo presentado en la revista *Thin-Walled Structure*.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

El objetivo fundamental del programa experimental fue evaluar la factibilidad de utilizar paneles formados a base de láminas de fibrocemento y perfiles de acero de lámina delgada como estructura principal de viviendas, con el objetivo de aprovechar las ventajas de su rápida y sencilla instalación, a través del ensayo de un modelo a escala natural. Se presenta en esta tesis la descripción del sistema constructivo de las paredes; el proceso de definición del modelo experimental a escala natural y de un modelo analítico del mismo, elaborado con un programa comercial de análisis y diseño; los resultados obtenidos del ensayo a escala natural y su comparación con el modelo analítico, así como, las conclusiones y recomendaciones derivados del programa experimental.

Por tanto, el principal objetivo de esta tesis es analizar y valorar los sistemas constructivos ensayados actualmente en la zona de El Salvador, proponiendo un modelo, basado en una estructura metálica ligera, que mejore los anteriores y optimice cada parámetro que integre la ejecución de dichas viviendas para mejorar: la habitabilidad, la seguridad estructural y constructiva, la higiene, la salubridad, el ahorro energético. Todo ello minimizando costes y espacios, fomentando la autoconstrucción y el montaje en seco, así como, contribuyendo a la sostenibilidad y eficiencia energética.

Sin embargo, esta investigación pretende poder extrapolarse a cualquier país necesitado de este tipo de instalaciones, como respuesta rápida y permanente a una situación de emergencia. Es el caso de Perú, que en la actualidad afronta uno de los desastres naturales más fuertes de las últimas décadas, con lluvias, inundaciones y aludes que afectan a 20 de las 25 regiones del país y han causado, hasta el momento, al menos 62 muertos y más de 56.293 damnificados, según los últimos informes oficiales. El Instituto Nacional de Defensa Civil (Indeci) agregó que el fenómeno climático ha afectado a más de 546.000 personas y destruido 6.500 viviendas, 27 escuelas y un centro de salud. Los informes por regiones del Indeci precisaron la situación de la emergencia en varias zonas del país, sobre todo en la costa norte, duramente afectada por las lluvias. [4]



INTRODUCCIÓN GENERAL

A lo largo de la historia, las diferentes catástrofes naturales han provocado la respuesta de los países afectados, en la búsqueda de la solución más efectiva para cada caso. Se valorarán sus ventajas e inconvenientes, llegando a conclusiones del porqué de la ineficacia de la mayoría de ellas y por qué no resuelven los problemas a medio-largo plazo de forma rápida y al menor coste.

Entre los ejemplos estudiados en el periodo de investigación previo a la tesis, y desarrollados en el Trabajo Tutelado de Iniciación a la Investigación [3], se destacan entre otros:

- Casas asequibles, un concepto modular de vivienda unifamiliar residencial. Grupo Coolhaven. Coimbra (Portugal) [5].
- Proyecto TAISHIM. Mejoramiento de la Tecnología para la Construcción y Difusión de la Vivienda Popular Sismorresistente [1].
- Casa Contedor para Haití. Shipping Container Housing.
- Reaction: para situaciones de emergencia.
- Techno Box: prefabricadas para emergencias.
- Sustenhome, casa prefabricada modular.
- Burbuja de la casa familiar.
- Vivienda Social, Strupanel World System, SPFA.
- Green Horizon: Casas de emergencia.
- Propuesta de Vivienda Experimental para el Concurso Nacional de Anteproyectos de Vivienda Experimental para Planes de Vivienda Social.
- Una casa para el Tercer Mundo por 71 euros.
- Ablenook: prefabricados de fácil montaje.
- Refugio desplegable.
- Casa temporal para los sin techo de Haití.
- Home eHome.
- Vivienda básica panel system.
- Vivienda POD+.

Tras el análisis de estos ejemplos de diseños de viviendas sociales, comprobamos que muchos de ellos obvian los condicionantes del entorno en el que se insertan, ya sea cultural, climático, físico, urbanístico...e incluso se olvidan de optimizar los procesos de ejecución al menor coste posible, de ahí que nuestro estudio arranque del análisis exhaustivo del medio físico de El Salvador, población muy afectada por graves catástrofes naturales, y de los aspectos sociales y culturales que prevalecen en la misma. No podemos olvidar la baja renta de la población rural, la gran proporción de población desempleada y la creciente delincuencia juvenil.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Así mismo, los terremotos ocurridos en enero y febrero del 2001 en El Salvador causaron graves pérdidas de vidas, 163.866 viviendas (11,68% del número total de viviendas) colapsaron y alrededor de 107.787 (7,68%) quedaron seriamente dañadas. La suma total de los daños y pérdidas materiales fue estimada en 1.603,9 millones de dólares [6]. (Véase la Figura 1).



a. Interior destruido escuela El Limón.



b. Colapso de pórtico exterior. Escuela el Limón.

Figura 1. Efectos de los terremotos de 2001 en El Salvador. Escuela de El Limón. [1]

Como respuesta a esta problemática el gobierno de El Salvador solicitó al gobierno de Japón asistencia técnica para investigar materiales y sistemas constructivos de vivienda popular, mejorados en su comportamiento sísmico. En diciembre de 2003, se firma el Acuerdo de Entendimiento Bilateral para la ejecución de proyecto de cooperación técnica “Mejoramiento de la Tecnología para la Construcción y Difusión de la Vivienda Popular Sismorresistente (TAISHIM)” [1]. La dirección de dicho proyecto fue llevada por el Laboratorio de Grandes Estructuras de la Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas” (UCA), siendo el organismo ejecutor el Ministerio de Vivienda y Ordenación Urbana de El Salvador. El proyecto finalizó exitosamente el 30 de noviembre de 2008, logrando su principal objetivo, que es mejorar la resistencia sísmica de cuatro sistemas constructivos de vivienda popular y difundirlos a la población.

Los terremotos de Haití provocaron la movilización mundial y la propuesta de multitud de soluciones [7]. Como resultado de esta catástrofe hubo más de 220.000 vidas perdidas, 1,5 millones de desplazados y del 80 al 90 por ciento de los edificios destruidos en Léogane y entre el 60 y 70 por ciento de los edificios en algunos distritos de Puerto Príncipe. La necesidad temprana de alojamiento de emergencia fue abordada mediante la distribución de tiendas de campaña y lonas a más de 437.000 familias por parte de las agencias humanitarias durante los primeros seis meses, incluyendo a 125.650 familias alcanzadas por la Cruz Roja y la Media Luna Roja. Entre las medidas de esta organización se encontraba la construcción de albergues permanentes destinados a viviendas. [8]



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Sin embargo fue el Huracán Katrina [9], ocurrido en centro-Sur de EEUU, que afectó sobre todo a la zona de Missisipi y Lousiana, en 2005, lo que marcó el punto de partida para el estudio de este tipo de soluciones industrializadas. A pesar de los inconvenientes encontrados durante el proceso y la competencia con el uso tradicional de estructuras de madera, se impuso el sistema estructural de acero conformado en frío con diferentes cerramientos para uso residencial y comercial de baja altura. Una vez que el uso de este tipo de construcciones de acero ligero empezó a implantarse, se creó el Instituto Americano del Hierro y el Acero (AISI) [10] [11] y una legislación específica que fue introduciéndose en los currículos de universidades, estando previsto que hacia fines de este siglo, el porcentaje de viviendas con estructura de acero liviano alcanzará el 25%.

El reto debería ser contar con planes de emergencia efectivos que incluyeran un “kit” de alojamiento de emergencia temporal o definitivo”, kit de montaje que contaría con las herramientas y materiales necesarios para ejecutar la unidad habitacional mínima de emergencia, que podría ser temporal o definitiva, desmontable, reutilizable y ampliable de forma modular, en función de las necesidades de la población.

Otra alternativa a la utilización de este sistema para los gobiernos, sería su aplicación en VPO o Viviendas de Protección Oficial, mediante la utilización de últimas tecnologías y su publicidad como viviendas sostenibles a bajo coste. El concepto de vivienda social alcanzaría su finalidad, promoviendo la autoconstrucción, con aplicaciones en el mercado laboral, mediante la ocupación y la formación de la población desempleada.

Durante el proceso de investigación de esta tesis doctoral, la búsqueda de una solución óptima ha llevado a la realización de un estudio reflejado en un artículo, presentado en el VIII Congreso de Construcción Metálica y Mixta [2], donde se valoran las ventajas e inconvenientes de materiales, como el hormigón y el adobe, ya ensayados por las iniciativas antes citadas, como el Proyecto Taishim [1], frente a la elección de una estructura de acero liviano atornillada y de fácil ejecución. Llegando a conclusiones del porqué de la ineficacia de la mayoría de ellas y del por qué no resuelven los problemas a medio-largo plazo de forma rápida y al menor coste posible. Del análisis comparativo realizado, se deduce que, la solución de acero ofrece las mejores condiciones en cuanto a ahorro de mano de obra, tiempos de ejecución, durabilidad, flexibilidad, facilidad de montaje, reutilización y reciclaje. Y dependiendo de los paneles de revestimiento, los mejores resultados en cuanto a habitabilidad, salubridad, aislamiento térmico y acústico, ahorro energético y sostenibilidad. Los modelos Taishim de adobe y hormigón, no respondían con las mismas garantías a los anteriores puntos.

En dicho artículo se realiza un análisis comparativo sencillo y de carácter técnico, mediante la realización de un diagrama de Gantt, véase Figura 2, en la que intervienen diferentes parámetros constructivos y los distintos sistemas y tipologías constructivos de viviendas sociales estudiadas en el proyecto Taishim. Se valoran todos aquellos aspectos considerados como relevantes en la ejecución de la vivienda, y entre ellos el coste final. (Véase Figura 2).



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

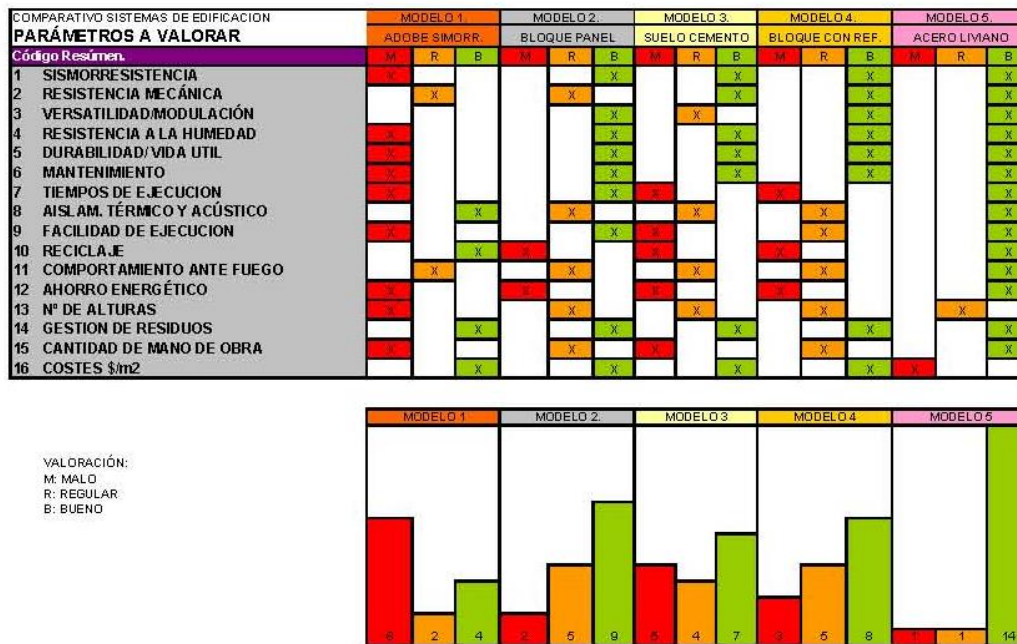


Figura 2. Diagrama de Gantt. Comparativa de modelos arquitectónicos. [2]

Como se puede observar, la solución de acero supera con diferencia a las restantes en prácticamente el 90% de los parámetros evaluados. Le sigue con cierta distancia la solución de bloque panel, ensayada por Taishim, que se convierte en la de mayor cumplimiento de dichos factores. Siendo la solución de adobe sismorresistente, la menos acertada en líneas generales.

Este análisis requiere una investigación más profunda y tendrá que ser complementado, tras la fabricación de un prototipo, con un estudio de carácter científico, basado en una matriz de optimización de decisiones, ya que el reto de nuestro estudio es, como ya se comentó anteriormente, optimizar todos los parámetros que intervienen en la ejecución de dichas viviendas sociales al mínimo coste.

También fruto de este proceso de investigación se redacta un artículo presentado en la revista *Thin-Walled Structure*, donde se recogen los resultados del Proyecto de Cooperación entre la Universidad de Jaén de España y la Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas” de El Salvador, denominado “Proyecto de casa autosuficiente y sostenible para regiones aisladas en solución de estructura metálica ligera en El Salvador”. Dicho proyecto se desarrolló mediante una estancia en dicho país, ensayando el modelo en el Laboratorio de Estructuras Grandes de dicha Universidad, especializada en ensayos sísmicos, donde también se experimentó el Proyecto Taishim.

Se presenta en este artículo la descripción del sistema constructivo de las paredes; el proceso de definición del modelo experimental a escala natural y de un modelo analítico del mismo elaborado con un programa comercial de análisis y diseño [12]; los resultados obtenidos del ensayo a escala natural y su comparación con el modelo analítico; y las conclusiones y recomendaciones derivados del programa experimental.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Para la elaboración de dicho artículo y la elección de la estructura se consultaron diversas investigaciones realizadas y su evolución en diferentes países, llegando a la conclusión de que muchas de ellas se centraban en el análisis y ensayo experimental de paneles aislados sometidos a cargas en el mismo plano (Véase Figura 3) [13], lo que provocaba esfuerzos cortantes en el mismo, o cargas perpendiculares a su plano más largo, que provocan flexión en las mismas. Sin embargo, no se encontraron resultados de la combinación de los dos tipos de esfuerzos al colocar las dos paredes más cortas perpendiculares a la de mayor longitud.

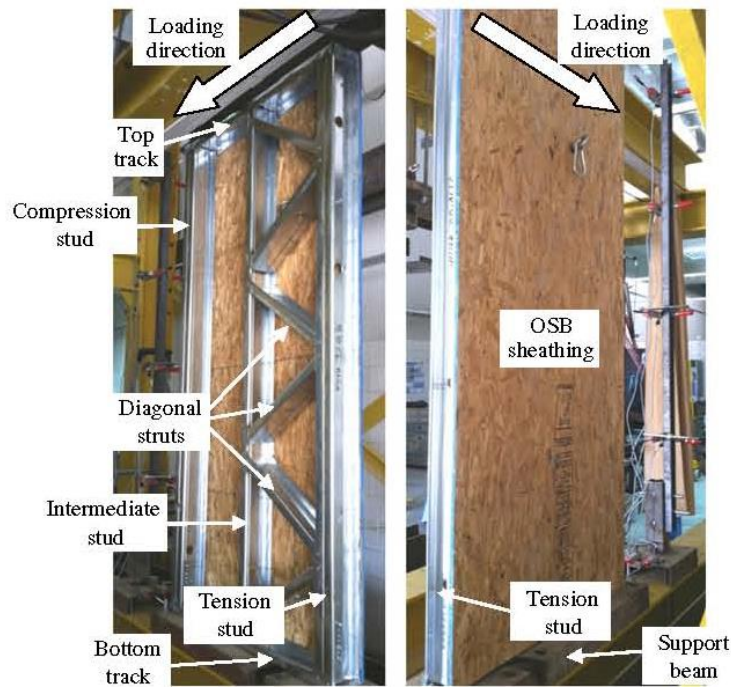


Figura 3. Detalles del ensayo experimental. Paredes cargadas en el mismo plano. Baran y Alica. [13]

Las construcciones de acero conformado en frío empezaron a tener un gran éxito en EEUU y Escandinavia, llevando a cabo la práctica del diseño con ábacos de cargas. Dichas tablas contenían las capacidades últimas para diferentes montajes de paredes de corte sometidas a fuerzas estáticas y sísmicas. Las propiedades estructurales fueron determinadas con pruebas llevadas a cabo por Serette de la Universidad de Santa Clara [14] [15]. Así mismo, se analizó el comportamiento de paredes de corte sometidas a cargas horizontales periódicas y fuerzas alternas.

Las pruebas, realizadas en América, demuestran que la rigidez de las paredes de corte se cuantifica para cargas cuasiestáticas, como las cargas de viento, y cargas sísmicas, pero con los valores de medida de los desplazamientos en cabeza y los relativos a cargas horizontales, no se podían obtener conclusiones de la ductilidad del sistema reforzado. No era posible la descripción de la transferencia de carga.

Las propiedades estabilizadoras del cerramiento en secciones de perfiles de acero conformado en frío comprimidos fueron analizadas por Winter [16] de la Universidad de Cornell. Simaan [17] continuó su trabajo. El diseño de las Especificaciones de US AISI [10] está basado en los resultados de dichas investigaciones. Sin embargo, el modelo para incluir las propiedades estabilizadoras del cerramiento, por medio de la rigidez de la pared de corte, no pudo ser verificada con las pruebas posteriores [18] [19].



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

En Europa, el Eurocódigo 3 [20], especifica las disposiciones para el diseño de estructuras de acero conformado en frío. Debido a la necesidad de entender el comportamiento de estas estructuras, especialmente bajo el efecto de las cargas sísmicas, la resistencia lateral de los paneles de la pared de corte CFS (Cold-formed Steel) ha sido recientemente estudiada experimentalmente [19] [21] y analíticamente [21] [22]. Pan y Shan [23] también realizan pruebas monótonas sobre paneles de pared CFS e investigaron el efecto de material de revestimiento, espesor de revestimiento, y la relación de aspecto de la pared.

Fiorino [24] ha estudiado las típicas conexiones de tornillos utilizados para fijar los listones de revestimiento sobre elementos del bastidor con CFS. El uso de correas planas arriostradas en X o en Cruces de San Andrés en los paneles de paredes CFS también ha sido el objeto de varios estudios [19], [25], [26], [27]. Con Serrette y Tian [19] [25], las pruebas de carga monótona realizadas en paneles de pared con CFS utilizan correas planas arriostradas en X. Kim [26], realiza pruebas en mesa vibratoria sobre una estructura de CFS con correa plana de refuerzo en X, e informó de que la estructura exhibió un comportamiento dúctil.

Las pruebas realizadas por Al-Kharat y Rogers [27] en las paredes con CFS con correas planas arriostradas en X revelaron que el comportamiento de los paneles de la pared era mayormente determinado por detalles de sujeción. El uso de la hoja de acero como revestimiento sobre paneles de pared CFS fue investigado por Yu [28], comprobando que el colapso de los paneles de la pared se debió principalmente al pandeo del revestimiento de chapa de acero y la retirada de los tornillos.

El sistema estructural típico de paredes de corte CFS, además de resistir cargas laterales, también debe resistir las cargas por gravedad. Por esta razón, el comportamiento de compresión axial de los montantes de CFS y paneles de pared también ha sido evaluado por varios investigadores [29], [30], [31], [32]. Estos estudios indicaron que la existencia de revestimiento mejoró el comportamiento de compresión axial de los perfiles con CFS, el aumento del nivel de la capacidad de carga se ve afectada por material de revestimiento y el espaciado de los tornillos.

En Turquía los estudios realizados por E. Baran y C. Alica [13] tienen como objetivo evaluar el comportamiento de las paredes de corte CFS utilizando paneles de fibra orientada (OSB) como material de cerramiento, empleados en este país, y sometidos a cargas monótonas laterales.

Otros métodos de diseño similares han sido probados en Alemania. La intención es desarrollar un método de diseño universal para paredes de corte sometidas a cargas horizontales, basado en los proyectos de investigación finalizados por B. Naujoks [33]. Además, se examinaron la influencia de las cargas efectivas verticales. Basándose en los resultados de la prueba, se podría desarrollar un modelo de análisis, en el cual se incluían las pruebas estabilizadoras del cerramiento durante la verificación de la seguridad estructural de los perfiles de acero conformado en frío. Entre estas investigaciones destacan las pruebas realizadas por J. Lange y B. Naujorks (Véase Figura 3) [34] de la Universidad de Darmstadt, que estudiaron el comportamiento de la pared CFS con paneles, bajo la combinación de cargas verticales y horizontales, ensayando el modelo con diferentes tipos de materiales para el cerramiento (tableros de aglomerado con poliuretano, de fibra-yeso, de maderacemento y chapas trapezoidales).



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

En los estudios de M. Nithyadharan, V. Kalyanaraman Naujorks (Véase Figura 5) [35] utilizan paneles de silicato de calcio, sometiendo a una deformación monótona a cinco de ellos y a otros cinco a una cilíndrica reversible en el plano de corte.

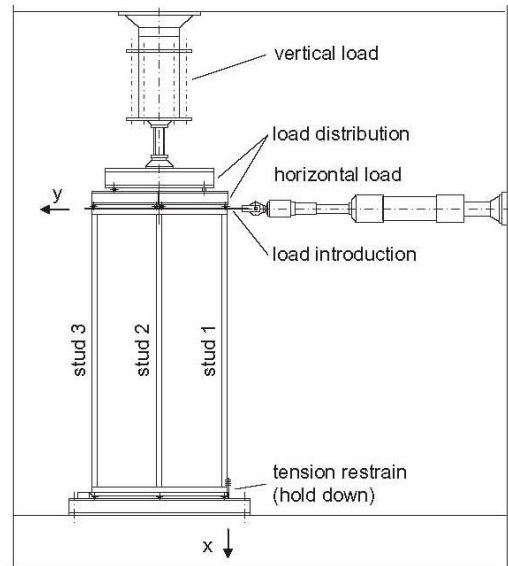


Figura 4. Modelo de pared sometida a cargas verticales y horizontales. Lange y Naujorks [34].

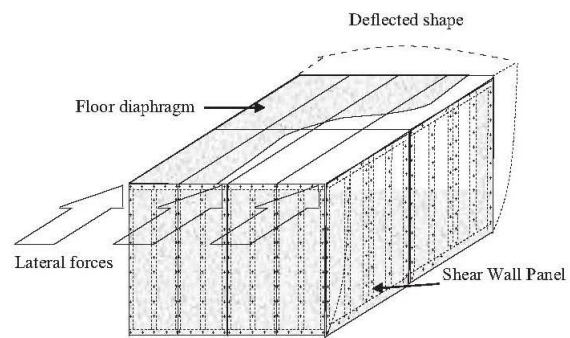
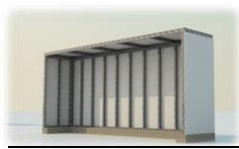


Figura 5. Respuesta típica de los paneles bajo cargas laterales. Nithyadharan y Kalyanaraman [35].

Otras referencias importantes para este proyecto de tesis son los estudios sobre análisis simplificados basados en métodos de elementos finitos para este tipo de estructuras y que utilizan como soporte programas o software informáticos, comparando los resultados experimentales con los analíticos. Es el caso de Joel Martínez-Martínez y Lei Xub [36], que proponen un enfoque simplificado para la realización de un análisis de elementos finitos en edificios, proceso que llevaría mucho tiempo, debido a la gran cantidad de elementos que intervienen en el modelado de la pieza y el revestimiento estructural. En el método propuesto, se construye una pared de 1,20 m de ancho con perfiles de acero conformado en frío y un revestimiento estructural que se modela en el programa SAP2000, mediante un elemento de cáscara con 16 nudos con propiedades equivalentes al material. Además el comportamiento no lineal de los paneles de la pared de corte se simula por un factor de degradación de rigidez. La eficacia y precisión del método se demuestra a través de la comparación de los resultados de la propuesta y el método convencional en paneles individuales.

Actualmente, el trabajo de investigación realizado por el profesor Luís Simões da Silva de la Universidad de Coimbra y el Grupo CoolHaven [5], está promoviendo la utilización de una estructura de perfiles de acero liviano conformado en frío. Se presentó una solución de vivienda unifamiliar bajo el nombre de "Casas Asequibles" con formalización estética contemporánea, incorporando algunos principios modulares, satisfaciendo los propósitos de gran adaptabilidad a diferentes topografías y con enorme flexibilidad de contextualización urbanística.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamiento de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Durante esta estancia se visitan poblados situados en los extrarradios de la capital de El Salvador, donde se empiezan a construir viviendas con el modelo estructural de vivienda objeto de este estudio, sin conocer con exactitud el comportamiento de estas soluciones en un futuro, ya que no existen estudios experimentales al respecto. (Véase Figura 6).



a. Detalle de vivienda tipo PLYCEM.



b. Colonia de viviendas tipo PLYCEM.

Figura 6. Sistema constructivo liviano Plycem, perfiles de acero y paneles de fibrocemento, poblado de Nueva Esperanza, estancia en El Salvador, 2014.



OBJETIVOS

El objetivo principal de la tesis es estudiar y plantear una solución para una vivienda realizada en estructura metálica ligera, integrada completamente por elementos de extracto seco, autoconstruible y adecuada para soportar las sollicitaciones sísmicas características de países centro americanos como El Salvador.

Por lo que el objetivo de esta tesis será el ensayo y optimización de la estructura de dicha vivienda frente a acciones sísmicas y de viento, así como su montaje, planteando los demás parámetros, como son; el confort térmico, la permeabilidad de los paneles o la eficiencia energética, entre otros,...desde el punto de vista teórico, dejando su ensayo y estudio experimental para futuras líneas de trabajo.

El objetivo principal se subdivide en los siguientes objetivos secundarios:

1. Valorar las diferentes tipologías y soluciones estructurales de viviendas sociales.
2. Destacar y comprobar las ventajas de las estructuras de acero liviano conformado en frío sobre las estructuras tradicionales.
3. Desarrollar una tipología de vivienda social en El Salvador, en la cual se optimicen las condiciones de salubridad, higiene, habitabilidad, seguridad estructural y constructiva a un coste mínimo.
4. Adecuar dicha tipología al enclave mediante un análisis exhaustivo del medio físico de El Salvador y de los aspectos sociales y culturales que prevalecen entre la población salvadoreña.
5. Fabricación de la vivienda prototipo en su conjunto (estructura metálica y cerramientos). Sobre esta casa prototipo se pueden realizar ensayos de diferentes consideraciones (permeabilidad, confort térmico, etc), así como diseñar el proceso de montaje de la estructura.
6. Emplear los medios existentes en la UCA (Universidad de El Salvador) para el ensayo sismorresistente de este prototipo de estructura de acero y comparar dichos valores con los de estructuras tradicionales ensayados anteriormente.
7. Redactar el proyecto técnico de un "kit" de alojamiento de emergencia temporal, que solucionara inicialmente y de forma rápida las condiciones de habitabilidad mínima en la población afectada, a un coste mínimo y con las garantías de resistencia obtenidas en la investigación.
8. Extrapolar esta solución a otros países afectados por este tipo de catástrofes, así como al uso como VPO o viviendas de protección oficial, autoconstruible, que proporcione salidas profesionales a la población desempleada.



METODOLOGÍA

La metodología para el desarrollo de la investigación involucra la utilización de herramientas tanto experimentales (técnicas de laboratorio) como herramientas de modelado y cálculo estructural numérico. También se parte de las fuentes bibliográficas citadas al final del texto y la realización de estancias en otros países, que nos permiten la práctica de los ensayos necesarios, así como, la obtención de las referencias y datos para la óptima elección del modelo a utilizar.

En un primer lugar es necesario realizar un estudio comparativo de las ventajas e inconvenientes de las distintas soluciones constructivas y materiales de construcción empleados. La comparativa entre el bloque panel, el adobe sismorresistente, la mampostería de suelo cemento confinada, el bloque hueco de cemento con refuerzo integral y la combinación de una estructura metálica de perfiles de acero conformado en frío con paneles de fibrocemento, debe de remarcar las ventajas de esta última solución frente a sus competidoras. Este estudio comparativo se refleja en el artículo, presentado en el VIII Congreso de Construcción Metálica y Mixta [2], donde se valoran las ventajas e inconvenientes de estos materiales, como el hormigón y el adobe, ya ensayados por las iniciativas antes citadas, como el Proyecto Taishim [1], frente a la elección de una estructura de acero liviano atornillada y de fácil ejecución. Llegando a conclusiones del porqué de la ineficacia de la mayoría de ellas y del por qué no resuelven los problemas a medio-largo plazo de forma rápida y al menor coste. Del análisis comparativo realizado, se deduce que, la solución de acero ofrece las mejores condiciones en cuanto a ahorro de mano de obra, tiempos de ejecución, durabilidad, flexibilidad, facilidad de montaje, reutilización y reciclaje. Y dependiendo de los paneles de revestimiento, los mejores resultados en cuanto a habitabilidad, salubridad, aislamiento térmico y acústico, ahorro energético y sostenibilidad. Los modelos Taishim de adobe y hormigón, no respondían con las mismas garantías a los anteriores puntos



a. Laboratorio de ensayos de la Universidad de Coimbra. Prototipo de acero liviano.



b. Visita del prototipo en el Parque Tecnológico de Coimbra. Profesores Juan José Jiménez, Joaquim Rodrigues, y Matilde Moreno Cobo.

Figura 7. Imágenes del prototipo de vivienda durante la estancia en Coimbra, Portugal, 2011.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Un segundo paso es realizar el diseño arquitectónico de la vivienda, atendiendo a las necesidades socioculturales de la población en zonas rurales de El Salvador. El resultado de este diseño arroja datos básicos para el cálculo estructural, dado que se tiene un modelo alámbrico de la estructura necesaria y de los cerramientos.

Durante el proceso de investigación previo a esta tesis se realiza el Trabajo Tutelado de Iniciación a la Investigación (TTII) [3], donde se definen previamente las necesidades y condicionantes para la ejecución de viviendas sociales en zonas rurales aisladas de El Salvador.

Para la definición de estas necesidades, se estudian diferentes soluciones arquitectónicas y se realiza una estancia de dos días en Coimbra en Noviembre de 2011, donde la Universidad está desarrollando soluciones de viviendas construidas con sistemas livianos y prefabricados. Se visitan las infraestructuras y talleres de la Universidad, donde se ensaya una solución estructural de acero liviano con distintos tipos de revestimientos. Se intercambian opiniones con los profesores precursores de esta idea y se visita el prototipo de vivienda real realizado en el Parque Tecnológico de Coimbra. Dicha vivienda se encuentra en aquel momento en fase de ejecución, siendo el profesor Joaquim Rodríguez, el encargado de guiar la visita, explicando el proceso constructivo e indicando su intención de mejorar la solución actual, simplificando el sistema estructural, los tiempos de ejecución, las capas de revestimiento, el coste, la cimentación...en la búsqueda de un sistema de ensamblaje en seco más rápido y económico. (Véase Figura 7)

. El diseño arquitectónico objeto de esta tesis, y los elementos constructivos empleados, antes de ser sometidos a análisis estructural, deben de verificar otras condiciones de habitabilidad: confort y aislamiento térmico, protección frente a la humedad, salubridad, etc.



Figura 8. Miembros participantes y colaboradores del programa experimental. Laboratorio de Estructuras Grandes. Universidad Centroamericana José Simeón Cañas (UCA), El Salvador, 2014.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

El diseño del prototipo estructural que debe de ser ensayado, y el tipo de ensayos al que va a ser sometido, será determinado en función de la resistencia y rigidez que se demandará al conjunto. El programa experimental a llevar a cabo, sobre un prototipo estructural real, es una de las tareas más ambiciosas de la investigación [37]. Para ello se fabrica el modelo estructural y se somete a una serie de ensayos y pruebas con el doble objetivo de comprobar su resistencia al sismo y, posteriormente, el de verificar el modelo numérico desarrollado para tal fin.

Para este fin, se cuenta con el Laboratorio de Estructuras Grandes de la Universidad José Simeón Cañas (UCA) en El Salvador, donde se trabaja para este objetivo, durante la estancia realizada en Enero-Febrero de 2014, lugar donde se planifica el proceso y se ensaya el modelo experimental descrito en el capítulo 3 de esta tesis doctoral. Durante esta estancia se visitan poblados situados en los extrarradios de la capital de El Salvador, donde se empiezan a construir viviendas con el modelo estructural de vivienda objeto de este estudio, sin conocer con exactitud el comportamiento de estas soluciones en un futuro, ya que no existen estudios experimentales al respecto. (Véase Figura 8).

Se propone un modelo a escala real formado por tan solo tres paredes: la que recibiría la carga y las dos paredes perpendiculares en sus extremos. A través de un proceso preliminar de análisis se concluye que el modelo así formado resulta excesivamente flexible, por lo que se agrega una estructura de techo construida a base del mismo sistema. (Véase Figura 9).



Figura 9. Modelo a escala real. Laboratorio de Estructuras Grandes. UCA, El Salvador.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamiento de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

El modelo a escala real contará con:

- Un entramado de perfiles de acero laminado de bajo espesor, galvanizados y conformados en frío.
- Láminas de cerramiento de fibrocemento en las tres paredes y la cubierta.
- Fijaciones y anclajes tanto de las láminas de fibrocemento al entramado de acero y del anclaje del entramado a las cimentaciones.

Las medidas del modelo a escala natural serán de 6,1 m de longitud, 1,22 m de ancho y 2,44 m de altura.

Las cargas sísmicas que se aplicarán al mismo serán conforme a la Norma Técnica de Diseño por Sismo de El Salvador (NTDSES) [38], así mismo las cargas de viento se caracterizarán según la Norma Técnica de Diseño por Viento de El Salvador (NTDVES) [39]

El modelo a escala natural se instrumenta con transductores de desplazamiento y desplazamiento de control para verificar el comportamiento global de la estructura según el modelo numérico. Se utilizan así mismo galgas extensométricas tanto en los perfiles de acero como en las láminas de fibrocemento. (Véase Figura 10).

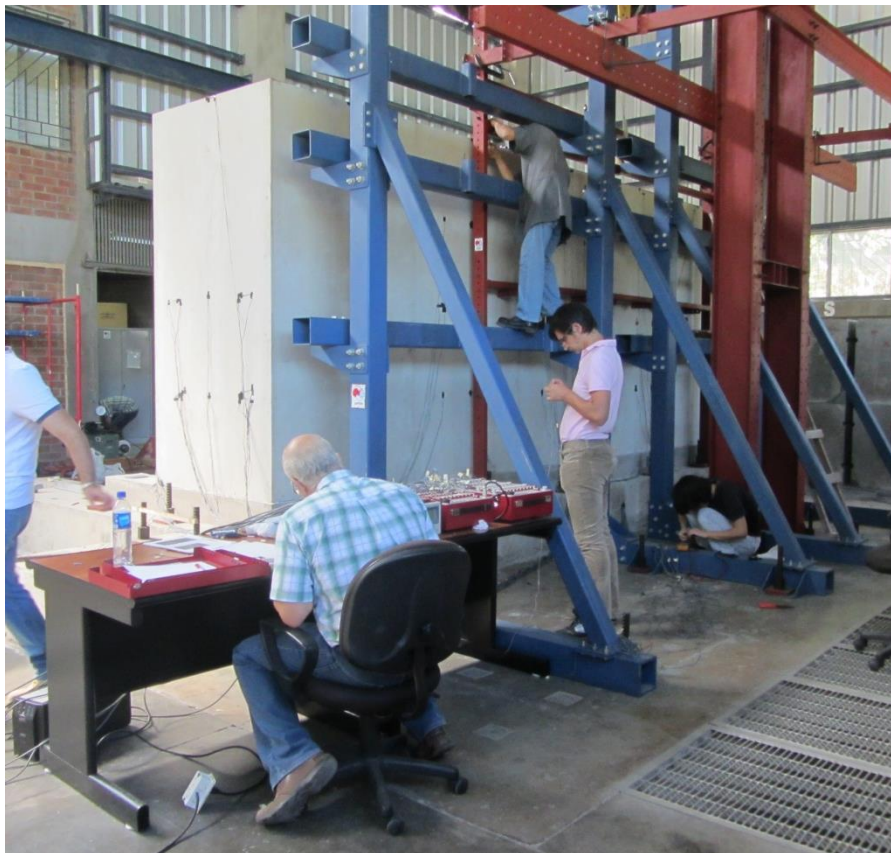


Figura 10. Proceso de colocación de galgas extensométricas y marco de carga.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

El modelo numérico de la estructura es una de las tareas más complejas de esta investigación. Dicho modelo numérico, realizado en elementos finitos utilizando el programa de cálculo estructural SAP 2000 ® [12] tiene tres retos principales:

- El modelado de los perfiles conformados en frío como secciones Clase 4 – Esbeltas, con grandes problemas de inestabilidad local (abolladura y pandeo) Los perfiles de acero se modelan como Elementos Finitos de tipo Marco.
- El modelado de las uniones atornilladas de los distintos perfiles, para que la construcción de la vivienda sea rápida y autoconstruible por los propios usuarios finales de la misma.
- La consideración de la rigidez que aportan los paneles de cerramiento, considerando éstos como elemento estructurales colaborantes. Las láminas de fibrocemento son modeladas como Elementos Cáscara, que combinan el comportamiento de placa y el de membrana.

Por supuesto, habrá otros elementos fundamentales en la obtención de un modelo fiable y que se ajuste a la realidad, como son: la fijación de la lámina del cerramiento con el entramado de acero o el anclaje a cimentación de la estructura. El modelo estructural se someterá a las acciones sísmicas y de viento recogidas por la normativa de construcción de El Salvador.

Una vez completado y validado el modelo estructural, y con el fin de hacer el proyecto viable en otros capítulos, se valorarán todos los aspectos que intervienen en la consecución del objetivo final: una vivienda social, adecuada a las condiciones de habitabilidad de El Salvador, con todas las instalaciones necesarias (energéticas, suministro de agua, saneamiento, etc.), capaz de resistir las acciones sísmicas, y que sea autoconstruible, fácilmente transportable antes de su montaje, y dentro del coste de 100-200 \$/m².

Por último, se marcarán las líneas diferenciadoras para hacer extensible la solución propuesta a otras ubicaciones distintas al Salvador, centrándonos en Hispano América, por su propensión a catástrofes naturales y por la mala situación de la vivienda social en la mayoría de los países. Cabe citar el ejemplo último de Perú, donde las catástrofes naturales han provocado la destrucción de 6.500 viviendas [40].



ESTRUCTURA

El discurso de la tesis se organiza en cuatro capítulos. La estructura de trabajo se completa con la bibliografía empleada para la investigación y anexos de índices y figuras. La documentación gráfica aporta una visión analítica que favorece la comprensión de las ideas fundamentales del texto.

El plan de la tesis se desarrolla en esta breve descripción de sus principales contenidos:

CAPÍTULO 1: ESTADO DEL ARTE Y TECNOLOGÍA.

Introduce el marco de referencia histórico y arquitectónico en el que se desarrolla la arquitectura popular y social construida en seco y con materiales livianos, en diferentes culturas como la americana, europea y sudamericana, cuya evolución y ensayo establecerá las bases para el desarrollo del sistema constructivo empleado en la propuesta arquitectónica de esta tesis.

CAPÍTULO 2: PROPUESTA ARQUITECTÓNICA Y CONSTRUCTIVA.

Un segundo paso es realizar el diseño arquitectónico de la vivienda, atendiendo a las necesidades socioculturales de la población en zonas rurales de El Salvador. El resultado de este diseño arroja datos básicos para el cálculo estructural, dado que se tiene un modelo de prismas mecánicos de la estructura y de los cerramientos necesarios. Durante el proceso de investigación previo a esta tesis se realiza el Trabajo Tutelado de Iniciación a la Investigación (TTII) [3], donde se definen previamente las necesidades y condicionantes para la ejecución de viviendas sociales en zonas rurales aisladas de El Salvador.

Para el desarrollo este capítulo se contacta con la compañía suministradora de los paneles de fibrocemento en El Salvador, la cual aporta las características técnicas de los paneles y los perfiles, así como, los recursos de maquinaria y mano de obra necesarios. También se consulta en bibliografía, trabajos realizados en la UCA sobre el diseño de viviendas bioclimáticas de interés social como recurso documental para este capítulo [41].

CAPÍTULO 3: PROGRAMA EXPERIMENTAL UCA-JA.

En este capítulo se define el modelo experimental a escala natural a partir de la sección más desfavorable del prototipo de vivienda social diseñado y un modelo analítico del mismo elaborado con un programa comercial de análisis y diseño. Así mismo, se mostrarán los resultados obtenidos del ensayo a escala natural y su comparación con el modelo analítico, las conclusiones y recomendaciones derivados del programa experimental.

CAPÍTULO 4: DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS Y LÍNEAS FUTURAS DE TRABAJO.

En este capítulo se recopilarán las ideas fundamentales y conclusiones obtenidas durante la redacción de la tesis doctoral. Estableciendo una puerta abierta para futuras investigaciones que complementen el trabajo tanto experimental como de diseño del modelo y que permitan su aplicación a diferentes lugares con necesidades de vivienda social y alojamientos de emergencia.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamiento de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

CAPÍTULO 1. ESTADO DEL ARTE Y TECNOLOGÍA. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO LIVIANO EN ARQUITECTURA RESIDENCIAL Y VIVIENDA SOCIAL DE RÁPIDO MONTAJE.



1.1 INTRODUCCIÓN

...la tecnología está arraigada en el pasado, domina el presente y tiende hacia el futuro. Es un movimiento histórico real: uno de los grandes movimientos que forman y representan su época. La tecnología es mucho más que un método, es un mundo en sí mismo. Algo que tiene una forma significativa y poderosa: de hecho tan poderosa que no es fácil nombrarla. ¿Es aun tecnología o es ya arquitectura? Quizá por esa razón mucha gente está convencida que la arquitectura será desplazada y reemplazada por la tecnología. Pero esta opinión no se basa en una idea clara. Ocurre más bien lo contrario: allí donde la tecnología alcanza su culminación real, trasciende a la arquitectura. Mies Van der Rohe, 1935 [42]

Con estas palabras Mies Van der Rohe, como director de la escuela de la Bauhaus en 1935, se posicionó en favor de la racionalización de la industria de la construcción.

Será objetivo de este apartado el estudio del proceso de industrialización en el contexto de la historia de la vivienda social, en Estados Unidos, Europa y Sudamérica, entendida como una cronológica de la evolución, y valorada, destacando los aspectos más significativos de las distintas “experiencias” por su singularidad o relevancia dentro del proceso, en función de la casuística de cada una de ellas.

El concepto de industrialización, surge a partir del periodo histórico del que toma su nombre, cuando se dio todo un conjunto de sucesos y transformaciones, origen de la era moderna, y más comúnmente conocido, como revolución industrial, a finales del siglo XVIII.

Sin embargo, con anterioridad surgen casos o situaciones de una cierta apariencia, o con características asimilables a una producción industrial, de forma inconsciente, con voluntad de alternativa a otras conductas.

Hay una tendencia casi natural de búsqueda, en determinadas circunstancias hacia nuevas fórmulas y formas de producción-construcción, cuando se da algún condicionante, como pueden ser los plazos de tiempo, necesidad de grandes producciones, cambio de prioridades como la utilidad sobre la funcionalidad o la personalización, estudio de los recursos, etc., por ello se pueden encontrar experiencias de prefabricación con criterios industriales, con anterioridad a la revolución industrial.

En este sentido, cabe apuntar, ejemplo reconocido por todos los autores como el primer precedente de prefabricación modular, el trabajo o encargo que se le hizo a Leonardo da Vinci, en el siglo XVI para planificar una serie de nuevas ciudades en la región del Loire en Francia, para lo cual ideó ubicar en cada una de las nuevas ciudades un centro de producción, en donde se elaborarían, una serie de módulos o elementos básicos para conformar en múltiples combinaciones otras tantas variedades de tipología edificatorias.

El objetivo por tanto era construir un abanico de variadas edificaciones, con un mínimo de elementos prefabricados en un punto de producción o fábrica, también ideado por el mismo Leonardo da Vinci, para lo que previamente habría proyectado tanto el resultado final, como los procesos intermedios con los mínimos elementos básicos.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Otro caso exponente temprano de producción prefabricada en Europa, reconocido, se dio también en el siglo XVI, en el ámbito militar, periodo de guerras entre franceses e ingleses, donde los ejércitos de Francisco I y Enrique II elaboraron edificaciones militares o pabellones de madera, prefabricadas, es decir en lugares de producción alejados de la contienda que transportados en barca, se acababan de montar, por los propios militares en su lugar de ubicación. Por lo tanto, el principal objeto del proyecto, la movilidad se conseguía en base a un sistema de montaje y desmontaje, donde los pabellones de pudiesen reducir a elementos o módulos de fácil transporte.

Otras expresiones singulares de prefabricación temprana, se dieron en Baffin, Canadá, en el año 1578, donde se erigió una casa prefabricada que había sido construida en Inglaterra, y otra en el año 1624, una casa de paneles de madera, la Great House, construida por Edward Winslow, realizada por módulos en Inglaterra y trasladada hasta Massachussets, en Estados Unidos. (Véase Figura 11). [43]



Figura 11. The Winslow House, Massachussets, 1624. [43]

Aunque fuera del ámbito occidental, un sistema japonés, uno de los más antiguos, el Kiwai, de principios del siglo XVII, de gran difusión en su país, basado en una modulación rigurosa, combinaba partes prefabricadas con otras in situ, en base a criterios personales de los clientes.

Se trata de experiencias tempranas, puntuales que no se pueden considerar exponentes de una producción industrializada como hoy en día se entiende, ni tampoco estos dos últimos ejemplos tendrán la consideración de construcción prefabricada, porque no han sido realizadas en serie, son por tanto, construcciones singulares producidas en un lugar diferente a su ubicación última.

No sería hasta el final del S. XVIII, a partir de 1840 con la llegada de la primera revolución industrial, cuando se empezó a vislumbrar la posibilidad de industrializar la construcción en Europa, mediante la construcción de puentes y cubiertas con hierro fundido, material que sería después aplicado a la elaboración de pilares y vigas de edificios y, al mismo tiempo, en Estados Unidos, mediante la construcción de edificios de tipología Balloon Frame, constituidos por listones de madera provenientes de fábrica y ensamblados mediante clavos fabricados industrialmente. [44]



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

La prefabricación industrializada adquiere gran impulso a raíz de la Segunda Guerra Mundial, ante la necesidad de construir en corto plazo millones de viviendas en una Europa devastada.

Años más tarde, los arquitectos, ingenieros y técnicos de América Latina, ante la inmensa tarea de dar respuesta al problema habitacional ven con interés la posibilidad de construir bajando sus costos y aumentando su productividad. Los organismos estatales prevén por este medio la solución del pavoroso déficit de viviendas ya crónico. Entre los años 50 y 60 se realizó en Chile un serio intento de implementar la prefabricación masiva con varios sistemas de tipo industrial como son: Sistema CIMET, GAMA, MARCHETTI, HELLENIT, ISOLITA, entre otros. [45]

La casa modular ha experimentado un renacimiento en los últimos años, con los fabricantes de casas modulares modernas que tienen todas las comodidades de las viviendas prefabricadas, añadiendo un diseño actualizado. Las casas modulares han estado siempre a la vanguardia de la arquitectura. Diseñadores tan diversos como Frank Lloyd Wright y Walter Gropius, han contribuido a la fascinante historia de viviendas prefabricadas modulares.

Desde que se conoce la madera se han venido utilizando sistemas constructivos livianos para la construcción de viviendas. En un principio el material más empleado era la madera, sin embargo con el tiempo se han venido utilizando otro tipo de materiales como acero y láminas de fibrocemento. En países de Europa, Canadá y Estados Unidos todavía se emplea la madera en grandes proporciones dada la abundancia de este recurso y el bajo costo que tiene en el mercado.

La experiencia mundial al respecto indica que el acero va reemplazando paulatinamente a otros materiales usados en la construcción de la estructura de las viviendas. El ejemplo de los Estados Unidos, un país donde la industrialización es prácticamente el único método de construcción de viviendas unifamiliares, es tal vez el más conocido. Allí, en 1994 del total de viviendas unifamiliares construidas, el 7% tuvo estructura de acero. Aunque la cifra no parecería significativa, es necesario tener en cuenta que ese valor era prácticamente nulo dos años atrás.

En Realidad, fue el Huracán Katrina [9], ocurrido en centro-Sur de EEUU, que afectó sobre todo a la zona de Missisipi y Lousiana, en 2005, lo que marcó el punto de partida para el estudio de este tipo de soluciones industrializadas. A pesar de los inconvenientes encontrados durante el proceso y la competencia con el uso tradicional de estructuras de madera, se impuso el sistema estructural de acero conformado en frío con diferentes cerramientos para uso residencial y comercial de baja altura. Se creó el Instituto Americano del Hierro y el Acero (AISI) [10] [11] y una legislación específica que fue introduciéndose en los currículos de universidades, estando previsto que hacia fines de siglo, el porcentaje de viviendas con estructura de acero liviano alcanzará el 25%.

A continuación se estudiará la evolución que han marcado estos sistemas constructivos desde sus orígenes, las arquitecturas más representativas y las condiciones históricas que dieron lugar a la aparición y desarrollo de las casas prefabricadas ligeras y sus más avanzadas compañeras de concepto, las casas modulares.



1.2 ARQUITECTURA POPULAR EN E.E.U.U.

1.2.1 TIPOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS LIVIANAS EN EL SIGLO XIX.

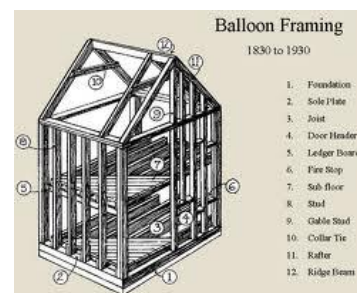
1.2.1.1 *Balloon frame*

Durante el siglo XVIII apareció en Estados Unidos una tipología constructiva denominada *Balloon frame* (cuya traducción desde el inglés podría ser *armazón de globo*), consistente en la sustitución de las tradicionales vigas y pilares de madera por una estructura de listones más finos y numerosos, que son más manejables y pueden clavarse entre sí. Este tipo de construcciones se mostró particularmente adecuado para la colonización del Oeste americano, y es la imagen típica que aparece en los edificios las películas del género "western".

Surgió en los Estados Unidos como adaptación de las viviendas de madera europeas a los medios disponibles en aquella época, caracterizada por la abundancia de madera y la escasez de carpinteros y mano de obra cualificada. Mediante el aligeramiento de las piezas de la estructura (listones de 1x2 pulgadas), se consiguió sustituir las juntas de carpintería, que eran excesivamente complicadas de realizar para personal no cualificado, para en su lugar emplear simples clavos. (Véase Figura 12).



a. Estructura de vivienda. Balloon Frame.



b. Esquema constructivo del sistema.

Figura 12. Sistema constructivo *balloon frame*. Vivienda de dos plantas. [46]

Aunque la transición entre la estructura tradicional europea y el concepto de *balloon frame* se produjo gradualmente a lo largo de más de un siglo, se atribuye su desarrollo a la ciudad de Chicago, y en concreto a Augustine Taylor y a George Washington Snow, alrededor del año 1832. La primera utilización parece remontarse a 1833 para la edificación de la iglesia St Marys en Chicago. (Véase Figura 13).



Figura 13. Iglesia St Marys en Chicago, 1.833. [46]



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamiento de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Su éxito radica en la rapidez de la construcción (tableros y clavos estandarizados), que permitía a cada uno de los trabajadores realizar fácilmente la estructura y el esqueleto de la vivienda que se cubría a continuación de tablas. El interior de las paredes se cubría de yeso o madera. Esta técnica fomentó el desarrollo rápido de las ciudades y daba una gran movilidad. Sin embargo, estas casas no ofrecían buenas condiciones sanitarias y se quemaban fácilmente en caso de incendio. [46]

1.2.1.2 *Stick Style*

El *Stick Style* es un método americano de construcción de las casas que utiliza los muros de protección hechos de vigas de madera. Las construcciones se cierran con altos techos, y tejados empinados. El plano es asimétrico y el espacio interior se abre sobre varias galerías. El exterior no está desprovisto de decoración, aunque el objetivo principal es la comodidad. Richard Morris Hunt construyó la casa de John N. Griswold a Newport en 1862. El *Stick Style* se abandona progresivamente después de la crisis de 1873. (Véase Figura 14 y Figura 15). [46]



Figura 14. The John N. A. Griswold House, Newport Art Museum in Newport, Rhode Island, 1862 [46]



Figura 15. Victorian Stick style architecture by Richard Morris Hunt. [46]

1.2.1.3 *Shingle Style*

Luego el *Shingle Style* sustituyó al *Stick Style*. Se caracteriza por la simplicidad y la búsqueda de la conveniencia. Henri Hobson Richardson construye la casa de William Watts Sherman en 1874 - 1875, dejando aparecer la estructura en madera. (Véase Figura 17). La casa de la Sra. F. Stoughton de Cambridge (1882-1883) y el casino de Newport (1879-1881) conservan la cobertura de tablas. En la costa occidental, que atrae cada vez más americanos y arquitectos, la arquitectura doméstica evoluciona también hacia cada vez más modernidad.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]



Figura 16. Barrio de Haight-Ashbury, en San Francisco. [46]



Figura 17. William Watts Sherman House. [46]

El barrio de Haight-Ashbury, en San Francisco, es representativo de las casas de estilo victoriano italianizante (1860 - 1900). Construidas gracias a la madera de secuoya, resistieron al incendio de la ciudad en 1906. Se decoran mucho y se colorean. Al tiempo, ofrecían toda la comodidad moderna: calefacción central, electricidad, agua corriente... Sus dimensiones se estandarizan: 8 metros para la fachada y 30 metros para la profundidad. Tienen varios pisos y ventanales. (Véase Figura 16). [46]

1.2.1.4 Cast-Iron Building

La segunda mitad del siglo XIX es la de la reconstrucción después de la Guerra de Secesión y del desarrollo económico de los Estados Unidos. La revolución industrial es el nacimiento de nuevos materiales de construcción (acero, hormigón). La urbanización, el crecimiento demográfico y el capitalismo suscitan convulsiones profundas en la arquitectura americana (estaciones, oficinas,...), que conocen su edad de oro. Los arquitectos obtienen un reconocimiento oficial y trabajan tanto para el Estado como para una clientela burguesa en búsqueda de la comodidad. El final de este período se caracteriza por la aparición del cine que exige nuevas construcciones garantizadas, en particular, por Thomas W. Lamb, en Nueva York.

A mitad del siglo XIX aparecen nuevos métodos de fabricación directa del acero (método Thomas-Gilchrist, hornos Bessemer y Siemens-Martin). Estos descubrimientos permiten la fabricación industrial de un acero de "calidad". Los industriales hacen valer las calidades del metal en arquitectura: las partes estandarizadas reducen el coste de la construcción. Los riesgos de incendio se disminuyen gracias al método de ignifugación. James Bogardus (1800-1874) es uno de estos empresarios que hace publicidad de este método de construcción vinculado a la revolución industrial y llamado cast-iron building.

Varias fábricas y almacenes utilizan esta técnica en Nueva York, como el edificio Harper, construido en 1854 y que imita la fachada de un palacio del Renacimiento. Daniel Badger (1806-1884) fabrica los elementos metálicos que decoran la fachada del edificio Haughwout. Está dotado con el primer ascensor a vapor que sirve los cinco pisos. Las ventanas están encuadradas por columnas corintias y el conjunto está coronado por una cornisa minuciosamente adornada. El decorado de la fachada oculta el esqueleto metálico interno. [47]



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

La Commissioner's House del Royal Naval Dockyard (Bermudas, Edward Holl, años 1820) se considera la primera vivienda levantada con estructura de acero. (Véase Figura 18). [48]



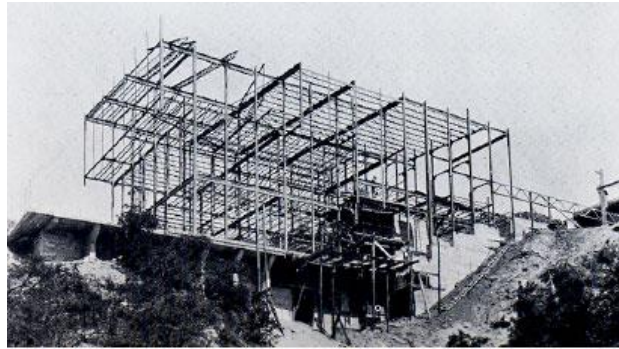
Figura 18. La Commissioner's House, Royal Naval Dockyard. [48]

1.2.2 TIPOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS EN EL SIGLO XX.

El gusto para la simplificación de los volúmenes y de la decoración exterior progresa gracias a las realizaciones de Irving Gill a quien se deben varias casas californianas de techo plano en el año 1910 (casa de Walter Luther Dodge, Los Ángeles, por ejemplo). Rudolf M. Schindler y Richard Neutra adaptan el modernismo europeo al contexto californiano, en los años veinte (*Lovell Beach House*, Newport Beach (California); casa *Lovell Health House* en Los Ángeles). (Véase Figura 19). [46]



a. Vista de casa Lovell Health.



b. Vista del esqueleto estructural de la casa.

Figura 19. Casa Lovell Health House, Los Ángeles, Richard Neutra, 1922-1926. [46]



1.2.2.1 Steel framing

Es un sistema de construcción formado por un entramado de perfiles obtenidos por el conformado de chapas laminadas galvanizadas en frío.

En EEUU se lo denomina "*Light Steel Framing*" para diferenciar a este sistema del "*Steel Frame*" que es una técnica constructiva que utiliza un esqueleto de columnas y vigas de perfiles de acero "pesados" llamados Perfiles W que hicieron y hacen posible la construcción de rascacielos. Tanto en España como en el resto de Hispanoamérica se lo conoce simplemente como *Steel Framing*.

Steel Framing significa Bastidor o Cuadro (=Frame) de Acero (=Steel) debido a la utilización de los perfiles galvanizados armados en forma de cuadrados de entre 2 y 4 metros de lado, los cuales pueden ser prearmados y luego izados e instalados en su posición definitiva o, incluso también, pueden ser armados en un taller y ser transportados al emplazamiento de la construcción, mediante un medio de transporte adecuado.

El acero liviano presenta grandes ventajas a la hora de decidir el material de la estructura [49]:

Resistencia mecánica: Además de los beneficios de tener una elevada relación: resistencia/peso, los valores de tensiones de fluencia y rotura están garantizados por los productores y se mantienen independientes de la humedad ambiente y de las condiciones de estibaje.

Incombustibilidad: la estructura de acero es incombustible, constituyendo un elemento adicional a la seguridad ante el fuego de la vivienda, con lo cual se reducen las primas de los seguros por incendio.

Versatilidad: el acero liviano permite la construcción de cualquier tipo de vivienda, inclusive de varios pisos. Puede ser cortado sin dificultad en obra con herramientas usuales en la construcción. Por otra parte, se encuentran disponibles en el mercado gran variedad de tornillos y conectores para materializar las uniones tanto de los miembros estructurales entre sí como de éstos con la platea de fundación.

Durabilidad: por su recubrimiento de zinc, el acero galvanizado por inmersión en caliente brinda prolongada vida útil a la estructura, haciéndola además absolutamente resistente a la acción de termitas, hongos y roedores.

Estabilidad dimensional: el acero galvanizado no sufre alteraciones por la acción de humedad. No se comba, tuerce o alabea por acción del medio ambiente.

Protección ambiental: El acero galvanizado es completamente reciclable, permitiendo su reutilización cuando la vivienda deba ser demolida. Inclusive todo el material de desecho que aparece durante la conformación de los perfiles (refiles, etc.) es completamente reciclable.

Disponibilidad: El acero liviano galvanizado se encuentra hoy disponible en el mercado en todas las formas necesarias para materializar una estructura de vivienda: perfiles verticales (studs), horizontales (tracks) y vigas para entrepiso (joists). Estos perfiles son provistos cortados en medidas standard o a largo según pedido, incluyendo los orificios necesarios para el pasaje de las instalaciones. Adicionalmente, se dispone también de proveedores del servicio de panelización.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Economía: Los precios del acero galvanizado nacional hacen de este material una opción muy conveniente para estructuras de viviendas industrializadas, no solamente en referencia a materiales sustitutos sino también con respecto a proveedores externos. Todos estos factores señalan al acero liviano galvanizado como el material de elección en la construcción de estructuras para viviendas industrializadas livianas.



Figura 20. Exposición de prototipo de vivienda con sistema Steel Framing. [49]

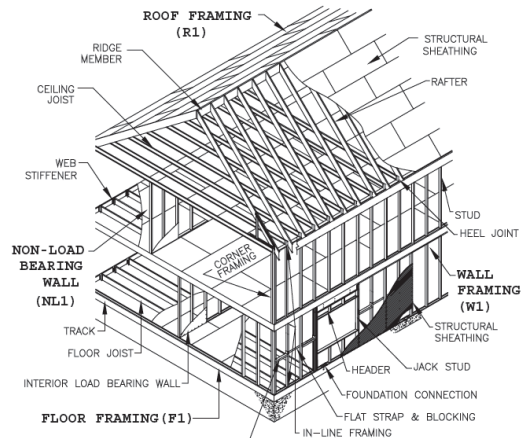


Figura 21. Esquema estructural del sistema Steel Framing. [50]

La industria siderúrgica, a través de los distintos fabricantes de acero galvanizado, fabricantes de perfiles y panelizadores puede brindar hoy al mercado de la construcción productos y servicios comparables a los que se obtienen en los países avanzados, permitiendo al arquitecto y constructor contar con fuentes de abastecimiento confiables y a precios que se ubican dentro de los niveles internacionales. (Véase Figura 20 y Figura 21).

Este sistema también presenta algunos inconvenientes que, sin embargo, se pueden evitar:

Puentes térmicos: El problema es que el acero, pese a ser un material liviano y resistente, tiene un defecto, y es su alta conductividad térmica. Esta transferencia de calor entre el interior y el exterior de la casa merman la capacidad aislante, de modo que es necesario gastar más energía para climatizar la vivienda. La solución, colocar los paneles aislantes por el exterior de los perfiles.

Estigmas: En América Latina los sistemas prefabricados son frecuentemente asociados a viviendas de escasos recursos, ayudado por la percepción de debilidad de las estructuras livianas y de la debilidad de estas estructuras frente al fuego.

Vibraciones y ruido: El sistema tiene menor aislamiento (si lo comparamos con el sistema tradicional) frente a vibraciones y ruidos. En ocasiones esto obliga a construir con sistemas mixtos teniendo como resultado la pérdida de ligereza.

Modulación: La escasa variedad de modelos o la limitación de usar módulos fijos dificulta modificar el diseño (paños de cierta altura o largo normalizados). Con la construcción tradicional este módulo está dado por el tamaño del ladrillo o bloque usado en la mampostería.

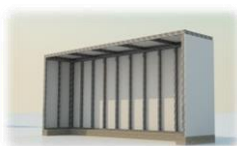


[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Cantidad de niveles: Según la información recabada, un edificio construido con este sistema puede tener como máximo 5 niveles de altura.

Costo de perfiles galvanizados: Otro dato a tener en cuenta es el elevado costo de los perfiles galvanizados.

A continuación se muestra una tabla comparativa entre los sistemas Steel framing, sistemas de madera y con mampostería, donde se observa que el sistema con estructura metálica ofrece mayores ventajas que los restantes sistemas comparados. (Véase Tabla 1).



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Tabla 1. Comparativa entre sistema Steel Framing, sistema de madera y mampostería.

	Sistema Steel Framing	Sistemas con Madera (Ej. Casas Prefabricadas)	Sistemas con Mampostería
Rapidez de Obra	50% de ahorro en tiempos de ejecución vs. tradicional	50% de ahorro en tiempos de ejecución vs. tradicional.	30% mayor por utilizar materiales húmedos. Retrasos por clima.
Maquinaria y Equipos de construcción	No se utilizan maquinarias pesadas. Herramientas manuales de fácil uso.	No se utilizan maquinarias pesadas. Herramientas manuales de fácil uso.	Se necesita maquinaria pesada. Materiales de construcción requieren estructuras y grúas especiales de acarreo en obra.
Ergonomía para el trabajador	Sistema Liviano no genera problemas a la salud del trabajador.	Sistema Liviano no genera problemas a la salud del trabajador.	Sistema Pesado, afecta a la larga la salud corporal.
Resistencia a fuertes vientos	Sin problemas.	Sin problemas.	Sin problemas.
Resistencia estructural	Conocida y existen tablas de cálculo.	Variable incluso dentro del mismo elemento, complica la certeza de cálculo.	Conocida y existen tablas de cálculo.
Limpieza de Obra	Obra Limpia y rápida.	Obra Limpia y rápida	Obra sucia con mucho desperdicio.
Aislamiento Térmico	Excelente comportamiento. 30% ahorro energético.	Excelente comportamiento. 30% ahorro energético.	Grandes pérdidas de calor y puentes térmicos.
Facilidad para remodelaciones/amp liaciones	Rápidas y limpias.	Rápidas y limpias.	Complicadas, molestas y sucias.
Resistencia a los Incendios	Resistencia Alta.	No apta.	Resistencia media.
Resistencia Anti sísmica	Ideal para zonas sísmicas.	No aplica.	Se tiene que reforzar la estructura. Altos costos.
Protección del material	Baño de Galvanizado. Evita corrosión.	Tratamiento adicional. Mayor costo.	Materiales Hidrófugos. Altos costos.
Mantenimiento	Menor mantenimiento.	Mayor mantenimiento.	Mayor mantenimiento.
Subterráneos y edificaciones en subsuelos	No apto.	No apto.	Apto.
Pisos	Hasta cuatro niveles.	Hasta dos niveles.	No tiene límites.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

1.2.3 EXPERIENCIAS EN LA ARQUITECTURA SOCIAL NORTEAMERICANA EN EL SIGLO XX.

1.2.3.1 Casas Kit O Casas Por Catálogo: Sears, Roebuck and Co. 1908-1940.

Las *casas kit*, también conocidas como *casas cortadas por el molino*, las *casas pre-cortadas*, las *casas listas*, las *casas de venta por correo*, o las *casas por catálogo*, eran un tipo de vivienda muy popular en los Estados Unidos y Canadá en la primera mitad del siglo XX. Los fabricantes de la casa del kit vendieron casas de diversos estilos, desde simples bungalows a las imponentes casas coloniales, suministrando a un precio fijo todos los materiales necesarios para la construcción, excluyendo el ladrillo, el hormigón o la albañilería, sólo necesarios para ejecutar la base o cimentación, que el cliente tendría que haber hecho particularmente.

Fue en Estado Unidos donde empezaron a surgir compañías dedicadas a la venta de casas de catálogo y kits, vendidas principalmente a través de correo, como fue el caso de Sears, Roebuck and Company [46], un minorista estadounidense. Un elemento habitual en cada hogar estadounidense fue el catálogo de *Sears, Roebuck and Co* [51]. Todo, desde calcetines hasta coches, estaba disponible a través de él. Y, finalmente, las casas también pasaron a formar parte del mismo.

Desde 1908 a 1940 la empresa *Sears, Roebuck and Co*, de Chicago fue el diseñador y productor más prolífico de viviendas prefabricadas del mundo. En esos años llegó a vender unas 100.000 viviendas a través de su catálogo “*Modern Homes*” de pedidos por correo. Las diferentes ediciones del catálogo llegaron a ofrecer casas prefabricadas para la venta en una asombrosa variedad de estilos y tamaños. Un pequeño equipo de diseñadores creó unos 447 estilos diferentes cuyos precios oscilaban entre 360 y 2.890 dólares. (Véase Figura 22).

\$1,995⁰⁰ and Our FREE BUILDING PLANS
WILL BUILD, PAINT AND COMPLETE, READY FOR OCCUPANCY, THIS MODERN NINE-ROOM HOUSE
HOW TO GET ANY OF OUR PLANS FREE FULLY EXPLAINED ON PAGE 2.

MODERN HOME No. 52
Concrete Block Construction. On the opposite page we illustrate a few of the materials we specify on this plan.

OUR \$1,995.00 HOUSE
Illustrated above, consists of nine good class rooms and bath, and a large front porch.

FIRST FLOOR:
Kitchen - 11 feet 6 inches by 11 feet 6 inches
Living Room - 14 feet 6 inches by 14 feet 6 inches
Breakfast Room - 11 feet 6 inches by 11 feet 6 inches
Bedroom - 11 feet 6 inches by 11 feet 6 inches
Bathroom - 5 feet 6 inches by 7 feet 6 inches
Front Porch - 14 feet 6 inches by 14 feet 6 inches

SECOND FLOOR:
Bedroom - 11 feet 6 inches by 11 feet 6 inches
Bedroom - 11 feet 6 inches by 11 feet 6 inches
Bathroom - 5 feet 6 inches by 7 feet 6 inches
Linen closet and bath.

The Arrangement of Our Houses
In each plan, every wall, floor, ceiling, roof, and window is shown in its proper position and specification. No matter what you build from our plans, you will be sure to have a house that is built right.

DO NOT ATTEMPT BUILDING WITHOUT PLANS. Don't pay an architect \$100.00 or employ an architect or draftsmen to make plans for you when you can get the plans for \$1.995.00. If you want to build a house similar to the house illustrated above, it would cost you from \$2,000.00 to \$3,000.00 more. See how you can get the plans for this house free on page 2.

Sears, Roebuck & Co., Chicago, Ill.

\$725⁰⁰ and Our FREE BUILDING PLANS
WILL BUILD, PAINT AND COMPLETE, READY FOR OCCUPANCY, THIS INVITING \$1,100.00 SIX-ROOM COTTAGE.
WE WILL EVEN ON PAGE 2 SHOW WE FURNISH, FREE, THE PLANS FOR THIS HOUSE, ON PAGE OF THE BOOKY BROTHER SHOWN IN THIS BOOK.

MODERN HOME No. 115
With Wood Fronting, Not Entered.

On the opposite page we illustrate a few of the materials we specify on this, our \$725.00 house.

The arrangement of this house is as follows:

FIRST FLOOR:
Parlor - 12 feet by 12 feet 6 inches
Bedroom - 8 feet 6 inches by 11 feet 6 inches
Kitchen - 14 feet by 11 feet 6 inches
Pantry - 4 feet 2 inches by 5 feet 6 inches

SECOND FLOOR:
Front Bedroom - 8 feet 6 inches by 11 feet 6 inches
Rear Bedroom - 8 feet 6 inches by 11 feet 6 inches
Large Attic - 14 feet by 11 feet 6 inches
All bedrooms have roomy closets.

Step: Width, 24 feet; length, 26 feet, exclusive of porch.

GOOD MATERIALS MAKE GOOD HOUSES
When planning our houses it is a question of how good, not how cheap. This statement is easily proven by referring to some of the materials we illustrate and describe on opposite page. In using our plans, you take no risk of getting poor materials, such as might occur if the work were done by some unscrupulous contractor. The mill work, specified in the list in each grade. You take no risk when building from our plans, as we positively guarantee every piece of material we furnish, and if each piece is not entirely satisfactory, it may be returned and your money will be refunded, together with all transportation charges.

BOOK OF MODERN HOMES Sears, Roebuck & Co., Chicago, Ill.

- a. Model No. 52; (\$782 to \$1,995), 1.908
- b. Model No. 115; (\$452 to \$1,096), 1.908

Figura 22. Modelos de casas Sears del catálogo “*Modern Homes*”, 1908. [51]



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Las casas kit, construidas a base de marcos de palos de madera, utilizaron principalmente el método constructivo balloon frame, que no requería un equipo de carpinteros expertos. Balloon frames were built faster and generally only required one carpenter. Los marcos de ``sistema globo`` se construían más rápido y en general sólo se requiere un carpintero. This system used precut Este sistema usó madera precortada de tamaños mayormente estándar (2 "x4" y 2 "x 8") para la ejecución de marcos. (Véase Figura 24).

Este tipo de casas se concibieron como estructuras permanentes y no temporales, tal y como explicó el gerente del departamento de madera de Sears, Roebuck, and Co a un comité del Senado de los Estados Unidos en 1919:

...Una casa prefabricada es una casa permanente y el método de su construcción no es diferente de cualquier otra casa de armazón donde la madera está cortada por los carpinteros con la longitud adecuada.

Un conjunto de empresas de más reducida escala pero no menos capacidad técnica, como *Gordon Van Tine*, *Aladdin* o *Bennett*, acompañaron a Sears en la Edad de Oro de las casas por correo. La madera pre-cortada y preparada, fue una innovación iniciada por *Aladdin* y fue ofrecida por primera vez por Sears en 1916. Antes de 1916, el constructor tenía que cortar la madera in situ. Estas casas anteriores a 1916 no se consideran generalmente "casas del kit" pero caen bajo definición de una "casa del catálogo". (Véase Figura 24).

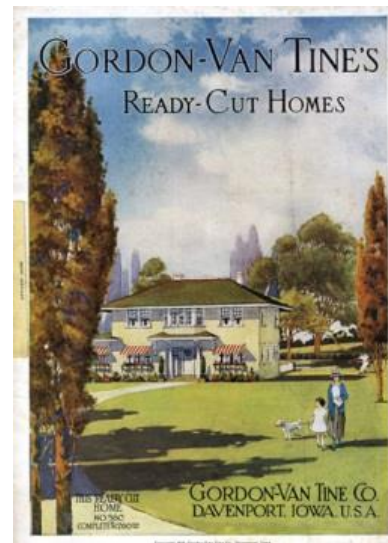


Figura 24. Sears Home n° 13394c-13394d, 1934. [51] **Figura 25.** Portada del catálogo de 1916 de Gordon-Van Tine. [51]

A diferencia de las casas modulares, que se construyen por secciones en una fábrica, en una casa kit cada elemento de madera es enviado, ya numerado y cortado, para ser colocado en un lugar particular de la casa, eliminando así la necesidad de medir y de cortar en el momento de su construcción. Los fabricantes de estos kits consiguieron con este método, que el cliente ahorrara entre el 30 o 40 por ciento de los costes respecto de los métodos tradicionales de construcción. Esta fue la descripción dada por el investigador Dale Wolicki de la fabricación de la casa del kit por la compañía de Gordon-Van Tine:



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Todos los diseños fueron estandarizados para maximizar la eficiencia y reducir los residuos de materiales y mano de obra. La madera y el hardware se compraron a granel. Las fábricas tenían empleados cualificados y máquinas especiales para cortar piezas difíciles, como vigas y escaleras. La madera fue cortada previamente, lista para clavar, y etiquetar para el montaje fácil. Se incluyeron viguetas y puentes, suelos, pisos terminados, vigas, revestimientos, tablillas, tejas, estucos, paneles de yeso, columnas, barandillas, puertas y ventanas, herrajes, clavos y pintura para dos capas exteriores. Fontanería, electricidad y sistemas de calefacción estaban disponibles por un cargo adicional. Aunque la madera y el hardware fueron estandarizados, los diseños no lo fueron y los compradores fueron animados a personalizar su pedido. Muchos modelos tenían dos o tres planos de planta, mientras que el exterior podía ser tablas, tejas, estuco, o enmarcado para el ladrillo. Las paredes, las ventanas y las puertas se podrían mover, agregar o eliminar. Porches, terrazas solarium, maceteros, enrejados, balcones, armarios empotrados, y una variedad de patrones de puertas y marcos estaban disponibles a un costo adicional.

Las instalaciones de fontanería, electricidad y los sistemas de calefacción no estaban incluidos en el precio de la casa, pero podían ser incluidos a un coste adicional. También se utilizaron por primera vez las tejas de asfalto ya que eran baratas de fabricar y fáciles de enviar e instalar. El uso de paneles de cartón yeso introdujo la técnica de *Drywall* y sustituyó de las técnicas de construcción de muros y rejas que requerían de carpinteros y yeseros especializados. Dicha técnica, permitió la reducción de precios, facilidad de instalación y protección contra incendios añadida. Sólo la ejecución de la cimentación atendía a los requerimientos de cada área del país, ya que la profundidad de la misma variaban por el clima y el terreno y si la casa estaba siendo financiada por Sears.

Sears comenzó a ofrecer planes de financiamiento en 1912. Los préstamos hipotecarios eran de 5 a 15 años con un interés del 6% al 7%. Las ventas alcanzaron su punto máximo en 1929, justo antes de la Gran Depresión. Para entonces, el modelo menos costoso era de US \$ 1.000 y el precio más alto fue menos de US \$ 4.400 (\$ 13.687 y \$ 60.225 dólares en 2013, respectivamente). Mientras que la financiación a través de Sears ayudó a muchos propietarios a comprar viviendas, la Gran Depresión condujo a un aumento del incumplimiento de pagos, lo que aumentó la tensión en la compañía. En 1934, Sears había dejado de ofrecer hipotecas, después de que la compañía se vio obligada a liquidar 11 millones de dólares en deudas incumplidas. Sears dejó de vender casas por un corto período de tiempo en 1934 antes de reiniciar las ventas. Las ventas se recuperaron lentamente mientras que Estados Unidos emergía de la Gran Depresión, pero en 1940 decidieron cerrar la compañía.

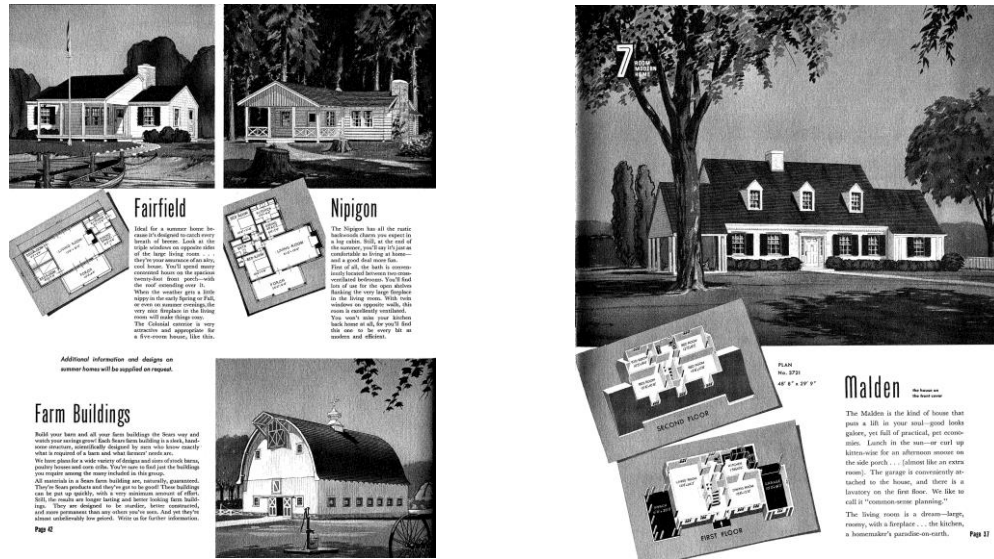
Sears Modern Homes después de 1940.

El último catálogo de *Sears Modern Homes* fue publicado en 1940. A pesar de que a veces se afirma que no se construyeron casas kit después de 1940, Sears continuó ofreciendo viviendas prefabricadas durante 1941 y 1942. Muchas de estas casas se basaban en modelos de Sears anteriores a 1940, lo que llevó a un debate sobre si estas casas se podían calificar como "*Sears Catalog Homes*". Muchos de estos hogares fueron construidos por Sears siguiendo el "Home Club Plan" y desarrollados en Nueva Jersey, Nueva York y Ohio.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamiento de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

También se construyeron viviendas para empresas industriales como Bethlehem Steel, que compró y construyó 61 viviendas de Sears en Hellertown, Pennsylvania. (Véase Figura 26).



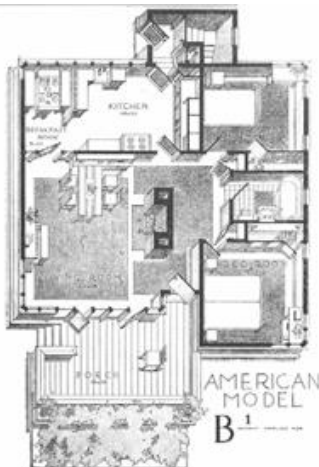
a. Model sin número ni precio, 1.940.

b. Model No. 3721; (\$2,641), 1.940.

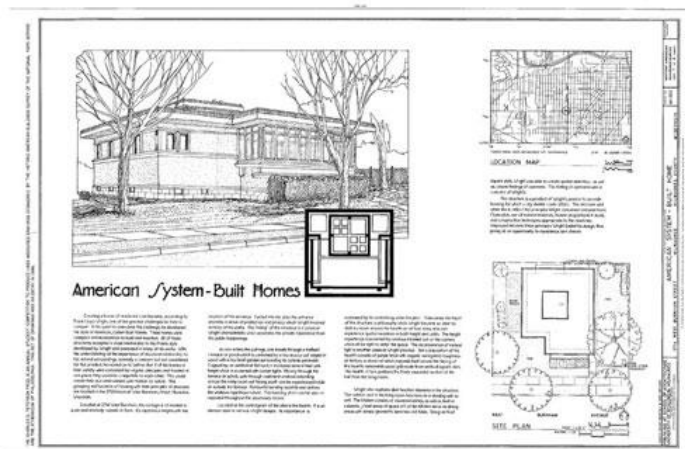
Figura 26. Modelos de casas Sears del catálogo “Modern Homes”, 1.940. [51]

1.2.3.2 Wright: 1911-1931

Frank Lloyd Wright fue el primer arquitecto importante en probar suerte con la casa prefabricada. Entre 1911 y 1917, Frank Lloyd Wright se asoció a las empresa constructora *Richards Company* de Milwaukee y produjo cerca de novecientos dibujos de un sistema de viviendas, llamadas “American System-Built Houses”, en las que la estructura de madera, los revestimientos, las vigas, las viguetas, el tejado, las molduras, las ventanas y las puertas estarían cortadas con precisión en taller de forma que no requirieran labores carpintería in situ, salvo el ensamblaje de piezas. [46]



a. Planta de Modelo de vivienda.



b. Cartel publicitario de modelo de vivienda.

Figura 27. Modelos de “American System-Built Houses”. [46]



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Wright comenzó a diseñar casas que podrían construirse en módulos en una fábrica y ser ensamblados en el lugar de destino final, por lo que las viviendas serían más asequibles mediante la reducción de los costes laborales. Estas casas llevaban el sello inconfundible de la visión de Wright, diferenciándose de los hogares ofrecidos en el catálogo de *Sears Roebuck and Co.* Wright aplicó a los modelos su propio estilo de “casas de la pradera”. No había ningún proyecto igual a otro ya que el concepto era diferente al de Sears, que presentaba un reducido número de variantes. Los componentes son iguales pero se ensamblan de forma personalizada para cada cliente. A pesar de una intensa campaña de marketing, el proyecto no captó clientes privados y pronto Wright lo abandonó ante la llegada de encargos más lucrativos. (Véase Figura 27 y Figura 28).

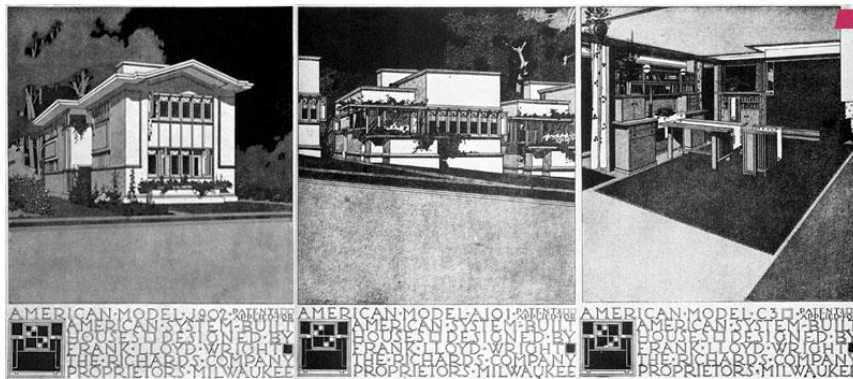


Figura 28. Carteles de modelos de “American System-Built Houses”. [46]

1.2.3.3 Casa Dymaxion. R. Buckminster Fuller. 1927

R. Buckminster Fuller sostenía que una buena casa se podría construir tan sistemáticamente como un buen coche y a esa idea corresponde el proyecto teórico de la casa Dymaxion, desarrollado a partir de 1927 y presentado al público en los almacenes Marshall Field de Chicago en 1929. El término que la nombra fue concebido por el departamento de relaciones públicas de los almacenes, enlazando las palabras más utilizadas por Fuller en sus explicaciones: dynamics, maximum y tension. Inspirada en los silos de grano de Siberia y en las tiendas nómadas de Asia Central, toda la estructura de esta casa hexagonal cuelga de un único poste de acero inoxidable central, con vigas radiales. (Véase Figura 29 y Figura 30).

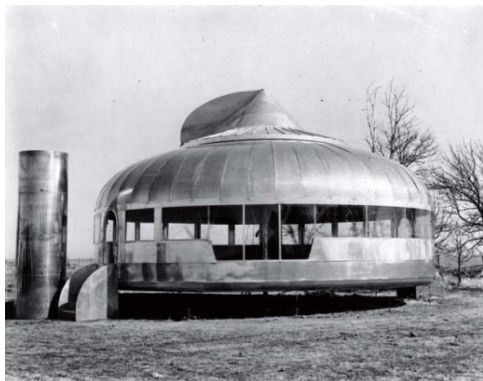


Figura 29. Prototipo Casa Dymaxion. [46]

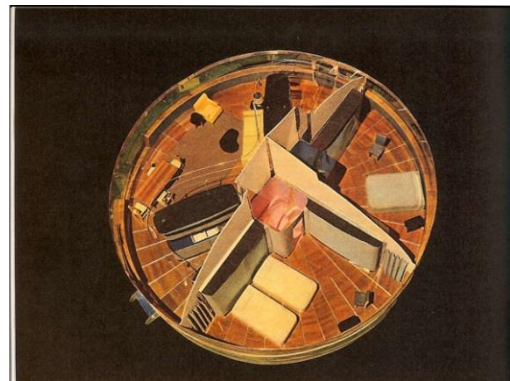


Figura 30. Planta Casa Dymaxion. [46]



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

El revestimiento se conforma con planchas de aluminio. Se construyeron únicamente dos prototipos de la vivienda, que nunca fueron habitados, y que fueron adquiridos por el inversor William Graham. En 1948 Graham construyó una tercera versión en la que llegó a vivir con su familia hasta la década de los 70. [46]

1.2.3.4 “The Packaged House System”, Konrad Wachsmann y Walter Gropius, General Panel Corporation, New York, 1941-1952.

Walter Gropius fue uno de los pioneros arquitectos contemporáneos que más se interesó en el tema de la prefabricación de viviendas. Uno de los ejemplos más interesantes en este campo es “*The Packaged House System*”. Este novedoso sistema resume el concepto de industrialización que Gropius venía persiguiendo años atrás: “la idea de industrializar la construcción de viviendas debe basarse en la repetición de unos mismos componentes, de su estandarización, lo que significa una producción masiva de estos elementos que abarata los costes. Es en las múltiples posibilidades de combinación y montaje de estos elementos donde está la clave para resolver infinidad de programas variados, donde radica la flexibilidad de un sistema estrictamente modulado”. La idea básica de este sistema es que se pudieran construir diferentes tipos de viviendas con componentes estándar de proporciones menores y de fácil ensamblaje, de manera que con el tiempo se pudieran seguir añadiendo módulos a la vivienda y de esta forma la planta creciera dependiendo de los requerimientos de cada familia. Se aunaban así los temas recurrentes de las viviendas desarrolladas por Gropius: la movilidad o facilidad de transporte y adaptación a diferentes localizaciones y climas, la adaptabilidad o la capacidad de generar muchos tipos de viviendas y variaciones con la combinación de componentes estandarizados, y el crecimiento o la expansividad de las viviendas añadiendo habitaciones de forma horizontal y vertical. (Véase Figura 31). La solución constructiva de este sistema es similar a la de las casas de cobre en Hirsch (1931). El elemento base son paneles de madera que son utilizados en las paredes, los techos, el suelo y la cubierta. Todos los paneles están basados en un mismo módulo de 3 pies por 4 pulgadas (0,9 m por 0,1 metros), de manera que la longitud total de los paneles es siempre múltiplo de esta dimensión. Así, las medidas de los paneles dejaron de ser tan rígidas y estrictas y aumentó su flexibilidad dimensional.

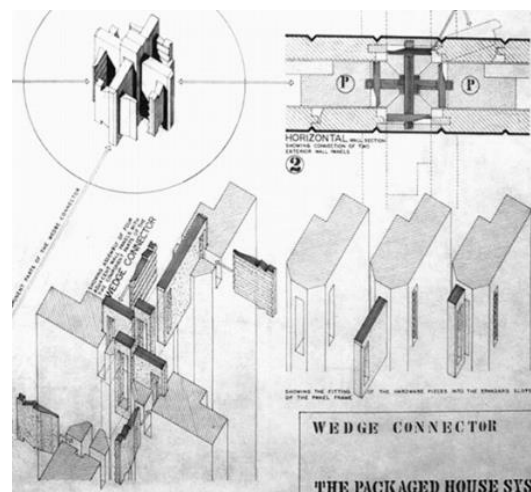
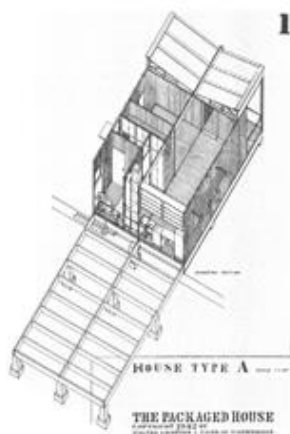


Figura 31. Perspectiva de vivienda tipo A. [50] Figura 32. Esquema de ensamblaje de paneles. [52]



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Se generaban entonces multitud de paneles modulados para conformar el suelo de las viviendas, cerramientos opacos o con diferentes combinaciones de huecos, techos, así como cubiertas planas o inclinadas. El resultado, además, mostraba que este módulo era suficientemente flexible como para permitir todo tipo de combinación, pudiéndose configurar así desde una planta libre hasta una totalmente compartimentada, una fachada cerrada o una en total relación con el exterior, espacios interiores de una o dos alturas, etc.

Otra de las características constructivas más significativas del sistema de "General Panel Construction" era que sus elementos estandarizados podían ensamblarse en más de dos direcciones (a diferencia de los paneles de las paredes de las casas de cobre de 1931). De esta manera, la tercera dimensión entraba en escena gracias a este nuevo sistema, puesto que los mismos paneles podían ensamblarse vertical y horizontalmente para formar paredes, suelos y techos. Esto era posible gracias a un sencillo sistema de conexión que permitía una unión en cuatro direcciones, es decir, esta misma unión era utilizada tanto vertical como horizontalmente, en uniones tanto de cerramientos entre sí en varias direcciones como de suelos y particiones entre sí. También es importante mencionar que los paneles se ensamblaban con este discreto sistema durante su construcción, de manera que la vivienda tomaba forma a voluntad de sus clientes: éstos formaban parte del proceso de diseño. (Véase Figura 32).

El desarrollo de este sistema fue estudiado de manera más detallada por Konrad Wachsmann durante varios años en Nueva York, profundizando sobre todo en el proceso constructivo completo y los medios que eran necesarios. Se resolvieron constructivamente diversas posibilidades de combinación de estos elementos, formando así viviendas de una sola planta, de dos plantas, individuales o colectivas, con cubiertas inclinadas o planas, etc.

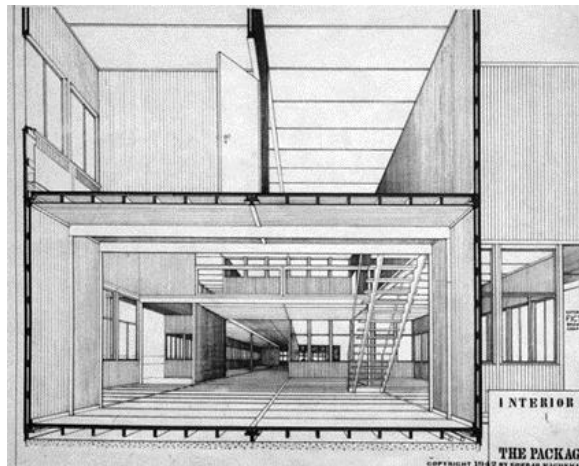


Figura 33. Perspectiva interior de un modelo de vivienda. [52]

En las imágenes expuestas se representa el modelo de conexión, así como todos los paneles y elementos con los que contaba el sistema en uno de los edificios dibujados por el arquitecto a modo de ejemplo que, a nuestro juicio, representa de una mejor manera las infinitas posibilidades de combinación de elementos que permitía el sistema. El objetivo de esta perspectiva es representar la riqueza espacial interior, centrándose en el espacio principal de una y dos alturas, así como la relación interior-externa que permiten los cerramientos, una de las mayores virtudes de este sistema. (Véase Figura 33).



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Tras los experimentos realizados en Long Island, Nueva York, comenzó la producción de este sistema a gran escala en California. Sin embargo, este sistema no tuvo una gran aceptación a nivel comercial. El sistema de diseño de estas casas era flexible pero el sistema de fabricación no tanto, se podía calificar como cerrado ya que era totalmente autónomo, limitado, homogéneo y compuesto por una serie de piezas diseñadas exclusivamente para estos módulos y elaboradas en una única fábrica. Tampoco se podían incorporar componentes estándar que existían en el mercado (como puertas y ventanas) ya que las dimensiones no eran compatibles.

El sistema ha demostrado sobradamente su gran valor, pero todavía ha de pasar algún tiempo para que se reconozca verdaderamente su importancia y las múltiples posibilidades de diseño que aporta. [52] [53] [54] [55] [56]

1.2.3.5 La gran expansión. 1930-1945

Durante la Gran Depresión la preocupación de las estadounidenses por una vivienda asequible aumentó. El diseño de elementos prefabricados para el hogar ganó interés en todo el país, tanto a través de catálogos de pedidos por correo como otros medios. El diseño de casas prefabricadas también comenzó a expandirse. Se utilizaron nuevos materiales, como el vidrio de la Casa Kecky y el hierro en las Casas de acero Stran.

Las casas prefabricadas de metal, desarrolladas durante la Segunda Guerra Mundial para atender las necesidades de vivienda rápida, reconocibles por su imagen de cobertizo, hicieron más daño que beneficio a la reputación de las casas prefabricadas.

1.2.3.6 Case Study House 1945-1966

Las *Case Study Houses* fueron experimentos en arquitectura residencial norteamericana patrocinados por la revista de John Entenza (después de David Travers) *Arts & Architecture*, quienes pagaron a los mejores arquitectos del momento, incluyendo a Richard Neutra, Raphael Soriano, Craig Ellwood, Charles y Ray Eames, Pierre Koenig y Eero Saarinen, para diseñar y construir casas modelo baratas y eficientes. (Véase Figura 34). [57]

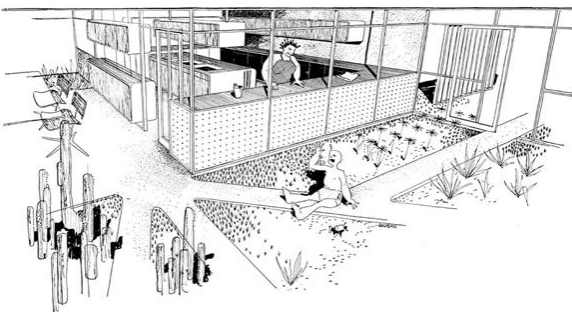


Figura 29a. Dibujo de CSH nº 4 Greenbelt House. Ralph Rapson.



Figura 29b. Dibujo CSH nº 8 Casa Eames. Charles & Ray Eames.

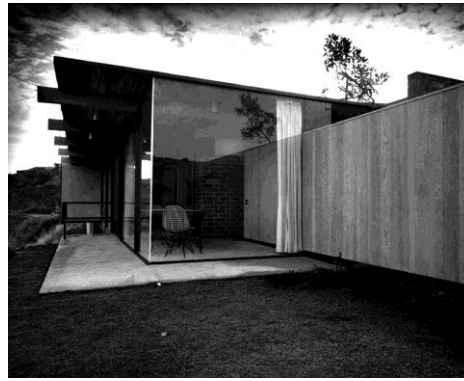
Figura 34. Dibujos de distintas Case Study House. [57]



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

La iniciativa se enmarcaba en el gran crecimiento de la demanda de casas residenciales en los Estados Unidos causado por el fin de la Segunda Guerra Mundial y el regreso de millones de soldados. La CSH #8 de Eames fue montada en forma manual en apenas tres días. El programa empezó en 1945 y terminó en 1966. Las primeras seis casas fueron construidas en 1948 y atrajeron más de 350.000 visitantes. Aunque no todos los 36 diseños fueron construidos.

La mayoría de los diseños que fueron construidos se realizaron en Los Ángeles, pero hay también unos pocos en San Francisco Bay Area y uno se construyó en Phoenix, Arizona. Algunos de ellos han quedado retratados en icónicas fotografías en blanco y negro, realizadas por el fotógrafo de arquitectura Julius Shulman. (Véase Figura 35).



a. Casa CSH nº 22. Pierre Koenig.

b. Casa CSH nº 18. Craig Ellwood.

Figura 35. Imágenes de viviendas construidas Case Study House. [57]

1.2.3.7 La decadencia: 1945-1990

A pesar de que distinguidos arquitectos como Wright, Fuller, Buckminster y Marcel Breuer trabajaron en casas prefabricadas entre los años 1930 y 1940, a finales de la Segunda Guerra Mundial, la era de las casas prefabricadas parecía haber terminado. La nueva clase media acomodada en Estados Unidos perdieron el interés, en su mayor parte, en estas viviendas de bajo costo.

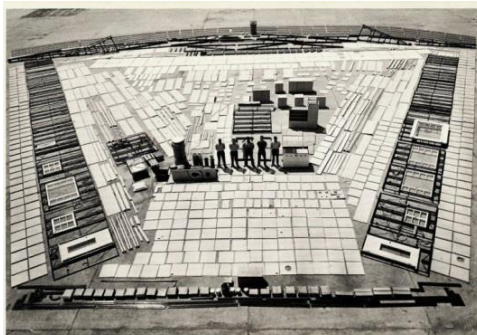


Figura 36. Exposición de los 3.300 componentes que formaban una Casa Lustron, 1949. [46]



Figura 37. Transporte de los componentes de una Casa Lustron. [46]



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Una excepción notable fue la Casa Lustron. (Véase Figura 36 y Figura 37). Al igual que en los Hogares de Acero Stran de la década de 1930, la Casa Lustron fue construida con paneles metálicos. Disponible en varias configuraciones diferentes, Lustron construyó alrededor de 3.000 viviendas entre 1947 y 1950, cuando la empresa dejó de producir. [46]

Aunque la construcción tuvo muchas señales de viviendas prefabricadas a partir de 1950, incluyendo el uso de la construcción modular, a partir de 1950, las casas prefabricadas se convirtieron en sinónimo de casas móviles.

Fue precisamente a mediados de los años 50 cuando se empieza a crear el germen de lo que hoy conocemos como casas prefabricadas. En un principio se pensó en viviendas modulares, tal como las que hay hoy día, que se construyen en un gran solar o fábrica, y que son transportadas hasta el lugar donde van a quedarse, al menos momentáneamente. Estas casas estaban pensadas para poder moverlas de sitio “fácilmente”, ya que se mantenían sobre un gran soporte con ruedas, que permitía engancharlas a un camión para trasladarlas de lugar. Estaban pensadas para aquellas familias que debían cambiar de ubicación cada poco tiempo, por temas laborales, por ejemplo, pero querían una vivienda más propia y grande que una simple caravana.

En los años 50, como decimos, surgieron los primeros modelos de casas móviles, de diferentes tamaños. Los había más pequeños, para una pareja, con apenas dos o tres estancias, que podían ser llevadas por cualquier coche, como si de un remolque se tratasen. Pero también se empezaron a fabricar casas más grandes, que debían de ser movidas con tractores o camiones más potentes. Estas casas estaban destinadas a familias más grandes, y a ser usadas de manera permanente, como las casas tradicionales, a las que se parecían en casi todo, con la ventaja de que podían ser fácilmente trasladadas de lugar si era necesario.

1.2.3.8 Levitt Homes. Levittown, Nueva York. 1957.

La empresa constructora Levitt and Sons, dirigida por Abraham Levitt y sus dos hijos, William y Alfred, promovió cuatro barrios de vivienda semiprefabricada, llamados Levittown [46], de los cuales el más destacado fue el primero, en Nueva York, donde en 1957 se construyeron 2000 viviendas de un único modelo, el llamado “Cape Cod”, a razón de cerca de treinta viviendas por día en algunos momentos. (Véase Figura 38).



Figura 38. Modelos Levitt Homes, 1957 [46]



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

El promotor Levitt fundamentó su sorprendente productividad en el desarrollo de métodos rápidos de construcción para mano de obra no especializada, basados en su experiencia con los Seabees en la 2ª Guerra Mundial: consiguió utilizar mano de obra no sindicada ni especializada, requiriendo únicamente unas mínimas habilidades en las cuadrillas.

Las casas se entregaban con zonas por terminar usuario, como la planta de buhardilla. Creía Levitt que las actividades de “hágalo usted mismo” del hombre de la casa serían tan importantes como la labor de los arquitectos, y declaraba con satisfacción: “Los propietarios han vestido sus casas con toques individuales como porches apantallados, miradores, garajes, zaguanes, vestíbulos, toldos, patios, farolas, celosías, cercas, etc.”

1.2.3.9 Casas modulares de hoy

Hoy en día, muchos arquitectos y diseñadores han revitalizado la casa prefabricada, sobre todo con la utilización del concepto modular, el diseño de productos que incorporan las mejores características de la prefabricación y la individualidad de las casas de construcción tradicional. Disponibles en una variedad de materiales de construcción, estilos y precios, las casas modulares modernas se basan en la rica historia de sus predecesoras.



1.3 ARQUITECTURA POPULAR EN EUROPA.

1.3.1 TIPOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS LIVIANAS EN EUROPA.

1.3.1.1 Casas prefabricadas antes de 1.900

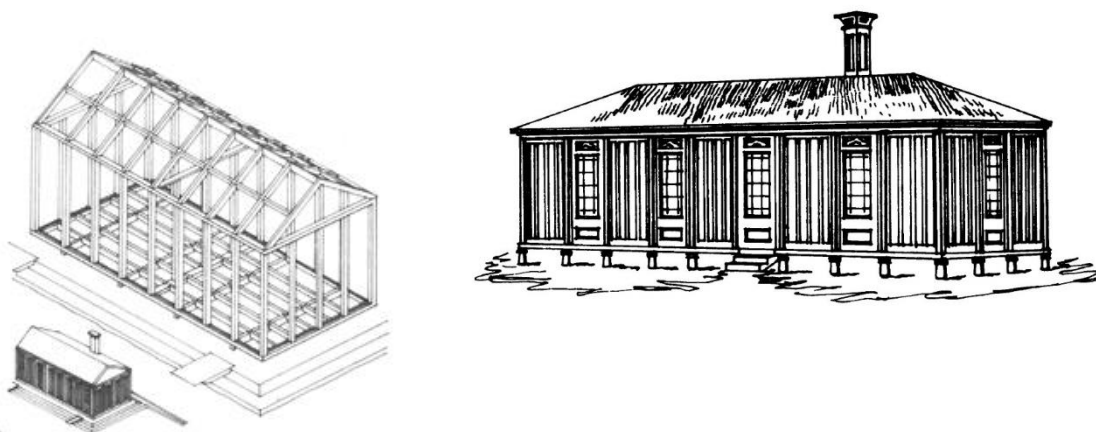
Antes de la revolución industrial, la construcción de viviendas prefabricadas era algo inaudito y casi imposible. Sin embargo, como la maquinaria se hizo cada vez más y más sofisticada, también lo hicieron los elementos que las líneas de montaje eran capaces de producir: Y las casas se convirtieron en uno de esos artículos.

El primer desarrollo importante en la historia de la casa prefabricada fue la Casa Manning portátil, diseñada en Inglaterra para ayudar la implantación de viviendas en la colonia de Australia. Para 1837, la Casa de Manning portátil se había convertido en una empresa exitosa de casas prefabricadas, con varios modelos disponibles para su envío a las colonias inglesas en todo el mundo. (Véase Figura 39).

La primera vivienda modular conocida fue construida en Inglaterra en el año 1833, con el lanzamiento del “*Portable Colonial Cottage*”, [46] [58] [59] [60] diseñada por el carpintero H. Manning para su hijo, uno de los muchos europeos que emigraron a Australia. Con ella pretendía conseguir una vivienda de fácil montaje y transporte, que además fuese económica. Su montaje consiste en el ensamblaje de listones de madera ranurados y atornillados entre sí. La estandarización de todas sus piezas facilitó su construcción. El revestimiento final de la vivienda se lleva a cabo con planchas de madera. El producto pronto se convirtió en un éxito comercial, con varios modelos de diferente tamaño y coste.

El prólogo del panfleto publicitario, redactado por el propio Manning siete años después, comenzaba:

“Los caballeros que emigran al nuevo asentamiento en el río Swam, en la costa oeste de Australia, encontrarán grandes ventajas en tener una vivienda confortable que pueda erigirse en unas pocas horas después del desembarco, con ventanas, puertas acristaladas y cerraduras, bisagras y el conjunto pintado de forma buena y segura, cuidadosamente empaquetada y enviada a los muelles”.



a. Perspectiva de la estructura de la vivienda *Portable Colonial Cottage*

b. Imagen en perspectiva de la vivienda *Portable Colonial Cottage*.

Figura 39. Imágenes de la vivienda *Portable Colonial Cottage*. [46]



1.3.1.2 Walter Gropius en Europa S. XX

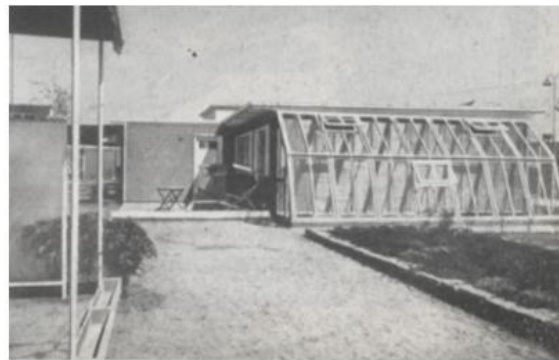
1.3.1.2.1 Casa Exposición de Berlín, 1931. Walter Gropius.

La Casa de Cobre y su sistema de construcción prefabricado aparece como solución a uno de los encargos realizados por una de las principales empresas industriales de cobre y latón, la empresa Hirsch. (Véase Figura 40).

Realizadas por Walter Gropius para la Hirsch Kupfer de Berlín, el novedoso sistema de prefabricación que permitía contar con una casa ampliable y desmontable. Fue exhibido, más tarde, en la Exposición Das Wascsende Haus (La Casa Ampliable), organizada en 1932 en Berlín, por Martin Wagner.



a. Modelo de Casa de Cobre 1. [61]



b. Modelo de Casa de Cobre 2. [61]

Figura 40. Diferentes modelos de Casa de Cobre, Exposición de Berlín, Walter Gropius, 1931.

Gropius plantea este sistema con soluciones realmente novedosas que suponen un gran punto de inflexión en ese momento, y que serán de vital importancia para investigaciones posteriores. (Véase Figura 41 y Figura 42).



Figura 41. Construcción Modelo de Casa de Cobre, Walter Gropius, 1931. [61]

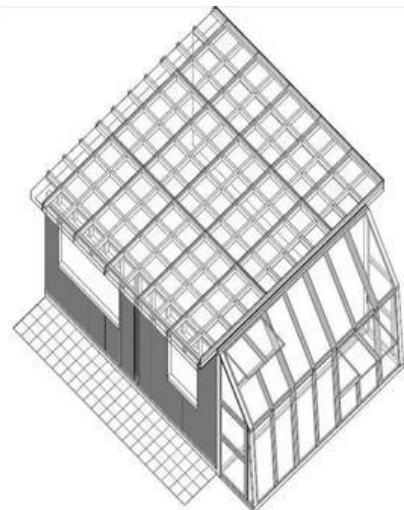


Figura 42. Perspectiva Casa de Cobre. [61]



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Algunas de las ventajas de estas casas prefabricadas y de fácil montaje son: eliminación de la humedad en el proceso de construcción, ligereza de las partes a construir, independencia de las condiciones atmosféricas; dado el carácter del montaje; reducidos costes de manutención gracias a la alta calidad de los materiales que, debido a la producción estandarizada presenta también ventajas económicas, y sobre todo la rapidez en la entrega.

El sistema se compone de una estructura de madera, en la que las partes prefabricadas se fijan in situ, aisladas por medio de láminas de aluminio. El revestimiento exterior es de cobre, mientras que el interno es con planchas de amianto- cemento. El sistema de cubierta se compone igualmente de una estructura de madera que forma un emparrillado, sobre el que se coloca el aislamiento y el tablero también de madera que soporta las planchas de cobre que completan el cerramiento.

Las viviendas cuentan además con una superficie anexa para utilizar como invernadero, pudiendo plantearse para el cultivo de plantas o de alimentos. Cuenta también con una superficie considerable como terraza o espacio libre al exterior.

Con la misma idea, Gropius distingue tres modelos de vivienda, según superficies y necesidades en cuanto a estancias. [61] [53] (Véase Figura 43).

- Vivienda menor. 50 m²+ 25 m² exterior. Planta del modelo mínimo.
- Vivienda intermedia. 90 m²+ 35 m² exterior. Mismo modelo con dos dormitorios más.
- Vivienda mayor. 130 m²+ 50 m² exterior. Mismo modelo con cuatro dormitorios.

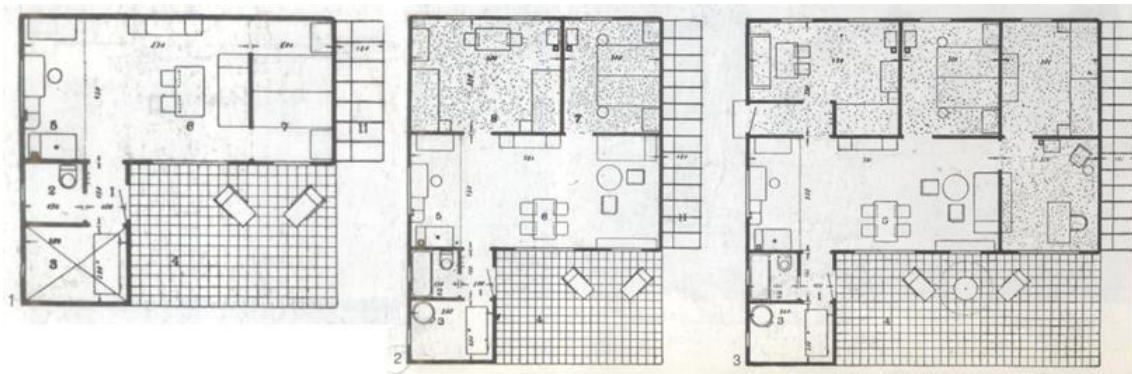


Figura 43. Dibujo en planta de tres modelos de vivienda. Casa de Cobre, Walter Gropius, 1931. [53]



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

1.3.1.2 Vivienda experimental para la Werkbund Exhibition, Walter Gropius, Stuttgart, 1927.

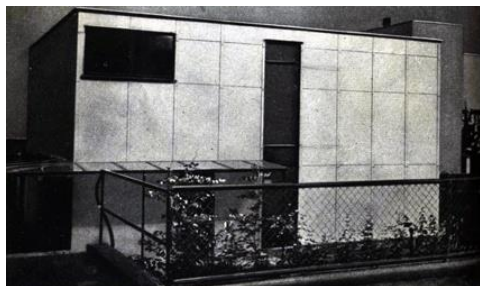
Walter Gropius proyectó para la Werkbund Exhibition de 1927 en Stuttgart dos casas enteramente prefabricadas (conocidas como las número 16 y 17). La racionalización de la casa unifamiliar y su total prefabricación tenía por finalidad proponer un nuevo modelo de vivienda de una forma renovada y económica. En esta entrada nos centraremos en el análisis y estudio de la casa 17. (Véase Figura 44).



Figura 44. Casa nº 17 para la Werkbund Exhibition, Walter Gropius, Stuttgart, 1927. [62]

La casa 17 tenía forma rectangular, y en ella se introducía una cuadrícula de 80 centímetros de lado que permitía una perfecta estandarización de todos los espacios, y todos los elementos constructivos. El recorrido de acceso adquiere una especial importancia en la vivienda. Gropius crea un juego en zigzag que empieza bajo la visera exterior, y termina en la planta alta, en un pequeño espacio de distribución caracterizado por su relación con el exterior a través la ventana de la escalera, perfectamente centrada en el espacio. Durante este recorrido, destaca la relación con el salón, la estancia principal de la vivienda, mediante una carpintería que permite la entrada de la luz desde la zona de la escalera.

El sistema de montaje se realizó íntegramente en seco. Consistía en un esqueleto de pórticos de acero, al que se le adosa una estructura auxiliar mixta de acero y madera, con paneles aislantes de corcho. Posteriormente, la estructura quedaba recubierta con chapa. Por supuesto, todas las medidas de los paneles, y los huecos de puertas y ventanas, estaban perfectamente estandarizados, ayudado por la cuadrícula que hemos mencionado anteriormente. [62] [52] [63]. (Véase Figura 45).



a. Prototipo construido de Casa nº 17.



b. Construcción Prototipo de Casa nº 17.

Figura 45. Imágenes de Casa nº 17 para la Werkbund Exhibition, Walter Gropius, Stuttgart, 1927. [62].



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

1.3.1.2.3 Colonia Törten, Walter Gropius, 1928.

El trazado de la colonia es obra de W. Gropius. Se trata de una colonia de viviendas que consta únicamente de casas adosadas de dos plantas y con jardín trasero y para la cual se emplearon materiales prefabricados y estandarizados para rebajar sus costes. Eran casas baratas y se llegaron a hacer hasta tres fases. Cada fase aproximadamente se realizaba en 88 días y se hacían 130 viviendas. Al final se realizaron un total de 316 viviendas. El proceso de trabajo estaba previamente calculado y fijado por escrito por los talleres de la Bauhaus.

Las viviendas eran fabricadas en la obra pero como cintas de montaje. Los muros medianeros están hechos de bloques de piedra artificial a base de hormigón de escoria y las vigas son de hormigón armado. Varios planos verticales son de ladrillo de vidrio, como se puede observar en la parte trasera de la vivienda. Utiliza ventanas muy horizontales y cubiertas planas. Los interiores de las viviendas están diseñados con bajo coste y todo es muy rústico, de hecho los hornos y las bañeras están realizadas con hormigón. [64] [65] [66] (Véase Figura 46).

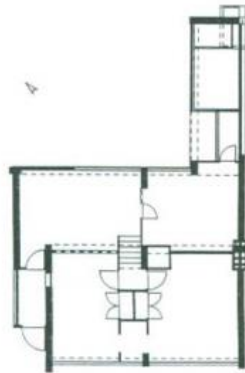


Figura 41a. Planta de la vivienda.

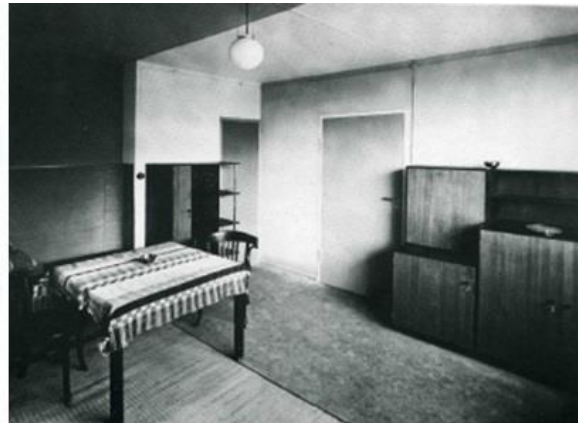


Figura 41b. Interior de vivienda de la Colonia Törten.

Figura 46. Imágenes de vivienda de la Colonia Törten, Walter Gropius, 1928. [64]



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

1.3.1.2.4 Weissenhof Housing, Walter Gropius, Stuttgart, 1927

La vivienda que se presenta formó parte de la Exposición Weissenhof Siedlung, celebrada en la ciudad de Stuttgart en 1927. Esta exposición se entendía como una búsqueda de las viviendas del futuro, un área donde poder profundizar en la investigación de nuevos materiales y técnicas de construcción. Para este propósito, Mies van der Rohe, presidente de la Werkbund y gestor de la exposición, invita a dieciséis de los arquitectos más vanguardistas del momento. Entre ellos podemos encontrar a Le Corbusier, Peter Behrens, Bruno Taut o Walter Gropius.

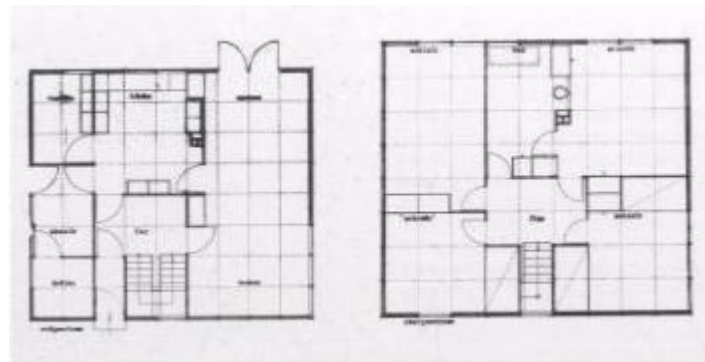


Figura 47. Planta de una vivienda, Gropius, Exposición Weissenhof Siedlung, Stuttgart, 1927. [66]

El proyecto se desarrollaría en una colina, en la ladera de la Killesberg, desde donde se domina el resto de la ciudad. Consistiría en la construcción de un modelo de barrio formado por 60 unidades residenciales (dos de ellas a manos de Gropius) cuyas viviendas estarían destinadas a la compra o alquiler tras la exposición. (Véase Figura 47). Gropius apostaba por la producción masiva de viviendas, realizadas mediante componentes prefabricados que permitiesen la combinación de distintas partes para crear diferentes formas. Todos los componentes se producían industrialmente y luego se ensamblaban en el sitio. La estructura es de acero, y las paredes están hechas de bloques de corcho expandido y fibra, de 8 cm. de espesor, para garantizar el aislamiento. En las construcciones prefabricadas, esta nueva forma de edificar, Gropius ve el comienzo de una nueva e importante era tecnológica en el campo de la construcción. [66] [52] (Véase Figura 48).



a. Construcción de la vivienda,



b. Prototipo construido de la vivienda.

Figura 48. Imágenes de vivienda, Gropius, Exposición Weissenhof Siedlung, Stuttgart, 1927. [66]



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

1.3.1.2.5 Baukasten im Großen, Walter Gropius y Adolf Meyer, Weimar, 1922

Baukasten im Großen (traducido al español, módulo de gran tamaño) es un proyecto no construido, en el que se presenta un nuevo sistema constructivo propuesto por el arquitecto Walter Gropius, en colaboración con Adolf Meyer. El proyecto fue desarrollado en la Bauhaus, mientras ambos ejercían como docentes en esta escuela.

Se trata de un proyecto de gran importancia, pues plantearía las bases para el cambio radical que sufriría el concepto de casa y de habitar durante la primera mitad del siglo XX en Europa, y concretamente, en la Bauhaus. Fue la semilla de su fascinación por la prefabricación.

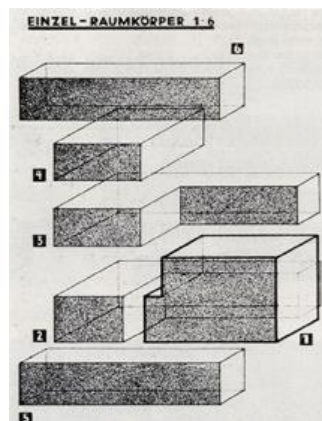


Figura 49. Sistema constructivo Baukasten im Großen, Gropius y Adolf Meyer, Weimar, 1922. [67]

Este modelo consiste en una serie de 6 módulos (Véase Figura 49), cada uno diferente, rectos y de formas cuadradas (cúbicas), que permite la combinación para el diseño del habitáculo según el número de residentes y sus necesidades concretas. Lo realmente interesante es que, pese a estar planificados como módulos básicos estandarizados, permite una gran flexibilidad en su disposición, creando diferentes estructuras de gran variedad.

El material utilizado fundamentalmente es el hormigón de escoria, que se alterna con madera, acero y cristal; se creó una combinación inesperada, original. Los autores han decidido regularizar y normalizar el habitáculo conocido como vivienda, con una intención clara: la productividad y el precio, las claves para resolver el problema de la vivienda en la Europa de la época.

La organización del espacio se crea en torno a un espacio principal (módulo 1), al que se van añadiendo habitaciones secundarias a su alrededor (módulos 2-6), en planta y en sección; combinando los seis módulos, conseguimos las distintas tipologías de viviendas prefabricadas que pueden observarse en la imagen. (Véase Figura 50). Esta propuesta había culminado por primera vez las consideraciones sobre la construcción económica enunciadas por Walter Gropius en 1910: “El logro de objetivos de la construcción residencial, superando las tendencias contrarias: la máxima estandarización posible y la máxima variedad posible de la vivienda. Estandarización de los elementos básicos de construcción, que podrán agregarse según distintos módulos de viviendas”.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamiento de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Los proyectos de los Baukasten im Großen se presentaron en la exposición de 1923 mediante documentación gráfica y maquetas. Se hizo acompañado de un texto, en el que se expresaba la idea de casa como “máquina de habitar”, enunciada por Le Corbusier años antes. A pesar de que nunca se construyeron, estos diseños prototipos sirvieron como punto de partida para diversos proyectos de producción industrial de bloques residenciales, una vez que la Bauhaus se trasladó a Dessau unos años más tarde. [53] [67] (Véase Figura 51),

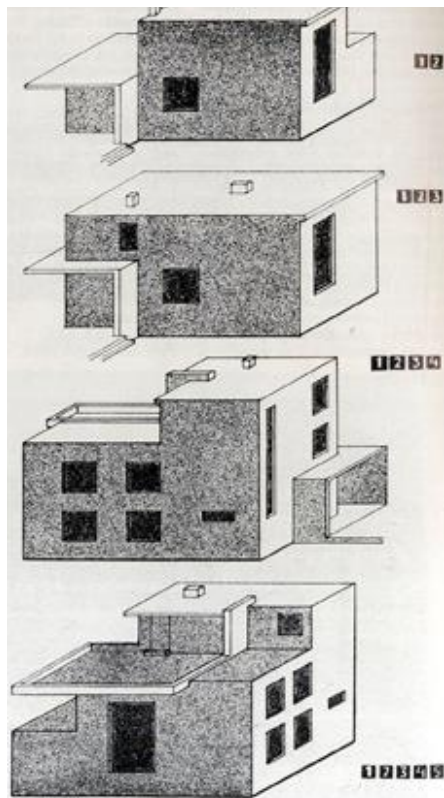


Figura 50. Esquema de crecimiento de prototipo de vivienda Baukasten im Großen, Walter Gropius y Adolf Meyer, Weimar, 1922. [67]



Figura 51. Distribución prototipo de vivienda Baukasten im Großen, Walter Gropius y Adolf Meyer, Weimar, 1922. [67]



1.3.1.3 Otras iniciativas europeas en el S. XX

1.3.1.3.1 Casa de acero Muche-Paulick. Georg Muche y Richard Paulick. 1926.

Coincidiendo con la inauguración del edificio para la sede de la Bauhaus en Dessau, en 1926 se presentó un prototipo de vivienda prefabricada metálica diseñada por Georg Muche y Richard Paulick. (Véase Figura 52 y Figura 53). [68]

La casa fue materializada por la empresa Carl Kästner de Leipzig, dedicada a la maquinaria especial y a las cajas fuertes. La casa se construye con una estructura ligera de montantes en I o en T. Dicha estructura se reviste con planchas metálicas Siemens-Martins de 3 mm de espesor, selladas con pletinas metálicas en las uniones, que se impermeabilizan con juntas de goma. Una cámara de aire de 60 mm separa el revestimiento interior de la cara interior: un panel aislante de lana de roca sobre una base de fibras que se termina con un enlucido. El módulo geométrico es de 1.5 m, demasiado ancho para puertas y ventanas, que no lo ocupan completamente.

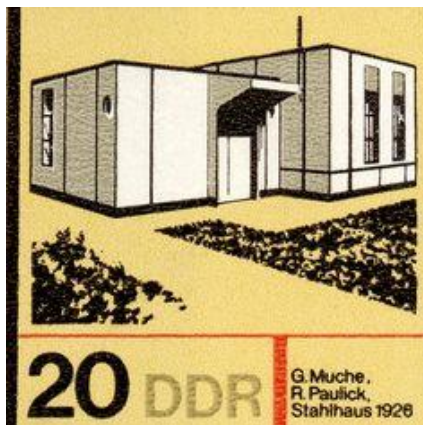


Figura 52. Cartel Casa de acero, Muche-Paulick. Georg Muche y Richard Paulick. 1926. [68]



Figura 53. Dibujo de planta de Casa de acero, Muche-Paulick. Georg Muche y Richard Paulick. 1926. [68]



1.4 ARQUITECTURA POPULAR EN SUDAMÉRICA.

La prefabricación industrializada adquiere gran impulso a raíz de la Segunda Guerra Mundial, ante la necesidad de construir en corto plazo millones de viviendas en una Europa devastada.

Años más tarde, los arquitectos, ingenieros y técnicos de América Latina, ante la inmensa tarea de dar respuesta al problema habitacional ven con interés la posibilidad de construir bajando sus costos y aumentando su productividad. Los organismos estatales prevén por este medio la solución del pavoroso déficit de viviendas ya crónico.

Entre 1955 y 1980, Latinoamérica vivió su particular eclosión de arquitectura moderna, edificios que abandonaban la tradición colonial y se definían por las necesidades de su uso y emplazamiento.

Oscar Niemeyer (Brasil), Clorindo Testa (Argentina), Luis Barragán (México), João Batista Vilanova Artigas (Brasil, Escuela paulista) o Eladio Dieste (Uruguay), entre otros, dejaron su huella en ciudades surgidas de la nada (el trabajo de Niemeyer en la monumental Brasilia), o redefinieron barrios enteros en Ciudad de México, Caracas, São Paulo, Buenos Aires o Montevideo.

En los países sudamericanos, como en la mayoría de los lugares anteriormente vistos, la aparición de la arquitectura prefabricada e industrializada responde a un déficit habitacional que surge en diferentes procesos históricos. Ese déficit habitacional aparece en diferentes momentos históricos, especialmente como consecuencia de catástrofes naturales que afectan gravemente a la población, pero también por la situación económica, política y social de la mayoría de los países, ante la ausencia de políticas de vivienda social. A lo largo de los años y, ante la pasividad de los gobiernos, surgen iniciativas, ONGs y organizaciones encargadas de paliar este déficit y ofrecer alternativas habitacionales a la población.

Este es el caso de TECHO, antes conocida también como Un Techo para mi País (UTPMP), organización latinoamericana sin ánimo de lucro liderada por jóvenes de distintos países de América Latina y El Caribe, a través de la vinculación entre 400.000 voluntarios y pobladores. Nace en Chile en el año 1997 y en el 2001, a partir de los terremotos de El Salvador y Perú, el proyecto se expande a Latinoamérica, actúa en 18 países y ha alcanzado más de 94 mil viviendas de emergencia a la fecha.

La organización se dedica a promover la toma de conciencia entre menores de treinta años respecto a lo importante que es que los más necesitados cuenten con una vivienda. Hace especial énfasis en los asentamientos marginales para mejorar su calidad de vida y lleva a cabo programas de habilitación social.

En el año 2011, firmo una alianza de cooperación por cinco años con la Federación Latinoamericana de Colegios de la Compañía de Jesús (FLACSI), con el objeto de establecer un espacio de colaboración entre las Instituciones.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Hoy ya está presente en 19 países: Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador, El Salvador, Guatemala, México, Haití, Honduras, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, República Dominicana, Uruguay, Venezuela y cuenta con una oficina en Estados Unidos. Techo ha apoyado diferentes países que sufrieron catástrofes como terremotos. Fue el caso del terremoto de Perú de 2007, el terremoto de Haití de 2010, el terremoto y tsunami de Chile o la tormenta tropical Agatha a su paso por en Guatemala, ambos también en 2010.

Así, fue una de las primeras instituciones que reaccionó para ayudar a Haití después del terremoto de 2010 y luego recibió del BID fondos para construir 10.000 viviendas en ese país. Al terminar el año 2010 se habían construido 826 viviendas en ese país. Para conseguir financiamiento lo hacen a través de donaciones tanto de personas como empresas incluyendo algunas campañas novedosas.

A continuación, se va a profundizar en el desarrollo de la vivienda social con estructura ligera y prefabricada en Chile, por haber sido uno de los países pioneros en desarrollar políticas de vivienda social desde su gobierno y ser lugar de numerosas iniciativas y alternativas en este tipo de viviendas. También se analizará el caso de El Salvador, por ser el país donde se desarrolla el estudio experimental de este tipo de estructuras desarrollado en esta tesis.

1.4.1 CHILE.

En Chile se producen una serie de acontecimientos que marcan el punto de partida en la búsqueda de soluciones que respondan de manera eficiente a las catástrofes naturales.

En Enero de 1939 el terremoto de Chillan sacudió al país, destruyendo y deteriorando gran parte de la infraestructura de vivienda. Entre las obras principales del gobierno de Pedro Aguirre Cerda, se cuentan la fundación de la Corporación de Fomento de la Producción CORFO, con el fin de promover la industrialización del país, siendo su principal misión la creación de un plan de reconstrucción económica y de infraestructura, así como el desarrollo y nacionalización de las principales riquezas del país.

Múltiples empresas, dedicadas al acero, petróleo, cobre...se establecen gracias a la ayuda de CORFO. Con la puesta en funcionamiento de estas empresas y el apoyo de la CORFO, el país inicio un proceso de renovación tecnológica. El censo de 1952 indica que el 44% de las viviendas no deberían ser consideradas como tales ya que no cuentan con las condiciones básicas de seguridad e higiene. Por eso el déficit aproximado en ese entonces era de 500.000 viviendas y para dar una solución se requeriría construir un promedio de 35.000 viviendas al año.

Entre los años 50 y 60 se realizó en Chile un serio intento de implementar la prefabricación masiva con varios sistemas de tipo industrial como son: Sistema CIMET, GAMA, MARCHETTI, HELLENIT, ISOLITA, entre otros.

Durante los años 1948-53 la Empresa Constructora DESCO Ltda. realizó estudios y ensayos para lograr una racionalización de la edificación económica, buscando mayor velocidad de inversiones, mejor aprovechamiento de los materiales y una importante disminución del costo, sin sacrificio de la calidad principalmente en el aspecto de la duración y solidez.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

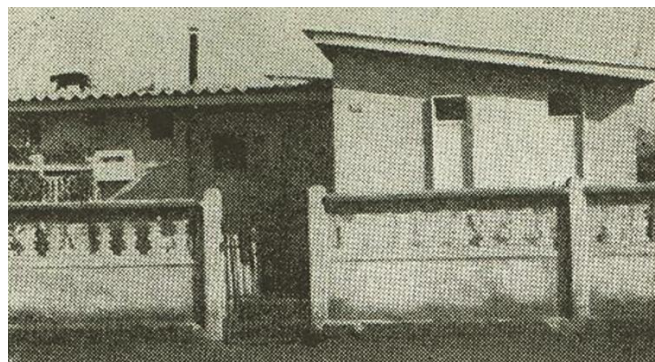
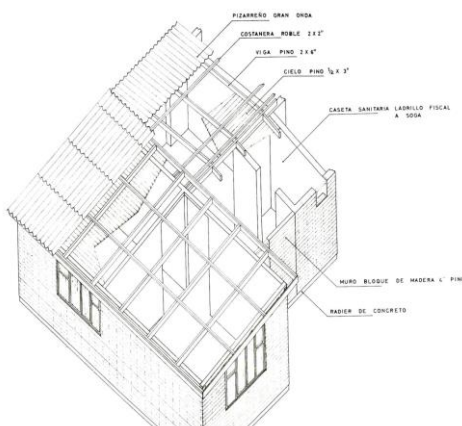
Estos estudios y experiencias llevaron a la formación de una Sociedad de Responsabilidad Limitada denominada “CEDESCO” (Casas Económicas DESCO Ltda.) que con un capital de \$400.000.000 de la época, perfeccionó el sistema y construyó una fábrica para la ejecución de paneles de hormigón armado con aislante térmico, instalaciones pre-embutidas y marcos de puertas y ventanas colocados.

Estos paneles sometidos a un proceso acelerado de fraguado por calor, eran transportados en camiones al lugar del montaje, donde previamente se había colocado un radier base, con las instalaciones correspondientes y eran montados allí formando una estructura de losas y muros, los que una vez unidos por medio de juntas especiales de hormigón armado, constituyeron casas sólidas, antisísmicas, incombustibles y bien aisladas del sonido y los cambios de temperatura.

Estas casas fueron terminadas colocándoles puertas, ventanas, pisos, artefactos y pintura en obra, logrando gran rapidez de ejecución y una presentación bastante aceptable en las casas de uno y dos pisos que se construyeron. Entre Mayo de 1955 y Septiembre de 1956 se montaron por este sistema 93.300m², lo que equivale a 1.866 viviendas para el plan de habitaciones obreras.

En el último siglo, Chile ha desarrollado numerosas experiencias de prefabricación para la vivienda, situándolo en el lugar de liderazgo en la región. Para el estudio y selección de los modelos históricos más representativos se revisaron las propuestas presentadas al concurso de Viviendas experimentales CORVI entre 1959 y 1962, que da inicio a un proceso de innovación en arquitectura prefabricada con un nivel de implementación líder en Latinoamérica. De estas viviendas se toman cinco casos que representan las diferentes y principales tipologías de casas [45]:

1. Vivienda en bloque de madera. Estructura de bloques prefabricados unidos con cola Kaurit. Cubierta de vigas de madera. Todo prefabricado excepto cimentación. Para ser habitada por 2 adultos y 6 niños. Buena resistencia y estabilidad y mal aislamiento térmico. Ejecución por autoconstrucción. Baja durabilidad. Resistencia al fuego satisfactoria. (Véase Figura 54),



a. Perspectiva de la vivienda.

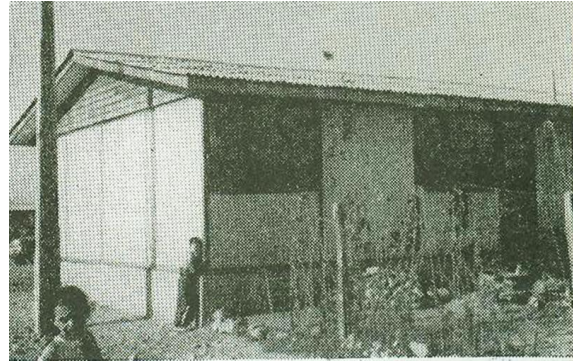
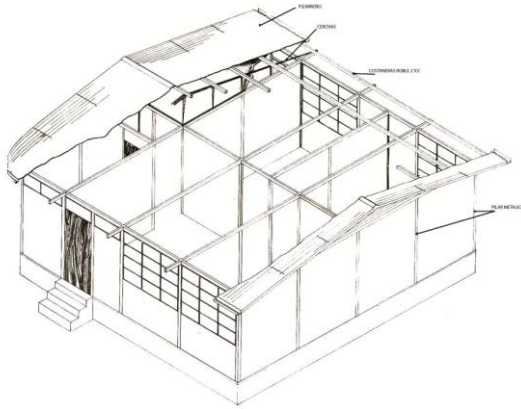
b. Imagen de la vivienda construida.

Figura 54. Vivienda experimental CORVI en bloque de madera, Chile, 1959-1962. [45]



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

2. **Casa Cimet.** Estructura de perfiles metálicos y paneles prefabricados. Cubierta de cerchas metálicas. Todo prefabricado excepto cimentación. Para ser habitada por 2 adultos y 6 niños. Buena resistencia y estabilidad y mal aislamiento térmico. Durabilidad y resistencia al fuego satisfactoria. (Véase Figura 55),

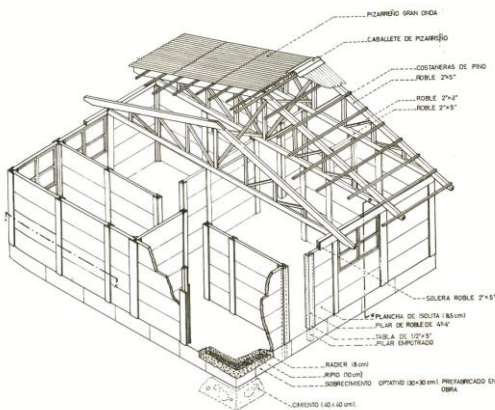


a. Perspectiva de vivienda experimental.

b. Imagen de vivienda construida.

Figura 55. Vivienda experimental CORVI, Casa Cimet, Chile, 1959-1962. [45]

3. **Casa Cholguán.** Estructura de madera y paneles de madera prensada. Cubierta cerchas de madera. Todo prefabricado excepto cimentación. Para ser habitada por 2 adultos y 6 niños. Buena resistencia y estabilidad y mal aislamiento térmico. Durabilidad escasa y resistencia al fuego baja. (Véase Figura 56),



a. Perspectiva de vivienda experimental.

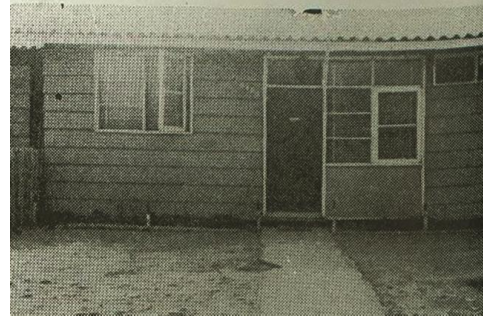
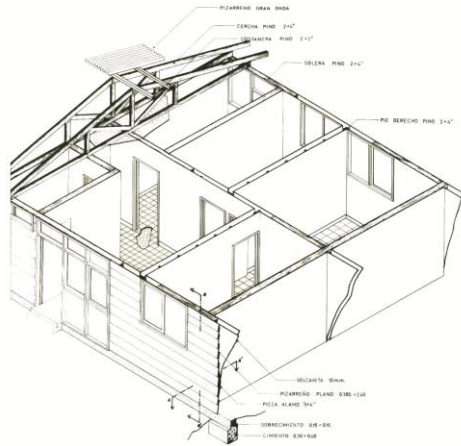
b. Imagen de vivienda construida.

Figura 56. Vivienda experimental CORVI, Casa Cholguán, Chile, 1959-1962. [45]



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

4. **Casa Desco 1960.** Estructura de madera y paneles de madera. Cubierta cerchas de madera. Todo prefabricado excepto cimentación. Para ser habitada por 2 adultos y 6 niños. Buena resistencia y estabilidad y mal aislamiento térmico. Durabilidad y resistencia al fuego satisfactoria. (Véase Figura 57),

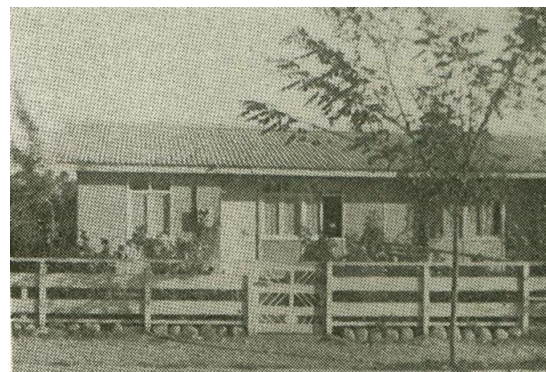
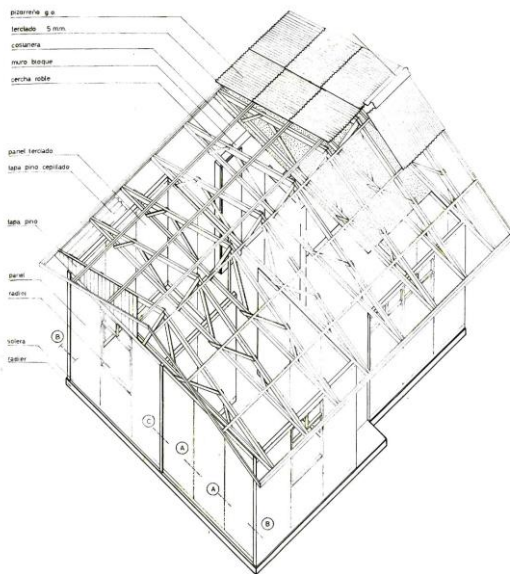


a. Perspectiva de vivienda experimental.

b. Imagen de vivienda construida.

Figura 57. Vivienda experimental CORVI Casa Desco, Chile, 1960. [45]

5. **Casa madera terciada Imasa.** Estructura de madera y paneles de madera terciada con hueco interior. Cubierta cerchas de madera. Todo prefabricado excepto cimentación. Para ser habitada por 2 adultos y 6 niños. Buena resistencia, estabilidad y aislamiento térmico. Durabilidad y resistencia al fuego satisfactoria. (Véase Figura 58),



a. Perspectiva de vivienda experimental.

b. Imagen de vivienda construida.

Figura 58. Vivienda experimental CORVI Casa madera terciada Imasa, Chile, 1960. [45]



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Posteriormente, la Casa Achurra, 1950, surgió a partir de los logros registrados a partir de las experiencias de los trabajos experimentales de la CORVI. De esta casa se evolucionó hacia las casas Elton, que tuvieron gran producción y éxito en el tiempo, que abrió el camino a muchas otras empresas de casas prefabricadas como Longisur, Délano o Urbina.

Surge como un proyecto de viviendas económicas con bloques prefabricados de Isolita, para la construcción masiva de viviendas de bajo costo. Produjeron cuatro modelos y el éxito de esta vivienda hizo que en 1956 iniciaran la industrialización de lo que se llamó “Las Casas Elton”.

El sistema de tabique Isolita, tenía versatilidad, liviandad y facilidad de montaje. Estaba hecho a base de planchas constituidas con partículas de madera, conglomerada con cemento y cal, estucadas por ambas caras. Las planchas tenían perforaciones en su interior y perfiles especiales para su unión horizontal. Esta estructura de madera y paneles se sostenía con pies derecho y utilizaba cubrejuntas de la misma madera.

- 6. Casa Elton.** Estructura de madera y paneles prefabricados isolita. Cubierta cerchas de madera. Todo prefabricado excepto cimentación. Para ser habitada por 2 adultos y 5 niños. Buena resistencia, estabilidad y aislamiento térmico medio. Durabilidad y resistencia al fuego buena. (Véase Figura 59). [45]

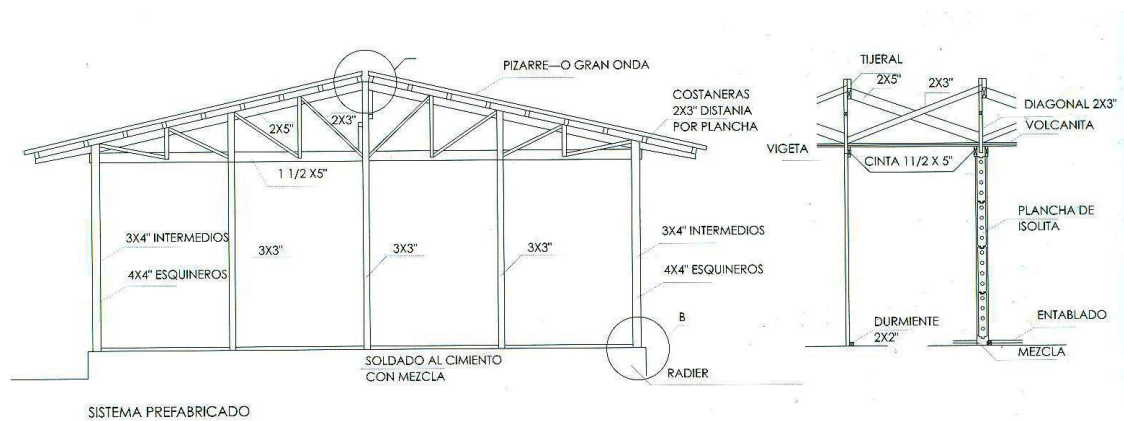


Figura 59. Detalles constructivos de la Casa Elton, Chile, 1956. [45]

Cuando hablamos de arquitectura prefabricada en Chile, la figura de Jorge Elton (1914-2004) surge como uno de los principales pioneros en esta materia. Fue innovador en el uso de nuevos materiales como el cristal, hormigón y prefabricados.

Elton fue parte de la generación que en los años 50' y 60' dieron los primeros pasos hacia una arquitectura contemporánea con un sello local, descubridores y creadores de nuevos materiales como base de la experimentación.

Finalmente, se revisaron ejemplos de experiencias contemporáneas en las que se ve la evolución de la vivienda prefabricada hacia propuestas técnicas que ofrecen solución a problemáticas específicas como rapidez o producción en serie.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Durante la reconstrucción tras sucesivas catástrofes, uno de los temas que más ha generado debate ha sido la calidad de la vivienda de emergencia. Si bien es loable el trabajo que ha hecho Un Techo Para Chile con la meta de construir 30.000 mediaguas para Junio de 2010, el tema del aislamiento (en especial por el cambio de estación a invierno en el sur de Chile) ha sido el que ha puesto a esta tipología en jaque.

Si bien se han presentado distintas soluciones de vivienda de este tipo a nivel proyectual, faltaba una solución más concreta, lista para ser comprada y armada, y con características que le permitieran no solo ser una vivienda de emergencia sino que el punto de partida hacia la vivienda definitiva.

Con este foco aparece la vivienda diseñada por ELEMENTAL con Tecnopanel (Véase Figura 60), cuyos principales atributos son:

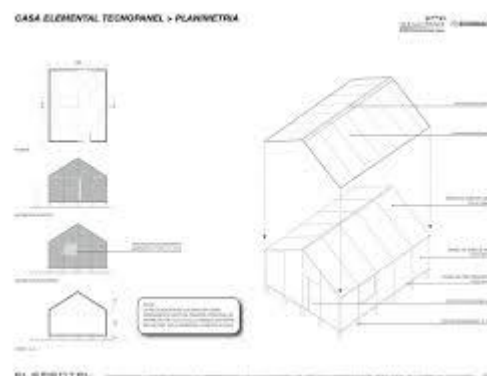
- Aislamiento térmico que ofrece a través de este panel tanto en muros como techo.
- Ventilación cruzada.
- Buena altura interior (2 a 3.5m).
- Comparada con una mediagua: 30m² (versus 18m² de la mediagua) de superficie y 80m³ de volumen de aire (versus 40m³); más confort espacial. Esta superficie puede conformar 2 dormitorios + living/comedor.
- Posibilidad de reutilización en vivienda definitiva

Se construyeron 10 de estas viviendas en Constitución. Además, se han asociado a SODIMAC para distribuir esta vivienda: se indica que hay disponibilidad de 1.000 unidades a un precio de \$1.990.000 con IVA incluido (precio puesto en fábrica de Santiago, no incluye flete, armado ni instalaciones).

7. Casa Elemental Tecnopanel. Estructura de paneles autoportantes de madera tipo SIP. Cubierta de paneles SIP. Un solo espacio habitable. Buena resistencia, estabilidad y aislamiento térmico y acústico. Durabilidad y resistencia al fuego buena. (Véase Figura 60). [45]



a. Imagen del prototipo construido.



b. Planta y perspectiva del prototipo.

Figura 60. Imágenes del prototipo construido Technopanel, Chile, 2010. [45]



8. Casas Marco Polo

La empresa Marco Polo Ingeniería ha aprobado en Chile un modelo de vivienda social destinado a la reconstrucción del terremoto del 27 de febrero de 2010. (Véase Figura 61). [69]



Figura 61. Prototipo construido Casa Marco Polo. [69]

Se trata de una vivienda de 62m² que excede los estándares dimensionales mínimos, tanto en planta como en volumen construido, y cumple con las exigencias estructurales, térmicas y de resistencia al fuego exigida en Chile.

La tecnología, basada en paneles de aislamiento de chapas de acero dispuestos horizontalmente entre columnas compuestas a partir de perfiles canal de acero, permite una construcción muy rápida y eficiente (tres semanas por cada una). La estructura de cubierta en base a perfiles galvanizados recibe planchas de cubierta aislada y se complementa con un cielo falso también aislado. Lo interesante del modelo es su sistema de fijaciones y conexiones apernadas que asegura una solución estructural limpia y una faena de montaje seca y sin excedentes. En la actualidad se han construido y/o están en etapa de construcción más de 150 viviendas en las zonas afectadas por el terremoto. Ejemplos como el expuesto amplían las perspectivas de la construcción en acero para soluciones de vivienda social e invitan a profundizar la investigación y a desarrollar nuevas propuestas, como lo expresan los impulsores de esta iniciativa.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

1.4.2 EL SALVADOR.

En El Salvador podemos encontrar numerosas instituciones que operan y trabajan por la población excluida. Es el Caso de FUNDASAL [70], Fundación Salvadoreña de Desarrollo y Vivienda Mínima, con 49 años de actividad, una institución sin ánimo de lucro, no gubernamental que gestiona y posibilita programas integrales de atención al hábitat y capacitaciones para garantizar su sostenibilidad.

Así mismo, es parte de una amplia red de relaciones con actores locales e instituciones nacionales, municipalidades, académicas y Oficinas de Planificación y Ordenamiento Territorial (OPLAGEST), y con organismos sociales representativos de los pobladores a nivel local y nacional.

Para impulsar estos procesos, FUNDASAL motiva y participa en diversas alianzas y espacios de coordinación, como:

A nivel nacional

- Movimiento de ONGD para el Desarrollo Solidario de El Salvador (MODES). Consorcio URBAN-MATTER
- Foro Permanente por el Desarrollo Integral del Centro Histórico de San Salvador (FPDICHSS).
- Instituto Salvadoreño de la Construcción (ISC).
- Grupo Gestor para la formulación de la Política Nacional de Vivienda y Hábitat y la formulación de la Ley Nacional de Vivienda y Hábitat (GG).
- Foro Nacional del Agua
- Miembro del Clúster de Alojamiento del Sistema de Naciones Unidas.
- Mesa Nacional de Justicia Climática

A nivel regional

- Coordinadora Centroamericana Autogestionaria por la Vivienda Solidaria, COCEAVIS.
- Coalición Internacional para el Hábitat, HIC-AL.
- Red Mesoamerikaab: Plataforma que promueve el uso de tecnologías constructivas con tierra.
- Foro Iberoamericano y del Caribe de Buenas Prácticas / ONU-HABITAT – ROLAC.
- Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, CYTED.

A nivel nacional FUNDASAL ha sido la institución asesora en procesos de formulación de Políticas y Leyes de Vivienda y Hábitat. Además, ha asesorado y transferido experiencias en mejoramiento de barrios a instituciones privadas y públicas como el Viceministerio de Vivienda y Desarrollo Urbano.

Además de iniciativas como el Proyecto Taishim, donde se han estudiado tipologías de viviendas con materiales prefabricados pesados, se están desarrollando en este país otras iniciativas de construcciones prefabricadas ligeras, que son las soluciones objeto de estudio de esta tesis. Todas parten de iniciativas privadas o de ONGs como Techo.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

TECHO [71] trabaja en El Salvador, en dos etapas fundamentalmente:

1a Etapa: Construcción de viviendas de emergencia

En un principio, los esfuerzos que TECHO realiza se orientan a satisfacer la necesidad de una familia a través de la construcción de una vivienda de emergencia.

El proceso de construcción establece los primeros vínculos de confianza con los pobladores y líderes de la comunidad, validando una relación que permite posteriormente un trabajo más permanente en las comunidades. Al mismo tiempo, se presenta como una oportunidad para que los jóvenes voluntarios se acerquen a la realidad de los asentamientos del país, a través de una experiencia social de alto impacto físico y emocional.

La vivienda de emergencia es una casa de madera prefabricada y armable por una cuadrilla de 8 a 10 voluntarios en 2 días. Una vivienda tiene 18 metros cuadrados (6 metros de frente por 3 metros de fondo) y cuesta US \$1,500, del cual la familia contribuye con un 10%.(Véase Figura 62).



Figura 62. Construcción del modelo TECHO, Comunidad Zona Verde, Nuevo Cuscatlán, 2016. [71]

Una vivienda de emergencia otorga a las familias un refugio que protege de la lluvia, el frío y posibles enfermedades, así como también provee seguridad y defensa contra la delincuencia. Estos resultados básicos tienen impactos importantes a largo plazo, por ejemplo: reduce enfermedades, mejora la seguridad y un lugar donde estudiar previene el abandono escolar en los niños.

Gracias al trabajo de esta organización se han obtenido las siguientes cifras:

- 2.173 viviendas construidas hasta junio de 2011.
- 8.000 jóvenes voluntarios se han movilizado en construcciones de viviendas de emergencia en más de 100 comunidades diferentes.
- 30 comunidades son en las que se trabajan actualmente con la segunda etapa del modelo de intervención de Habilitación Social.
- 126 Jóvenes participan en habilitación social todos los fines de semana.
- 20 jornadas médicas realizadas en comunidades.
- 25 capacitaciones de oficio implementadas.
- 714 personas capacitadas.
- 215 microcréditos entregados.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

2a Etapa: Habilitación Social.

El principal objetivo de Habilitación Social es disminuir el nivel de vulnerabilidad y exclusión social que tienen las familias que viven en extrema pobreza, focalizándose en movilizar los capitales físicos, humanos y sociales que cada uno de ellos tiene. Esto se realiza a través de la conformación de una mesa de trabajo, la cual es una reunión periódica entre pobladores de los asentamientos, voluntarios y otras instituciones, quienes se organizan para trabajar sobre las problemáticas de la comunidad. Otro de los objetivos de Habilitación Social es la consolidación de líderes comunitarios.

En esta instancia se ofrece herramientas y planes para apoyar la implementación de diferentes proyectos de desarrollo local, aprovechando las oportunidades que ofrecen en el mercado, el estado y la sociedad, y de esta forma superar su condición de pobreza de forma autónoma.

Actualmente Habilitación Social está trabajando con 29 comunidades entre ellas:

- Santa Lucía, San Julián, Sonsonate
- La Esmeralda, Tepecoyo, La Libertad
- San Antonio, Comasagua, La Libertad
- Altos del Matazano, Comasagua, La Libertad
- Altos de San Nicolas, San Salvador
- Chorro Abajo, Izalco, Sonsonate
- Los Amates, Tejutla, Chalatenango
- Santo Domingo, Guazapa, San Salvador
- Santa Anita, Cuscatlán, Cuscatlán
- Viuda de Alas, Soyapango, San Salvador
- El Canelo II, Nahuizalco, Sonsonate
- Los Carretos, San Miguel
- La Esperanza, San Miguel Tepezontes, La Paz
- San Luis, San Miguel Tepezontes, La Paz
- El progreso, Guazapa, San Salvador
- El Cristal, Tecoluca, San Vicente
- Las Vegas, Jicalapa, La Libertad
- El trébol, Santa Tecla, La Libertad
- Boca Poza, Cangrejera, La Libertad
- La Esperanza, Zacatecoluca, La Paz
- Tierra de Israel, San Pedro Masahuat, La Paz
- El Pimental, La Paz
- La Asunción, Ahuachapán
- Melara, La Libertad
- Nueva Santa Rosa Guadalupe, San Vicente
- El Llano, Metapán
- Tepetitan, San Vicente
- Los Ángeles, Santa Ana
- Tecualuya, San Luis Talpa, La Paz
- Los Héroes, Santa Ana
- La Cuchilla, Antiguo Cuscatlán, La Libertad
- El Tanque, Antiguo Cuscatlán, La Libertad
- Chorro Arriba, Sonsonate
- San Pedro Puxtla, Guazapa, San Salvador
- La Mascota, San Miguel
- San Benito, Cojutepeque, Cuscatlán



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Las herramientas y Planes que ofrece Habilitación Social son:

- Plan de Educación.
- Capacitación de oficios.
- Microcréditos.
- Plan de salud.
- Plan jurídico.
- Fondos concursables. [Fontecho].
- Plan agrícola.

Numerosas empresas privadas se suman a la iniciativa de esta ONG. En Septiembre de 2014 TECHO El Salvador inició la construcción de viviendas en asentamientos incorporando nuevas soluciones de Plycem, empresa líder de la industria de la construcción, con tres plantas de producción en Centroamérica, que destacan por ser productos a base de fibrocemento, de gran duración y resistencia. Este sistema constructivo será objeto de estudio y experimentación en esta tesis. Sobre las nuevas construcciones:

- La primera fase contempla la construcción de cinco viviendas.
- Los primeros beneficiados serán habitantes de la comunidad El trébol en Santa Tecla.
- De cara al fin de año, se espera la construcción de 101 viviendas en cuatro municipios del país.
- Los materiales de Plycem a utilizar serán: paredes internas y externas, Plyrock y entrepisos Fibrolit.

Los materiales se destacan por ser resistentes a impactos, resistentes al fuego y evitan la proliferación de plagas.

Las viviendas fueron fabricadas con 15 pilotes, cinco paneles de piso, ocho paneles de paredes, estructura de techo (vigas y costaneras) y nueve láminas.

El inicio de la construcción tuvo lugar en la comunidad El Trébol en Santa Tecla. En dicha comunidad, TECHO brinda su apoyo en las áreas de Infraestructura y Hábitat, Desarrollo Productivo y Educación.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Nuevo modelo constructivo de TECHO

El proceso anterior de construcción de viviendas de la institución, contemplaba el uso de madera previamente tratada con químicos. Sin embargo, tras la firma de un convenio de cooperación entre la compañía Plycem y TECHO, en mayo de 2014, se dio inicio al uso de materiales de fibrocemento. (Véase Figura 63 y Figura 64).



a) Colonia tipo Plycem.



b) Vivienda tipo Plycem.

Figura 63. Tipología de vivienda Plycem. [71]

Los materiales de Fibrocemento, de los cuales Plycem es pionero en la región, se caracterizan por ser una combinación de cemento con fibras sintéticas que dan por resultado, estructuras tan resistentes como el cemento y manejables como la madera, lo que brindará a las familias mayor calidad en la construcción de proyectos, convirtiéndose en una solución a las necesidades largo plazo. Así mismo, la resistencia del material permite aumentar la seguridad en las viviendas.



Figura 64. Detalle interior de vivienda tipología Plycem. [71]

La organización espera completar la construcción de 101 viviendas con el nuevo modelo constructivo, en tres municipios de extrema pobreza en el país.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamiento de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

La vivienda de emergencia construida en el Salvador consta de un módulo de aproximadamente 18 m² (6 mts. de frente por 3 mts. de profundidad), de madera, lámina o Sistema PLYCEM, con un costo aproximado de alrededor de \$ 2000.00 USD con un promedio de 111,11 \$/m²; que como su nombre lo indica, se construyen de manera provisional como reacción ante la necesidad post-desastre de las familias damnificadas. Dadas las deficiencias económicas de El Salvador durante los últimos 10 años, las viviendas de emergencia tienen un período de uso mayor a los 5 años.

Otra compañía que se suma a la iniciativa de TECHO El Salvador es TELUS International, que construyó 25 casas a familias de escasos recursos económicos en la comunidad Zona Verde del municipio de Nuevo Cuscatlán, La Libertad, en Noviembre de 2016.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamiento de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

CAPÍTULO 2. PROPUESTA CONSTRUCTIVA DE VIVIENDA AUTOSUFICIENTE Y SOSTENIBLE.



2.1 INTRODUCCIÓN

Con respecto a las actividades humanas Mies decía en un reportaje el 2 de junio de 1929: “...la vida exhibe hoy, sencillez y brevedad, las complicaciones de antaño no tienen hoy razón de ser natural es, por lo tanto, que nuestros edificios, nuestros muebles, el interior del hogar respondan a esta nueva y cada día más acentuada modalidad de vivir.” [72]

Estas palabras de Mies en 1929 adquieren hoy, más que nunca, relevancia y reflejan la actualidad. La modernidad de nuestros tiempos exige que, con los medios que disponemos, se resuelvan de manera rápida y eficiente, no sólo las necesidades constructivas cotidianas, sino aquellas que surgen como resultado de catástrofes que afectan tanto a países desarrollados, como a poco desarrollados. Al igual que en la época del gran maestro Mies Van Der Rohe, hoy en día las actividades humanas han cambiado conceptos, de comodidades, de valorización del confort, de arte, de tiempos de construcción, de expresión de monumentalidad, en síntesis, la vida entra en otra etapa donde tenemos otras necesidades, y es lógico que la arquitectura se modifique y adapte, al cambiar la manera de vivir.

“Hoy el factor de la economía hace que la racionalización y la estandarización sean imperativas en las viviendas, por otra parte la creciente complejidad de nuestros requerimientos exigen flexibilidad” (Mies Van de Rohe) [73]

La racionalización y estandarización es el camino para sintetizar procesos constructivos con los que responder a las necesidades contemporáneas que difieren poco de las surgidas a principios del siglo. El escenario continúa siendo el mismo, guerras que destrozán y asolan países completos, como es el caso del terrible conflicto bélico de Siria, o las últimas inundaciones y catástrofes que afectan a Perú. (Véase Figura 65).



Figura 58a. Un francotirador kurdo frente a Kobane, ciudad siria destruida por la guerra. [74]



Figura 58b. Imagen de la destrucción en Huarney, Ancash, Perú. [40]

Figura 65. Imágenes de ciudades destruidas en Siria y Perú. [74] [40]

A pesar de que existen numerosas iniciativas, como las vistas en el capítulo anterior, se observa poca participación de los organismos institucionales y gubernamentales. La mayoría de las iniciativas resultan ser ONGs o instituciones privadas sin ánimo de lucro que fomentan las relaciones para la creación de políticas de protección de los derechos de todos los ciudadanos a una vivienda digna. Alcanzar una verdadera racionalización y estandarización de las viviendas de emergencia, es un reto que sólo puede crearse desde los gobiernos, con planes de emergencia efectivos. Una producción industrializada de soluciones, haría competitivos los precios, y el fomento de la autoconstrucción, reduciría las tasas de paro y delincuencia en aquellos países donde son verdaderamente altas.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Así mismo, y para facilitar su transporte y ejecución, dichas soluciones deberían ser liviana y modulares, realizadas con materiales reciclables y resistentes a la acciones sísmicas y de viento.

La propuesta constructiva desarrollada en este capítulo consiste en plantear una solución para una vivienda realizada con estructura metálica ligera, integrada completamente por elementos de extracto seco, autoconstruible y adecuada para soportar las solicitaciones sísmicas y de viento características de países centroamericanos como El Salvador.

El objetivo será desarrollar una tipología de vivienda social en El Salvador, en la cual se optimicen las condiciones de salubridad, higiene, habitabilidad, seguridad estructural y constructiva a un coste mínimo. Algunos de esos parámetros, como son, el confort térmico, permeabilidad de los paneles, eficiencia energética...se plantearán desde el punto de vista teórico, dejando su ensayo y estudio experimental para futuras líneas de trabajo. Se adecuará dicha tipología al enclave mediante un análisis exhaustivo del medio físico de El Salvador y de los aspectos sociales y culturales que prevalecen entre la población salvadoreña.

Se redactará el proyecto técnico de un "kit" de alojamiento de emergencia temporal, que solucionará inicialmente y de forma rápida las condiciones de habitabilidad mínima en la población afectada, a un coste mínimo y con las garantías de resistencia obtenidas en la investigación. Dicho Kit se concibe inicialmente como alojamiento de emergencia pero con las garantías de permanencia en el tiempo a largo plazo.

Finalmente, dicha solución se extrapolará a otros países afectados por este tipo de catástrofes, así como, al uso como viviendas de protección oficial o VPO, autoconstruible, que proporcione salidas profesionales a la población desempleada. La intención no es conceder viviendas sin coste alguno, sino que esta forma de construir se convierta en un oficio para muchos y ayude a resolver problemas tan importantes, en este y otros países, como la delincuencia y el desempleo. Este es el caso del trabajo que realiza el Padre Pedro Opeka desde su fundación en Madagascar, donde combate la pobreza extrema con educación y trabajo. Ha construido más de 17 barrios en lugares donde antes había vertederos de basura y profesa que regalar la casa no es la solución. [75] (Véase Figura 66).



Figura 66. Viviendas sociales creadas por el Padre Pedro Opeka, Akamasoa, Madagascar, 2013. [75]



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Durante el trabajo de investigación previo a esta tesis se definieron las necesidades y condicionantes para la ejecución de dichas viviendas en El Salvador, incluidos en el Trabajo Tutelado de Iniciación a la Investigación [3], cuyos resultados más relevantes se describen a continuación:

Localización geográfica del proyecto.

El Salvador es un país localizado en América Central con una población de 6.350.00 habitantes (censo 2017). Debido a su extensión territorial (20.742 km²) tiene la densidad poblacional más alta de América continental. Aproximadamente el 37% de la población salvadoreña vive en zonas rurales. En nuestros días, 6 de cada 10 personas que trabajan en la agricultura son pobres; 1 de cada 4 viven en pobreza extrema, lo que significa que sus ingresos no cubren el costo de la canasta básica alimentaria establecida para el área rural, donde se asume que un hogar tiene 4,34 miembros. [6] (Véase Figura 67).



Figura 67. Mapa de Centroamérica. [6]

El presente trabajo se centra en uno de los municipios más afectados por los terremotos de 2001, Santa Tecla, también llamada Nueva San Salvador, cabecera del departamento de La Libertad en El Salvador, situada en la Sierra del Bálsamo, donde se evidenció la gran vulnerabilidad de la población rural de la cordillera y el nivel de pobreza en que se encontraban. (Véase Figura 68) [76].



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

La cercanía a la capital, San Salvador, de cinco a veinte minutos por la carretera principal pavimentada CA-4 dirección al Puerto de la Libertad, hace que estos municipios tengan un potencial muy elevado para convertirse en zona de nuevas urbanizaciones por distintas razones, entre las que cabe destacar, la buena conexión a través de transporte público, un entorno natural con clima fresco...

Las intervenciones en esta zona a partir de los seísmos del 2001 aumentan considerablemente, hasta tal punto que los proyectos ejecutados en la zona los últimos 2 años representan el 48% de los proyectos ejecutados en los últimos 20 años ejecutándose principalmente proyectos de vivienda, introducción de agua potable y acondicionamiento de las calles y caminos de acceso a las comunidades rurales.

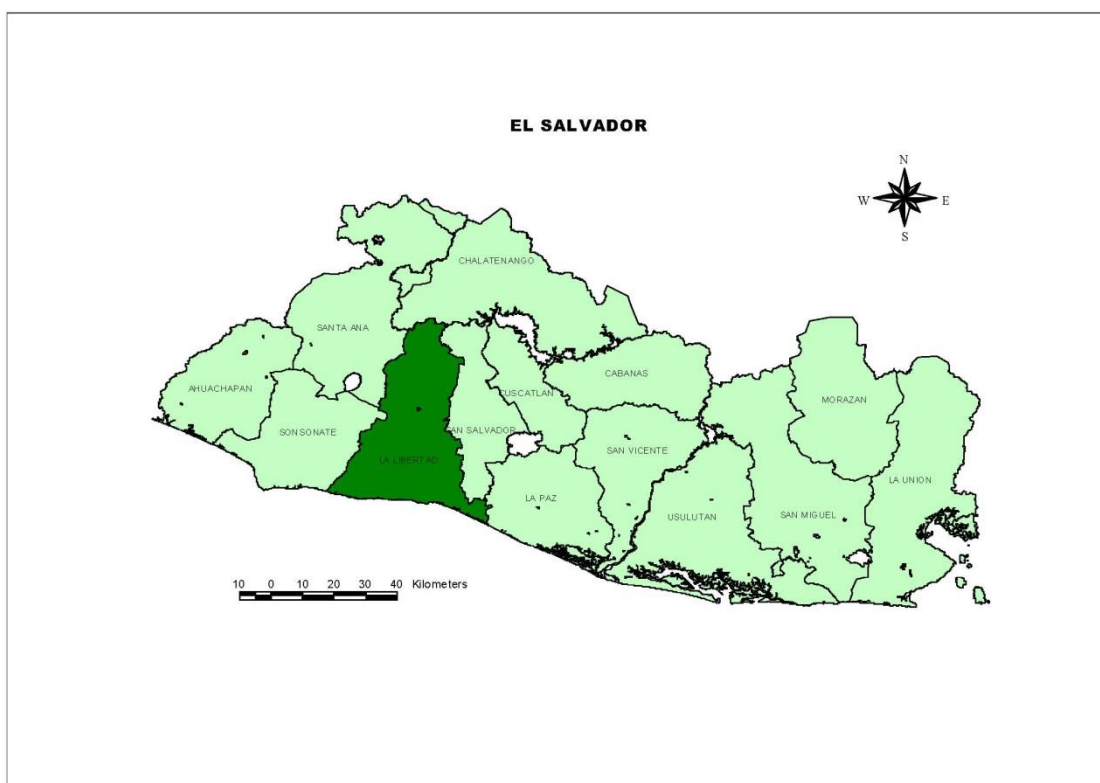


Figura 68. Mapa de los departamentos en los que se divide El Salvador. [6]

La zona elegida, Nueva San Salvador, al Sur del departamento de la Libertad, es susceptible a movimientos sísmicos, como todo el país, al estar comprendido dentro del Cinturón de Fuego del Pacífico. Forma parte del estrato geológico de San Salvador, y está conformado por formaciones volcánicas, tales como: corrientes de lava, pómez, cenizas volcánicas, etc. La Cordillera Volcánica se dispone en una línea de los volcanes, paralela a la costa y a la zona de subducción mar adentro, donde se genera el magma que los forma. Debido a su situación, estas zonas volcánicas han sido pobladas para el aprovechamiento de recursos naturales, ya que constituyen excelentes zonas agrícolas, tanto por la riqueza mineral de los materiales volcánicos, como por ser excelentes zonas de recarga de acuíferos.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Además de los anteriores, otros suelos que se encuentran en el municipio son: grumoses, litosoles y latosoles arcillo rojizos (estos tipos de suelo se encuentran en los valles interiores y en las planicies costeras con cierta disección) litosoles, regosoles y entisoles (que se encuentran en la fase ondulada a montañosa muy accidentada) [76]. (Véase Figura 69).

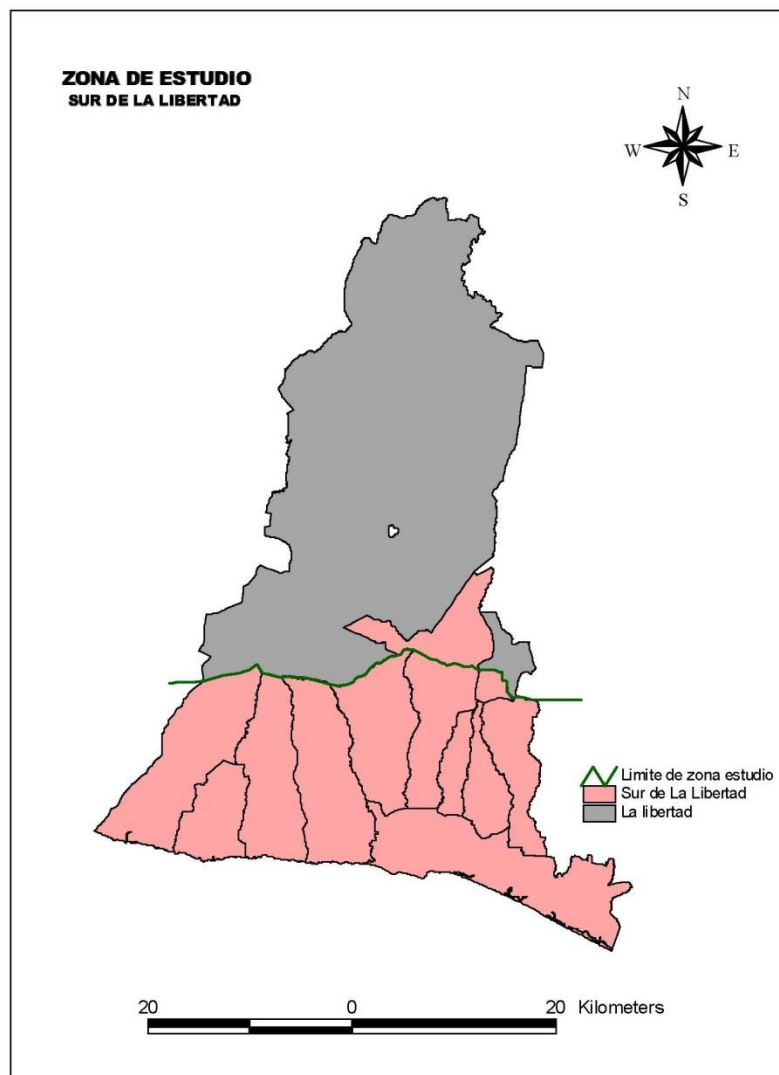


Figura 69. Departamento de la Liberta. Límite de la zona de estudio. [6]



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Demografía.

En las próximas décadas el número de personas mayores de 70 años casi se triplicará, se reducirá enormemente el número de hijos por mujer, se producirá una sobremortalidad masculina y aumentará la esperanza de vida al nacer, por lo que existe una tendencia descendente al número de personas por hogar [77].

Condiciones de las viviendas rurales.

Los hogares rurales, como conjunto, son los que más necesitan de un apalancamiento que les ayude a disfrutar de los beneficios del mundo de nuestros días: alimentación variada y nutritiva, agua potable y viviendas higiénicas, acceso a la educación y al mundo de los conocimientos, servicio eléctrico y acceso a redes de protección social, por citar algunos. El 53.5% de las viviendas rurales no poseen acceso a agua por cañería, solamente el 0.6% cuenta en sus hogares con inodoro conectado al sistema de alcantarillado y los hogares que cocinan con leña asciende al 55.3%.

Todavía un 21% de la población no es propietaria de los lotes o parcelas. Esto impide a cualquier organización, gobiernos locales, etc. desarrollar proyectos de infraestructura. Significa que aproximadamente 300 familias viven en situación irregular y no pueden ser amparados por proyectos de servicios básicos.

Como resultado de este análisis, se considerará que cada hogar en la zona rural contará con 3,5-4 personas (padre, madre y dos hijos) por vivienda. Las estancias de dichos hogares garantizarán las condiciones de habitabilidad de las mismas.

El porcentaje de viviendas construidas con materiales de poca resistencia ante sismos (adobe y bahareque) constituyen un 31% del total de viviendas en El Salvador; pero cuando se considera que el segundo terremoto de 2001 tuvo su epicentro en el área rural del país, en donde la importancia del adobe y el bahareque es significativamente mayor, esto indica la razón del número de muertes por fallas en este tipo de estructura. (Véase Figura 70).

La mayor proporción de las muertes humanas durante el terremoto de enero del 2001 fueron causadas por los deslizamientos que se generaron y por la ocupación humana de espacios cercanos a laderas o están ubicadas en laderas con alguna susceptibilidad a deslizamientos.

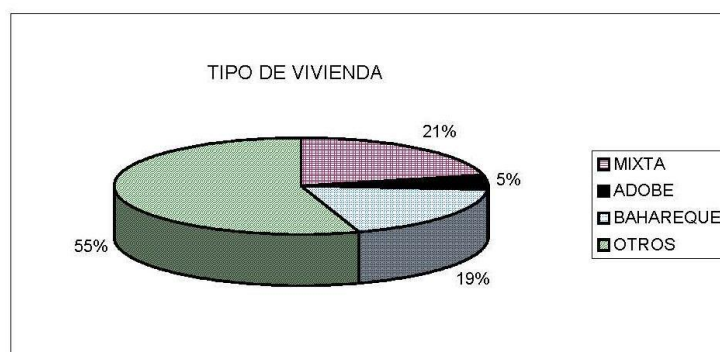


Figura 70. Porcentaje del tipo de vivienda en la zona de Nueva San Salvador (Santa Tecla). [76]



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamiento de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Infraestructuras de fontanería, saneamiento, electricidad e internet en zonas rurales.

En la actualidad no existen sistemas de abastecimiento y saneamiento de agua en la mayoría de las poblaciones rurales. Las viviendas se encuentran diseminadas, por lo que es difícil y costoso abastecer y llevar la infraestructura a cada una de ellas. El reto de este proyecto sería minimizar los costes de la vivienda hasta precios de 200 \$/m², reorganizando la población y haciendo que viviera en comunidad para ahorrar espacio, economizar medios de infraestructura e instalaciones sostenibles.

De ese modo, podrían contar con unidades habitacionales (ampliables) que girarían alrededor de unidades comunes de infraestructura, con depuradora, agua corriente, placas solares para A.C.S. y electricidad, cocina solar, patios y zonas verdes de dispersión... podrían ampliarse con unidades comerciales, de forma que la población pudiera instalar su propio negocio familiar o alquilar el local. Por lo tanto, se mantendría a la población ocupada y se reduciría la delincuencia. El crecimiento de esta colmena, celda a celda, se realizaría conforme fueran surgiendo nuevas necesidades entre la población.

En este proyecto se realizarán los cálculos de la instalación de fontanería para un consumo de 80 litros por día, considerando que existirá un sistema domiciliario de abastecimiento de agua, dejando como alternativa el uso de las cantareras (fuentes públicas) y como apoyo los tanques de agua de lluvia.

Por defecto se diseñan letrinas aboneras o fosas sépticas en zonas rurales dispersas. La solución más rentable es el saneamiento autónomo que consistirá en que cada familia disponga de un Biofiltro familiar, pero en nuestro caso prevalecerá una depuradora comunitaria, que ahorre costes.

Con base en la bioclimática, se determinarán las estrategias de diseño, con el objetivo de brindar confort térmico en las viviendas.

De los servicios básicos la electricidad es el que tiene mayor cobertura. Se podrá realizar una instalación eléctrica adecuada, pudiendo incluir la posibilidad de producir electricidad considerando energías alternativas como la solar mediante paneles fotovoltaicos.

El acceso de las familias salvadoreñas a internet, aspecto fundamental en el mundo de nuestros días, sigue siendo en general muy limitado. Pero esto se hace sentir más en el seno de los hogares rurales, donde solo el 0.5% cuenta con conexión, contra un 9.5% de los hogares urbanos.

Aunque algunas comunidades cuentan con calles pavimentadas, el acceso a la mayoría de las comunidades es por pistas de tierra. Una mayoría resultan intransitables durante algunos periodos del año. Paliar estas deficiencias en las vías de acceso es decisivo para la dinamización de la actividad productiva de las comunidades. La falta de infraestructura de agua potable, saneamiento y recogida de desechos sólidos es un problema generalizado en toda el área rural.

Educación.

Las brechas también son hondas en términos educativos y de acceso al mundo de los conocimientos. En las zonas rurales, las personas de 10 años y mayores que no saben leer y escribir alcanzan el 23%, mientras que en las ciudades el porcentaje se reduce a un 9% [77].



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Condiciones Económicas.

Los municipios de la Cordillera del Bálsamo, donde se encuentra Nueva San Salvador, han sido históricamente marginados de las inversiones y actuaciones de los organismos e instituciones nacionales e internacionales. A lo largo del tiempo, su estructura productiva ha sido predominantemente agraria y la dinámica económica de los pueblos y caseríos ha dependido principalmente de la caficultura y en menor grado de otros rubros menos rentables.

Esta zona fue una de las más afectadas por los terremotos de 2001, de una intensidad de 7,7 grados en la escala de Richter, que provocaron más de 1.100 muertes. Según el informe del Comité de Emergencia Nacional, los daños materiales ocasionados fueron; 160 derrumbes, entre los que se encuentran 4 de gran volumen, cuyos materiales suspendidos en el seno de los drenajes naturales, constituyen factores de riesgo para las comunidades que se ubican en su radio de influencia. Se perdieron alrededor de 13.000 viviendas, más de 11,000 viviendas fueron dañadas, de las cuales un 40 % no son utilizables, 13 beneficios de café destruidos y/o seriamente dañados que representan el 90% de los beneficios de café y numerosa infraestructura productiva. (Véase Figura 71).



Figura 71. Zona afectada en Las Colinas, Santa Tecla, El Salvador, terremoto enero 2001. [78]

A esto se suma la precaria situación de la actividad pesquera, que ha sido tradicionalmente de gran importancia económica para la población de la costa, dedicada a la pesca artesanal.

La última catástrofe a la que se ha visto afectado el país han sido las devastadoras lluvias de Octubre de 2011, que han provocado 32 muertes, la evacuación de 13,874 personas y pérdidas económicas aún no cuantificadas. El Gobierno de España, por medio de la Agencia Española de Cooperación Internacional (AECID), enviará 20 toneladas de ayuda humanitaria a El Salvador para socorrer a la población afectada por una semana de intensas lluvias. [69]



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamiento de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

El origen de este problema es que las alcaldías no tienen los recursos suficientes, económicos y en consecuencia técnicos capaces de definir Planes Directores, definir leyes y ordenanzas legales con los que poder controlar y regular fenómenos como las urbanizaciones actuales. [36].

Existen numerosos programas de ayuda y cooperación en la zona. Desde 1997, se publicó el primer informe de la oficina salvadoreña del Programa de Naciones Unidas para el desarrollo (PNUD) [6]. En la VII Cumbre Iberoamericana, celebrada en Noviembre de 2007 en Santiago de Chile, el presidente del Gobierno de España anunció la creación del Fondo de Cooperación para Agua y Saneamiento [79], comprometiendo el desembolso de 1.500 millones de dólares, a lo largo de un periodo de 4 años. El **Plan de Educación 2021** [80], con el cual las principales líneas de intervención son en los municipios más pobres del país. El **Programa de Cooperación Regional con Centroamérica. Programa de Mejora de la calidad educativa** [81]. El **Programa Patrimonio para el Desarrollo de la Cooperación Española** [82]. El **Plan Quinquenal de Desarrollo del Gobierno de El Salvador 2010-2014** [83] y en el **III Plan Director de la Cooperación Española 2009-2012** [84].

El **Fondo Social para la Vivienda de El Salvador** [85], es una institución de crédito autónoma, de Derecho Público, con personalidad jurídica, creada por Decreto Legislativo No. 238 del 17 de Mayo de 1973 del Gobierno de El Salvador. Nació como un programa de seguridad social en el que participan el Estado, los Patronos y los Trabajadores. Otorga el crédito al trabajador, quien elige libremente la solución habitacional que requiere de acuerdo a sus expectativas y capacidad de pago.

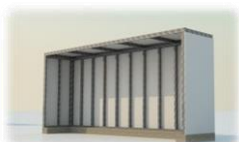
En Noviembre de 2010 se creó la **Propuesta de Anteproyecto y Ley Especial de Vivienda de Interés Social**. Dicha Ley tenía como objetivo desarrollar acciones públicas para reducir del déficit habitacional acumulado a medio y largo plazo y dar respuesta estructural a las necesidades de viviendas de interés social para la población salvadoreña con ingresos inferiores o iguales al monto de cuatro salarios mínimos. Esta ley tenía como objetivo la creación de la **Agencia Nacional de la Vivienda de Interés Social**, ANVIS.

En Enero de 2014 se realiza un informe **Política Nacional de Vivienda y Hábitat de El Salvador** [86], creado también para dar respuesta a la problemática habitacional de El Salvador. En este informe ya se indica que es una problemática que debe abordarse por parte de todos los actores: el Estado, la empresa privada y la sociedad civil.

Empresas suministradoras de construcción en El Salvador.

Tras la consulta a través de diferentes profesionales de la zona se comprueba la enorme disponibilidad de empresas suministradoras de todo tipo de materiales de construcción y mantenimiento de viviendas, así como, de perfiles para estructuras de acero galvanizado como GALVANISSA, DIDELCO, MULTIACEROS, S.A., PLYCEM [87] y suministradoras de hormigón como HOLCIM EL SALVADOR.

Para el desarrollo de esta solución constructiva fue fundamental la documentación y materiales aportados por la empresa PLYCEM, líder en el sector de la construcción en El Salvador, involucrados en el desarrollo de viviendas de emergencia en colaboración con instituciones como la ONG Techo, con la que firmó en 2014 un acuerdo para la construcción de viviendas sociales con este sistema de perfiles ligeros conformados en frío y paneles de fibrocemento, realizados en su mayor parte con materiales reciclados. Dicha empresa también colaboró con la donación de la mayor



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

parte del material en el Proyecto de Cooperación Internacional entre la Universidad de El Salvador, UCA, y la Universidad de Jaén, UJA, proyecto UCAJA descrito en el siguiente capítulo.

Condiciones climatológicas, sísmicas y eólicas.

El Salvador se encuentra en la zona climática tropical y ofrece condiciones térmicas similares durante todo el año. La temperatura media anual (período considerado: 1950-1990) es de 24,8°C, presentándose la temperatura media más baja en los meses de diciembre (23,8 °C) y enero (23,9 °C), mientras que el mes más cálido es abril (32,0 C). La precipitación media anual es de 1823 mm. Por lo que no sería necesario un sistema de calefacción en las viviendas. (Véase Figura 72 Figura 61).

El Salvador tiene dos estaciones: la seca (noviembre-abril) y la lluviosa (mayo octubre). Además, el país se ve afectado por la estación de huracanes del Caribe (junio-noviembre). Las frecuentes tormentas tropicales y huracanes aumentan el caudal de los ríos locales, afectando algunas de las áreas con inundaciones.

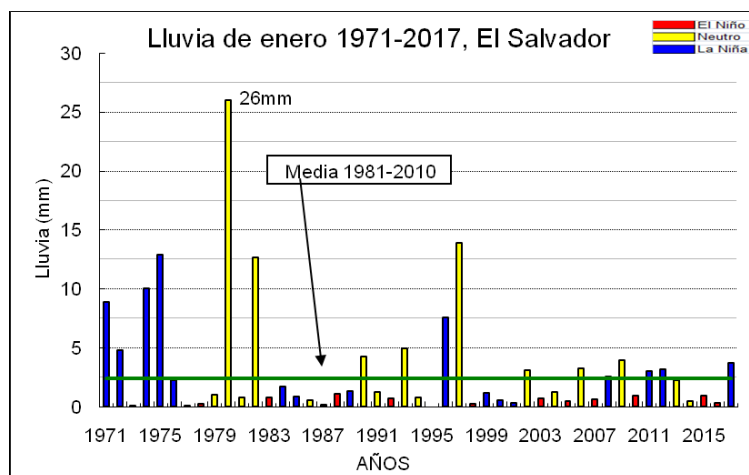


Figura 72. Comparación, lluvia media a escala nacional durante enero de 2017 y la norma climatológica 1981-2010. [88]

Los vientos en los trópicos presentan la característica particular del ingreso de los vientos alisios, predominantemente procedentes del Noroeste. Así mismo, el país presenta un buen desarrollo del sistema de brisas del mar en las planicies costeras, moviéndose hacia los valles y planicies internas después del mediodía. [88]

El proyecto SWERA [89] es un documento de Evaluación del Potencial Eólico y Solar en El Salvador en 2005, se enmarca dentro de los esfuerzos que desarrollaron el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), con el apoyo directo de la Universidad Centroamericana —José Simeón Cañas (UCA). En el caso del potencial eólico, las velocidades promedio, direcciones predominantes del viento, los cálculos de densidades de potencia y estudios de modelaje eólico se realizaron con registros de 18 estaciones meteorológicas. Según los resultados de este estudio, las velocidades instantáneas máximas (ráfagas) registradas en las estaciones meteorológicas del país están en el rango de 4.5 a 7.8 m/s. Según la escala de velocidades estas velocidades máximas corresponden a vientos de tipo 3 y 4, es decir, moderados. Por lo que no es una fuente de energía demasiado rentable.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Normativa vigente en El Salvador.

Para la determinación de Acciones en la Edificación y normativa de cálculo de estructuras se manejarán normativas salvadoreñas entre las que destaca, el “Reglamento para la Seguridad Estructural de las Construcciones” [90], este documento engloba la “Norma Técnica para el diseño por sismo” [38] y la “Norma Técnica para el diseño por viento” [39], también se utilizarán la “Norma Especial de Diseño y Construcción de Viviendas” [91]. Ya que muchas de estos reglamentos se basan en las especificaciones americanas, utilizaremos la norma AISC (American Institute of Steel Construction) [11], para el cálculo de estructuras metálicas, y la norma AISI (American Iron and Steel Institute) [10], para el cálculo de estructura de acero conformado en frío. En cuanto a los cálculos para estructuras de hormigón “Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural” (ACI 318S-05) [92].

La Norma Especial para el Diseño y la Construcción de Viviendas [91], forma parte del Reglamento para la Seguridad Estructural de las Construcciones de la República de El Salvador [90] y tiene por objeto definir los criterios estructurales y los detalles constructivos que deben cumplir aquellas viviendas, a las cuales puedan aplicarse procedimientos simplificados de análisis, diseño y construcción.

Condiciones Energéticas.

En cuanto a la biomasa existente en El Salvador, se puede decir que debido a la alta densidad de población y a la temprana explotación del café, los recursos forestales se han reducido a un pequeño porcentaje de la superficie del país. La mayor parte de la madera que necesita el país debe ser importada de Nicaragua. No obstante los árboles de bálsamo son muy abundantes, siendo El Salvador uno de los principales proveedores de goma de bálsamo. Destacamos la importancia de la cáscara de café por su alto valor energético y su importancia en el país.

Según el Proyecto Swera [89] en la zona de Nueva San Salvador donde vamos a establecer el proyecto existe una radiación media anual de 4.69 a 4.92 KWh/m²/día.

El Salvador es un país con un gran potencial geotérmico, bajo la cadena volcánica que lo atraviesa. Pudiendo encontrar temperatura de 200-300 °C a dos kilómetros de profundidad. Este tipo de energía podría considerarse para la producción de energía eléctrica o agua caliente sanitaria. En El Salvador la matriz energética está fuertemente cargada hacia el consumo de leña, 49,5% (en 1993), seguida del petróleo con el 40,6% en la misma fecha.

No existen reglamentos específicos sobre Instalaciones Térmicas en edificación en El Salvador, sólo la Ley OPAMSS [93] se refiere en algunos artículos a este tipo de instalaciones.

No existe una reglamentación que regule la intensidad lumínica mínima necesaria en el interior de las viviendas, pero la Ley OPAMSS [93] si establece unos límites para la iluminación exterior en el Art. V.67. Alumbrado público. Se potenciará la iluminación natural para contribuir al ahorro energético.

En el estudio bioclimático de la vivienda, descrito en los siguientes apartados, se partirá de unos datos para proceder al cálculo de cargas térmicas y destacaremos la importancia de la ventilación, para evitar la formación de humedades y la transmisión



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

de enfermedades. Así mismo, con una correcta ventilación se conseguirá el confort térmico interior buscado, evitando el uso de sistemas de climatización.

Condiciones urbanísticas del entorno.

Para el estudio del saneamiento y abastecimiento de aguas en zonas rurales aisladas se tomará como base el **Plan Director para el Abastecimiento y Saneamiento de aguas en el Sur de la Libertad** [94], municipio de Nueva San Salvador (El Salvador) Fase 1, realizado por Ingeniería Sin Fronteras (ESF-Catalunya) y por la Asociación para la Cooperación y el Desarrollo Comunal de El Salvador (CORDES), ONG Salvadoreña.

En las zonas rurales de El Salvador, se encuentran viviendas diseminadas que no cuentan con los servicios básicos de saneamiento y abastecimiento.

Las aguas grises circulan libres por las calles, en el mejor de los casos, o se encharcan frente al domicilio familiar. Los animales y niños acuden a jugar en ellas o están en riesgo de contacto, facilitando así el paso a parásitos o enfermedades gastrointestinales.

En las comunidades de población dispersa, la solución más rentable para aguas grises es el saneamiento autónomo que consistirá en que cada familia disponga de un Biofiltro familiar. En comunidad densamente pobladas de tipo semiurbano la evacuación se realizará mediante una red de alcantarillado. La red de alcantarillado funcionará por gravedad hasta el punto de vertido, que consistirá en una zona de infiltración donde el agua se autodepurará para después verter al río.

Según el criterio establecido no se acepta como un servicio de saneamiento, para aguas negras, letrinas de fosa-hoyo, argumentando la contaminación de acuíferos cercanos o lejanos. Por defecto se diseñan letrinas aboneras en zonas rurales dispersas.

Si todas las variables son favorables se diseñará un sistema domiciliario de abastecimiento de agua. En caso que no sea posible, se diseñarán sistemas por cantareras (o fuentes públicas). Si hubiera déficit de agua se debe paliar con la construcción de tanques de agua de lluvia, aprovechando en último caso este recurso hídrico.

La instalación de un servicio básico domiciliario, ya sea un sistema de abastecimiento de agua potable o de saneamiento revaloriza económicamente la parcela o el lote de tierra donde se ubica la vivienda.

La mayoría de los caminos de comunicación existentes en estas zonas rurales aisladas no están asfaltados y no cuentan con los servicios mínimos de urbanización entre ellos, el alumbrado exterior de la vivienda. Sin embargo, la Ley OPAMSS [93] establece unos mínimos en el Artículo 67.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

2.2 CONSIDERACIONES CONSTRUCTIVAS.

Para la elección del sistema constructivo de la solución arquitectónica objeto de esta tesis, se valoró la disponibilidad y características de los materiales y suministradores existentes en El Salvador, llegando a la conclusión de que el sistema PLYCEM era el más idóneo para su ejecución. Se solicitó información a dicha empresa sobre las características técnicas de sus productos, catálogos, guía de aplicaciones y ejemplos constructivos realizados.

Durante la estancia realizada en El Salvador, se visitaron las instalaciones y fábrica de PLYCEM El Salvador y se comprobaron las características de los materiales y el proceso de fabricación. (Véase Figura 73). Así mismo, se visitó la colonia Nueva Esperanza en enero 2014, donde habían construido una serie de viviendas sociales con este sistema constructivo, empleando perfiles de acero laminado y láminas de fibrocemento por una sola cara. Como se puede observar en la Figura 74 y Figura 75, el sistema constructivo era bastante precario, con cubierta de fibrocemento y falta de estanqueidad.



Figura 73. Visita a las instalaciones de PLYCEM, estancia en El Salvador, Enero 2014.

El sistema PLYCEM [87] es un sistema constructivo liviano elaborado con asesoría suiza. Los módulos de PLYCEM son prefabricados a escala industrial con la asistencia técnica de AMANCO, grupo empresarial suizo que desde hace más de 50 años ha participado en numerosas inversiones en países de América Latina como Argentina, Chile, Ecuador, Perú, Brasil, Venezuela, Colombia, Centro América y México. El sistema PLYCEM es manufacturado bajo estrictas normas de calidad y control, en cumplimiento a lo especificado por la International Standard Organization, Norma ISO 8336 de 1993. El sistema constructivo PLYCEM se rige por las normas técnicas de Estados Unidos para sistemas constructivos livianos y está afiliado a la AISI que regula las construcciones con estructura metálica en ese país.

Este sistema constructivo ofrece dos alternativas para construcción: el sistema PLYCEM 1000 o básico que utiliza como elementos estructurales únicamente láminas PLYCEM; y el sistema PLYCEM 2000 o premium que utiliza dos láminas PLYCEM apoyadas y separadas por perfiles de acero.

Para la solución constructiva objeto de esta tesis se eligió el sistema PLYCEM 2000 o Premium, pero renunciando al doble revestimiento de la estructura con paneles y eligiendo una única lámina exterior para optimizar costes. Este sistema consiste básicamente en elementos modulares formados por láminas de fibrocemento.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

En el caso del sistema PLYCEM 2000 los paneles cuentan con una estructura de refuerzo hecha con perfiles de acero, además de las láminas de cemento reforzado. El sistema ha creado todos los productos básicos para construir con PLYCEM y ha desarrollado productos complementarios para que los usuarios encuentren una solución integral en el sistema. La lámina no es un elemento estructural, pero aporta rigidez al sistema. Las láminas PLYCEM están diseñadas para ser autoportantes y por tal razón siempre se debe diseñar una estructura de soporte adecuada. Parte de esta estructura debe estar localizada alrededor del perímetro de los tableros con un entramado cada 0.61 x 2.44 m.



Figura 74. Visita a Colonia Nueva Esperanza, Sistema constructivo PLYCEM, El Salvador, 2014.

Este es un sistema constructivo que comprende la construcción de la estructura vertical, la estructura horizontal, las fachadas, la cubierta y la tabiquería. Se debe incorporar adicionalmente en la construcción las fases de cimentación, instalación de puertas y ventanas, ejecución de acabados en pisos, cerramientos, tabiquería y techos y las instalaciones hidráulicas, sanitarias, eléctricas y de gas natural. Es por lo tanto un sistema parcial.



Figura 75. Interior de una vivienda, Colonia Nueva Esperanza, sistema PLYCEM, El Salvador, 2014.



2.2.1 ELEMENTOS DEL SISTEMA.

El sistema constructivo PLYCEM está formado por una estructura de perfiles livianos de acero formados en frío y unidos entre sí, a los cuales se les fijan las láminas PLYCEM de fibrocemento. Las láminas de PLYCEM son fabricadas con una mezcla de cemento portland reforzado con fibras de celulosa mineralizada, completamente libre de asbesto. Estos elementos son procesados mediante un complejo sistema industrial en plantas especializadas. El sistema de fabricación permite obtener láminas desde 5 mm hasta 30 mm de espesor.

La estructura del sistema constructivo puede ser fabricada con perfiles en madera, perfiles de acero o perfiles de lámina galvanizada. Cuando los perfiles son en madera ésta debe estar seca, recta, de sección uniforme e inmunizada. Si los perfiles son de acero estos deben estar protegidos contra la corrosión. Los perfiles de lámina galvanizada son la opción técnica más adecuada, segura y rápida que facilita la ejecución de la obra y se enmarca en costos apropiados.

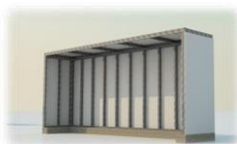
El sistema constructivo utiliza tres tipos de perfiles de acuerdo con su uso:

- **Poste vertical:** Se utiliza como soporte vertical en medio de cada lámina o en el inicio y fin de una pared. También se pueden utilizar como soporte vertical en vanos de puertas y ventanas. **Disponible en dimensiones de 32 mm x 63 mm o de 32 mm x 100 mm de acuerdo con el espesor de las láminas del muro.**
- **Canal horizontal:** Se utiliza fijada a la losa de cimentación mediante tornillos y tacos plásticos, o mediante fijadores especiales para concreto. También se utiliza como corona en la parte superior de los muros. Sus dimensiones son **32 mm x 65 mm o 32 mm x 102 mm** según el espesor de las láminas.
- **Poste de junta:** Se utiliza como soporte vertical en las uniones entre láminas. Se caracteriza por tener un rigidizador horizontal de 350 mm. Sus dimensiones transversales pueden ser de **50 mm x 63 mm o de 50 mm x 100 mm** de acuerdo con el calibre de la lámina.

Existe una gran cantidad de elementos de fijación para PLYCEM. Entre ellos se pueden mencionar los remaches que se utilizan para unir los perfiles de la estructura, los tornillos autorroscantes que se utilizan para unir los canales horizontales a la losa de cimentación, los tornillos con cabeza de trompeta que se utilizan para unir las láminas PLYCEM con los perfiles metálicos y las pletinas de refuerzo que sirven para rigidizar las paredes ortogonales del sistema. (Véase Tabla 2). El sistema PLYCEM también ofrece accesorios complementarios de amarre, pegamentos y selladores que se utilizan según sea necesario.

Tabla 2. Elementos del sistema PLYCEM

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
Lámina Plycem	Se encuentra recubriendo los perfiles metálicos y sus espesores varían entre 5 y 30 mm.
Perfiles	Son de acero conformado en frío calibre 24 con espesor de 0.55 mm. Existen tres tipos de perfiles: el de poste vertical, el canal horizontal y el poste de junta.
Elementos de fijación	Se utilizan para unir entre sí todos los elementos que componen el sistema. Están los remaches, los tornillos autorroscantes, los tornillos con cabeza de trompeta y las pletinas de refuerzo entre otros.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Los espesores de la lámina están dados por los usos que pueda tener el muro. En la siguiente tabla se pueden apreciar los diferentes espesores de las láminas de acuerdo con su uso. (Véase Tabla 3).

Tabla 3 Espesores de lámina PLYCEM de acuerdo con su uso.

TIPO DE MURO	ESPESOR
Muros internos en zonas secas	Máx. 8 mm
Muros para baños y cocinas	Máx. 11 mm
Muros exteriores	Máx. 11 mm
Muros de fachadas en viviendas	Máx. 14 mm
Placas de entresuelo	Máx. 20 mm
Placas de entresuelo en altillos	Máx. 17 mm

Las láminas de calibre 11 en adelante son hidrofugadas por las dos caras utilizando productos con base en silicona. Esto hace que las láminas sean impermeables y sean resistentes a la humedad. Las láminas de este calibre se deben utilizar en situaciones de cargas excéntricas entre 40 y 100 kg., en zonas húmedas y como base para revestimientos de cerámica. Se deben utilizar láminas PLYCEM de 8mm para paredes interiores de tránsito normal con cargas excéntricas no mayores a 40 kg.

Para entrepisos los perfiles son más anchos y de un calibre superior que el de los muros. Se manejan espesores de lámina de 20 mm para entrepisos y 17 mm para altillos.

Cuando las láminas PLYCEM están sometidas a esfuerzos estructurales, se debe efectuar un análisis sobre la calidad, tipo y distancia entre las fijaciones. La construcción debe ser supervisada a fin de garantizar el cumplimiento de las especificaciones y la buena calidad de los ensambles.

Los sistemas PLYCEM deben ser ejecutados por un profesional especialista en la materia. La construcción debe ser supervisada a fin de garantizar el cumplimiento de las especificaciones y la buena calidad de los ensambles. Estas estructuras con pocos pisos de altura tienen buen comportamiento sísmico, debido a su escaso peso [15] [14].

Las láminas PLYCEM se comercializan en una dimensión básica de 1220 mm de ancho por 2440 mm de longitud, equivalentes en el sistema inglés de unidades a 4 pies por 8 pies (4x8'). Sin embargo se pueden suministrar otras dimensiones de acuerdo con el calibre de las láminas, como se muestra en la siguiente Tabla 4.

Tabla 4. Dimensiones de las láminas PLYCEM según calibre.

Dimensiones mm	Espesores mm							
	5	6	8	11	14	17	20	22
605x605	x	x						
605x1210	x	x						
1220x2440		x	x	x	x	x	x	x
1220x3050				x	x	x	x	x



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamiento de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

La estructura perimetral para entrepisos está diseñada para obtener módulos de 1.22 x 0.68 m con láminas PLYCEM. Utilizando estos módulos se puede llegar a tener luces entre 4 y 5 m. Con el sistema PLYCEM 2000 se han llegado a construir edificaciones de alturas de hasta 4 pisos. Si es necesario en obra las láminas pueden ser cortadas y ajustadas a diferentes tamaños, ya que son livianas y fáciles de trabajar mediante la utilización de herramientas comunes de carpintería.

Con este sistema constructivo no se incluye ningún tipo de acabado. Sin embargo PLYCEM ofrece una serie de productos complementarios con base acrílica que facilitan la aplicación de cualquier tipo de acabado en pisos, paredes, techos y exteriores. (Véase Tabla 5).

Tabla 5. Aspectos arquitectónicos. Sistema Plycem.

Aspecto	Descripción
Dimensiones estándar	Altura:2,40 m, Ancho: 1,22 m
Luces	Entre 4 o 5 m
Acabados	Ninguno



2.2.2 PROCESO CONSTRUCTIVO.

2.2.2.1 Diagrama de flujo.

Este proceso industrial puede ser representado mediante un diagrama de flujo, donde se indican los flujos de trabajo paso a paso para cada sistema estructural PLYCEM. Estos diagramas utilizan símbolos con significados definidos que representan los pasos del algoritmo y el flujo de ejecución, mediante flechas que conectan los puntos de inicio y de fin del proceso. Los significados de estos símbolos aparecen en la leyenda. Para la solución constructiva objeto de esta tesis se ha optado por el sistema 2000 con un solo forro o lámina de fibrocemento por el exterior. (Véase Figura 76).

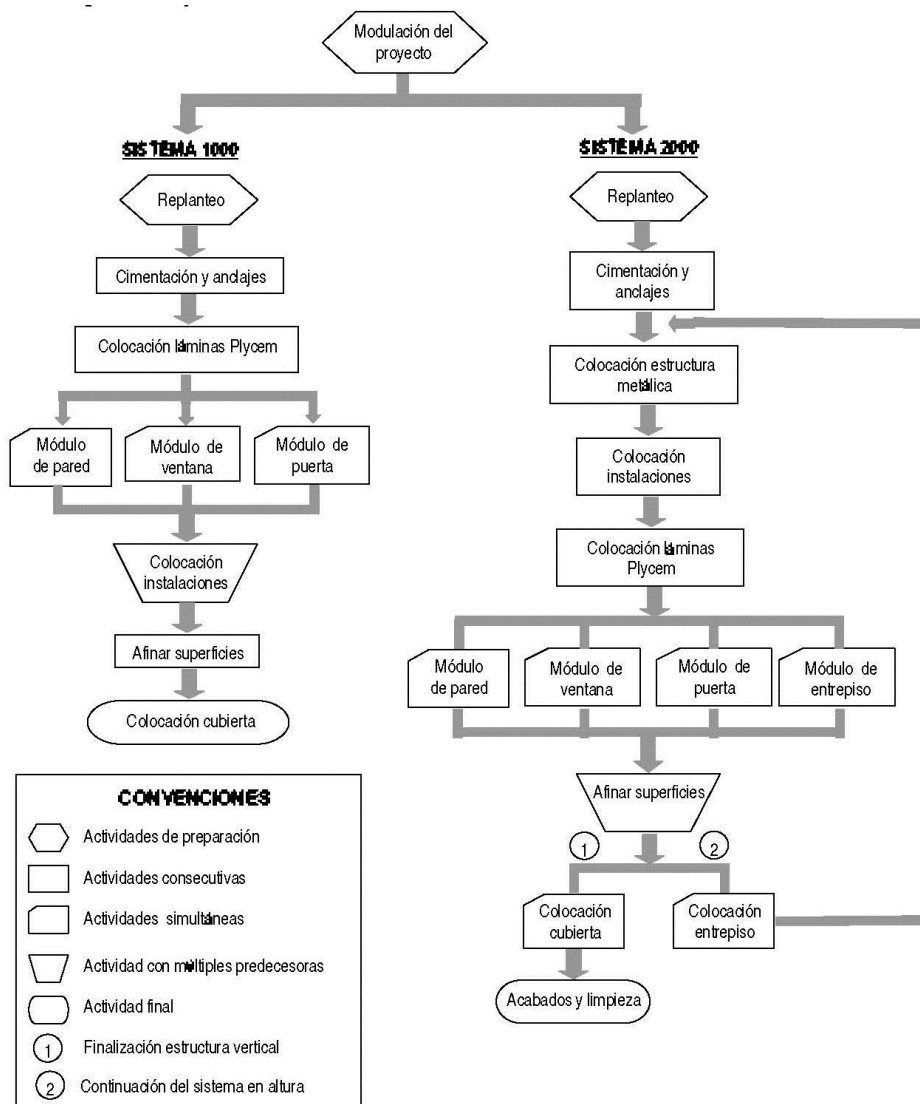


Figura 76. Diagrama de flujo del proceso constructivo Plycem 2000. [87]



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Como se puede apreciar en el diagrama, habría una actividad previa de preparación, donde se replantearía la vivienda, según los planos. De forma consecutiva, se ejecutaría la cimentación y los anclajes, colocación de la estructura metálica, colocación de instalaciones y colocación de láminas Plycem. De forma simultánea, se procedería a la colocación de los cerramientos interiores o módulos de pared, módulo de ventana, módulo de puerta y módulo de entrepiso, en el caso de que la vivienda contara con varias plantas.

A continuación de estas múltiples actividades, se afinarían superficies y se optaría por la colocación de la cubierta, en el caso de que la vivienda contara con una planta, o la colocación de entrepiso, si fueran varias plantas. En el caso de una planta se cerraría el proceso con los acabados y la limpieza, y en el caso de varios pisos, se repetiría el proceso para las siguientes plantas, desde la colocación de perfiles.

En el caso de la propuesta constructiva de esta tesis, la lámina Plycem se instalará sólo por el exterior de la estructura, de forma que las instalaciones quedarán ocultas por el interior de los perfiles. Y se planteará una propuesta de cimentación prefabricada. Las divisiones interiores se ejecutarán con el mismo sistema que las exteriores, pero con láminas de espesores de 8 o 11 mm, en lugar de láminas de 14 mm, colocadas en el exterior. Los módulos de ventana y puerta vendrán prefabricados con las dimensiones indicadas en los planos. Y al tratarse de una vivienda con una única planta, se optará por la instalación de la cubierta, seguido por los acabados y limpieza del sistema. Este proceso viene descrito de forma gráfica, mediante imágenes, en el capítulo 3 de esta tesis, durante la ejecución del modelo experimental construido en el Laboratorio de Estructuras Grandes de la Universidad José Simeón Cañas, UCA, de San Salvador.

2.2.2.2 Fases del proceso.

a. Modulación de la obra.

Se debe empezar con el despiece de la obra en planos. Cada módulo es numerado y se caracteriza de acuerdo con el número de anclajes, tornillos, platinas, soportes para salidas eléctricas, anclajes sísmicos, etc.

b. Replanteo.

El replanteo de la construcción se realiza con las actividades tradicionales de topografía. Cuando se utiliza el sistema PLYCEM 2000 sobre la losa de cimentación se debe replantear el contorno de todos los muros y tabiques para más adelante colocar las canales horizontales. Se deben localizar las aberturas de los muros para colocar las puertas y para referenciar más fácilmente el diseño que está en los planos.

c. Cimentación y anclajes.

Cuando se utiliza PLYCEM 2000 se debe colocar un sello de hule o sellador flexible entre el cimiento y el canal horizontal para evitar filtraciones de agua. La fijación de la estructura metálica a la cimentación puede ser de dos tipos: con tornillos autorroscantes o con varillas ancladas. Cuando se utilizan tornillos autorroscantes estos se deben colocar en forma alterna, fuera de la línea de centro de la canal horizontal, a una distancia máxima de 40 cm. La fijación con varillas se utiliza generalmente en paredes exteriores que se ven sometidas a cargas de viento.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Las varillas se colocan con la losa de cimentación antes de ser fundida, posteriormente se inserta en la varilla la canal horizontal y una pieza de madera semidura del mismo ancho del perfil. La varilla luego se dobla para sujetar la madera. Cuando se trata de paredes exteriores en ambos casos la lámina de PLYCEM que se coloque en el exterior debe dejarse al menos 3 cm bajo el nivel del piso terminado, con el fin de evitar penetración de agua debajo de la estructura.

d. Estructura. Colocación de perfiles de acero.

Una vez se han colocado los canales horizontales en la cimentación, se hace el armado de la estructura vertical y el perfil horizontal superior en el suelo. Listo el marco de la estructura, este se levanta y se arriostra con un perfil provisional. A continuación se aploma y se nivela vertical y horizontalmente la estructura, para luego hacer la instalación de las láminas de PLYCEM.

e. Instalaciones

Las instalaciones son fijadas a unas estructuras de soporte que se colocan entre los perfiles metálicos. Estas estructuras pueden ser de madera o perfiles tipo canal pequeños. Las instalaciones deben ser fijadas fuertemente a la estructura de soporte con el fin de no generar esfuerzos sobre la lámina de PLYCEM. En la mayoría de los casos los perfiles verticales son troquelados con el fin de dejar orificios por los cuales puedan pasar las instalaciones que van dispuestas en sentido horizontal. Los agujeros en las láminas PLYCEM se pueden hacer perforando con un taladro el perímetro del agujero o cortando la lámina con una caladora. La lámina no se debe perforar golpeándola con un martillo, ya que se pueden causar microfisuras que con el tiempo se pueden reflejar a través de la pintura o el revestimiento. Las instalaciones hidráulicas y sanitarias se deben fijar muy bien para evitar vibraciones y efectos del golpe de Ariete.

En el caso del PLYCEM 1000 todas las instalaciones quedan a la vista. Sin embargo se pueden diseñar cárcamos con el mismo material para ocultarlas.

f. Cerramientos. Colocación de las láminas.

En el sistema PLYCEM 2000 el método de fijación depende del diseño y aplicación que se proyecte. El método más común es asegurar las láminas a toda su estructura por medio de tornillos o clavos, según esta sea de metal o madera. A continuación se mencionan algunas recomendaciones que se deben tener de acuerdo con el método de fijación:

- **Clavos:** En láminas de hasta 11 mm de espesor pueden ser clavados directamente, sin necesidad de perforarlos previamente; en láminas gruesas debe efectuarse una perforación piloto. En todos los casos deben ser observadas las recomendaciones sobre distancia desde los bordes y especialmente la distribución en las esquinas. Se deben usar clavos galvanizados de una longitud suficiente para que penetren como mínimo 25 mm dentro de las maderas que conforman el soporte. Cuando se usa clavadora neumática no es necesario perforar previamente.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamiento de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

- Tornillos: Para una fijación manual con tornillos, primero se debe efectuar un pequeño hueco a manera de guía. Cuando se utiliza una máquina atornilladora no es necesario preperforar las láminas.

Algunas recomendaciones que se deben tener en cuenta cuando se colocan las láminas son las siguientes:

- La fijación de los tornillos o clavos debe hacerse a una distancia mínima de 1.5 cm del borde.
- Los tornillos o clavos nunca deben ponerse en las esquinas de la lámina.
- Los tornillos o clavos que sujetan la esquina nunca deben quedar a 45°. Si se usa un atornillador eléctrico este debe tener algún mecanismo de límite que impida la fijación excesiva.
- Para evitar deformaciones en las láminas PLYCEM se recomienda la fijación en las líneas centrales de las láminas.

Sí las láminas están sometidas a esfuerzos estructurales tales como succión de viento o al efecto de la fuerza de gravedad en cielo rasos lisos no deben usarse estos datos y se debe solicitar la información especializada para estos casos al proveedor.

Si las láminas no han sido climatizadas antes de su fijación o se presentan extremas condiciones de cambios de humedad y temperatura o los elementos sellantes no son lo suficientemente resistentes, se pueden originar movimientos de las láminas y es necesario analizar cuál es el tipo de unión más conveniente.

Las láminas vienen cortadas en módulos de acuerdo con las características del muro como se muestra en la Figura 77:

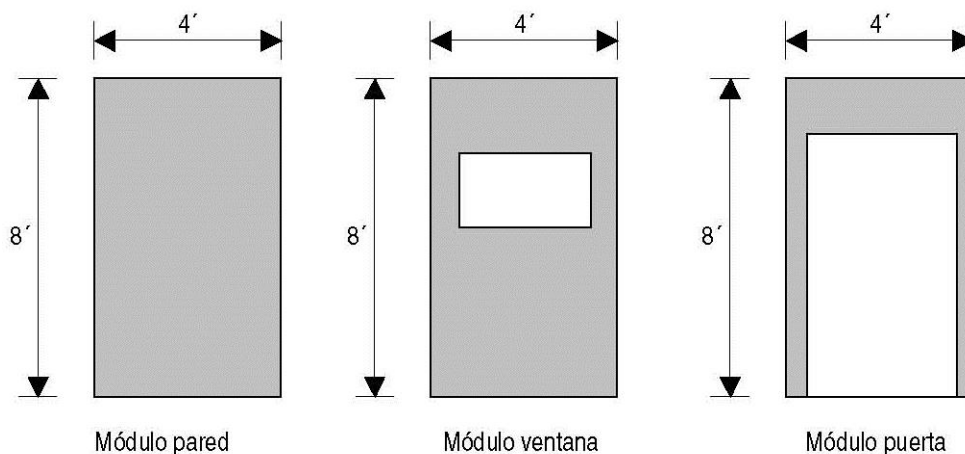


Figura 77. Diferentes módulos de láminas Plycem; de pared, ventana y puerta. [87]



g. Montaje de marcos de puertas y ventanas.

Los perfiles que delimitan los marcos de las puertas y ventanas son reforzados con piezas de madera o metal de acuerdo con el diseño y tipo de ventana. Las ventanas son por lo general de tipo celosía, con opción de rejas de barras cuadradas y las puertas externas son de metal.

h. Colocación de cubierta.

Por lo general las cubiertas son livianas y se encuentran apoyadas en una estructura metálica o de madera. Se puede utilizar cualquier tipo de cubierta, pero comúnmente se emplean tejas en fibrocemento o metálicas en acero galvanizado laminado en frío o recubierto con una película aluminizada con color, ideal para el caso en el cual no se considere colocar cielo raso. No es rentable hacer la cubierta con PLYCEM ya que las láminas no deben ser expuestas a la lluvia por mucho tiempo y se generan sobrecostos en impermeabilizantes, selladores, pintura acrílica, etc.

i. Ajustes y acabados.

Las láminas tienen una superficie lisa lista para ser decorada. Antes de aplicar los acabados se debe aplicar un imprimante, rellenar las juntas y arreglar las irregularidades superficiales.

PLYCEM ha diseñado productos complementarios como masillas, pegantes y recubrimientos especiales diseñados para preparar la superficie de las láminas y obtener óptimos acabados. Dentro de estos productos se pueden mencionar:

- PLYCEM-GEL: Sellador rígido para relleno de juntas invisibles.
- PLYCEM-FONDO: Cordón sintético de uso combinado con PLYCEM-Flex.
- PLYCEM –FLEX: Masilla elástica de poliuretano para relleno de juntas flexibles.
- PLYCEM STUCO: Regularizador de superficies de carácter acrílico.
- PLYCEM-PEGA: Adhesivo acrílico para la pega de enchapes cerámicos o similares

Cuando se coloque cerámica o se usen recubrimientos semipermeables, la cara posterior de las láminas debe ser recubierta con PLYCEM HIDROFUGO, sellador diseñado para tal fin. El adhesivo usado debe ser elástico. Nunca se deben usar productos con base en cemento para estos propósitos.

En aplicaciones exteriores las láminas deben ser selladas a fondo. Si se desea pintar la superficie de las láminas se deben utilizar pinturas acrílicas. Antes de aplicar cualquier acabado se debe verificar que se están cumpliendo las recomendaciones del productor del material decorativo y que use el sellador suministrado por PLYCEM.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

j. Ampliaciones y consideraciones especiales.

El sistema constructivo PLYCEM es un sistema de construcción liviano que no puede ser utilizado como estructura de ningún otro sistema. Esto quiere decir que solo permite ampliaciones en el mismo sistema.

Las láminas son almacenadas en fábrica bajo condiciones totalmente controladas. Por esta razón cuando las láminas son despachadas al mercado, tienen un contenido de humedad del $9\% \pm 3\%$. En el sitio donde vayan a ser utilizadas tiene que dejarse airear por un periodo de 24 a 48 horas, para que el material se climaticice antes de ser instalado y las láminas equilibren su humedad respecto al medio ambiente.

Las láminas tienen un pH alcalino que varía entre 10.0 y 11.0. Se recomiendan para aplicaciones generales pegantes elásticos de base acrílica, caucho o PVA.

2.2.2.3 Recursos necesarios.

2.2.2.3.1 Mano de obra.

La mano de obra no es ni muy numerosa ni especializada. Por lo general son operarios que han sido entrenadas por la compañía a través de talleres para que conozcan el sistema y los cuidados que deben tener en su utilización o empresas constructoras que desde hace un tiempo han venido trabajando con este sistema.

El sistema utiliza una baja cantidad de mano de obra y mínimos tiempos de ejecución. Con una cuadrilla conformada por un oficial y un ayudante se pueden lograr rendimientos mínimos de 25-30 m² diarios. (Véase Tabla 6).

Tabla 6. Mano de obra. Sistema Plycem.

Parámetros a evaluar	Evaluación			Justificación
	Alta	Media	Baja	
Mano de obra calificada		X		No son personas especializadas
Necesidad de entrenamiento		X		Son entrenados por la compañía a través de talleres
Facilidades para conseguirla		X		Fácil de conseguir sin entrenamiento
No. De personas necesarias			X	Cuadrillas de 1 oficial y 1 ayudante

2.2.2.3.2 Maquinaria y equipos.

Las láminas tienen un peso que varía de acuerdo con su calibre entre 1.10 y 1.25 kg por cada metro cuadrado de superficie por cada milímetro de espesor, para muros internos y externos respectivamente. El peso liviano de las láminas hace posible que dos personas puedan llevar a cabo los trabajos de transporte y colocación de una lámina de dimensiones estándar (1.22x2.44 m). El peso liviano de las láminas evita la utilización de equipos costosos como gúras e implementos de izaje.

Las láminas se pueden trabajar en obra mediante la utilización de herramientas comunes de carpintería. Para casos de trabajos continuos es esencial el uso de herramientas a partir de acero de tungsteno.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Tabla 7. Maquinaria y Equipo PLYCEM.

	Especialidad Técnica Rendimiento, capacidad...			Facilidad de adquisición		
	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja
Taladro		X		X		
Atornillador eléctrico			X	X		
Sierra circular		X		X		
Caladora pendular			X	X		
Lijadora			X	X		

Además de las herramientas básicas se necesita el siguiente equipo complementario (Véase Tabla 7):

- Cepillo carpintero: Las láminas son de fibrocemento, pero pueden ser desbastadas fácilmente usando herramientas convencionales de carpintería como cepillo y escofina entre otras.
- Taladro: Se utiliza para hacer las perforaciones en las láminas. También se puede utilizar un berbiquí. El taladro puede ser manual o eléctrico, pero nunca de percusión. Las brocas deben ser para metal tipo HSS. Cuando se taladre se debe usar un soporte rígido para asegurar una perforación limpia.
- Atornillador eléctrico: Se utiliza para realizar la fijación de las láminas a la estructura a través de tornillos. Cuando se utiliza una máquina atornilladora no es necesario preperforar las láminas.
- Sierra circular: Se utiliza para hacer cortes en la lámina. Debe usarse un disco de tungsteno de 40 dientes como mínimo, se debe evitar producir polvo y no se debe incorporar agua en el corte.
- Caladora pendular: Se utiliza en cortes de forma irregular. Produce viruta gruesa y no requiere agua.
- Lijadora: Las láminas PLYCEM pueden ser lijadas con lijadoras planas industriales para remover superficies irregulares y obtener desbastes en los bordes que permitan luego solucionar fácilmente la unión entre láminas.

2.2.2.3.3 Almacenamiento.

Las láminas PLYCEM deben ser almacenadas bajo techo, en un entablado plano, sobre soportes nivelados y distanciados como máximo 60 cm. El almacenamiento a la intemperie no es recomendable. Este solo debe ser temporal y cuando así sucede, las láminas deben ser protegidas de la humedad mediante el uso de una envoltura de plástico o hule. Nunca se deben almacenar las láminas sobre los bordes o inclinadas. Cuando el piso es cementado y se cuenta con montacargas, se pueden almacenar verticalmente un máximo de tres tarimas de láminas del mismo espesor, una encima de la otra separadas por una base de madera.

Las láminas deben ser despachadas sobre tarimas de madera, cubiertas con un polietileno que las protege de la humedad. Cada tarima pesa alrededor de 3 toneladas y tiene una altura de 90 cm aproximadamente.



2.2.2.4 Esquema del proceso constructivo.

A continuación se representa de manera gráfica el proceso constructivo, descrito en apartados anteriores. (Véase Figura 78)

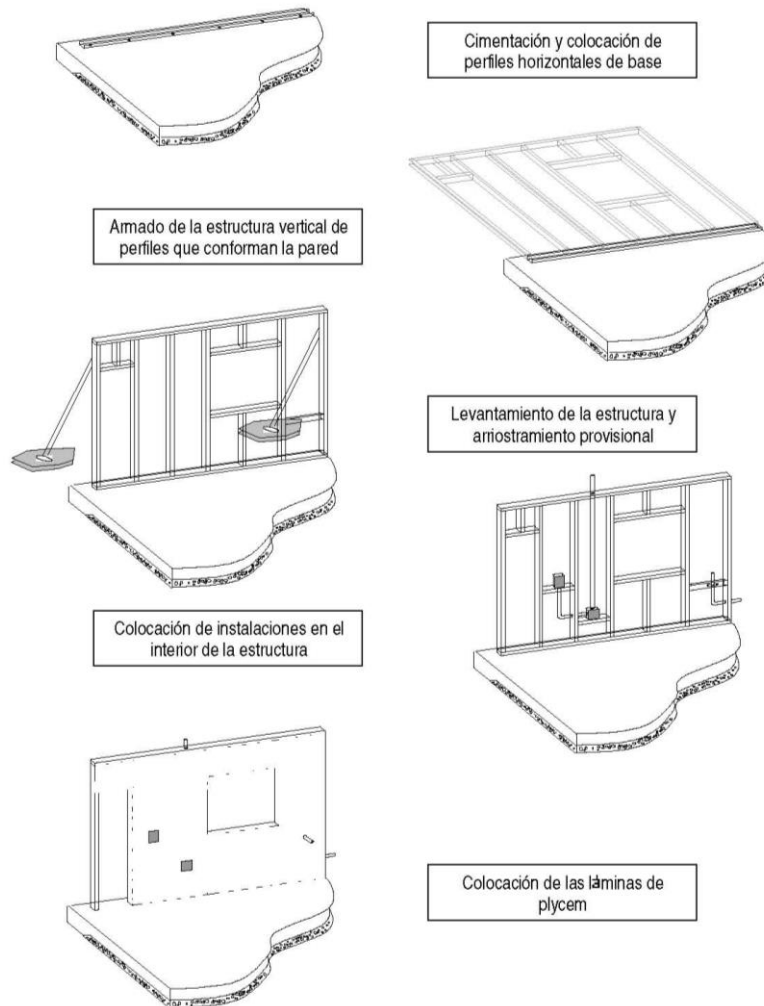


Figura 78. Esquema del proceso constructivo Plycem. [87]



2.2.3 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.

2.2.3.1 Seguridad frente a los agentes atmosféricos.

La posibilidad de mantener los elementos estructurales íntegros ante la acción del agua es alta. Sin embargo, dadas las características de las láminas estas deben ser protegidas a través de hidrofugantes cuando se encuentren expuestas a la humedad, para evitar que se saturen.

Las láminas PLYCEM tienen un buen comportamiento frente a los rayos del sol. Se deben tener en cuenta las contracciones en las láminas por cambios de temperatura en el momento de realizar las juntas.

El viento produce una acción mecánica perpendicular a la fachada que se absorbe fácilmente por la estructura. Las paredes exteriores deben ser ancladas a través de varillas que se encuentran embebidas en la cimentación para que se asimile más eficientemente la carga producida por los vientos.

2.2.3.2 Seguridad frente a acciones directas del hombre.

Se considera un sistema constructivo poco vulnerable frente a este aspecto. Los espesores de las láminas para fachada son de 14mm como mínimo y dificultan cualquier acción de vandalismo. El sistema permite adoptar cualquier medida de seguridad en puertas y ventanas, como por ejemplo rejas, puertas metálicas, etc.

2.2.3.3 Seguridad frente al fuego.

De acuerdo con la norma ASTM E84, PLYCEM no produce humo ni gases tóxicos y no contribuye a la expansión del fuego. Las láminas PLYCEM garantizan una resistencia al fuego de 1 hora, cuando el método constructivo seleccionado está acorde con lo dispuesto en las normas.

2.2.3.4 Seguridad frente al sismo.

Para efectos de las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-98, el sistema constructivo se comporta como una estructura liviana y monolítica que se encuentra fijada al piso con anclajes sismorresistentes para garantizar que la obra no tenga ningún desplazamiento. Sin embargo no se encuentra contemplado explícitamente en la norma NSR-98.

2.2.3.5 Contaminación atmosférica.

Las superficies de las láminas deben ser protegidas ante la posibilidad de ser expuestas a soluciones de carácter ácido. Las láminas no son afectadas por detergentes, ni soluciones de cloro, ni por fungicidas y son resistentes a las termitas, insectos, roedores y otras plagas.



2.2.3.6 Aislamiento térmico y acústico.

El sistema modular PLYCEM 2000 tiene un buen comportamiento térmico gracias al espacio que existe entre las dos láminas. Las láminas PLYCEM tienen una conductividad térmica equivalente a 0.203 W/m.°C. Si se desea tener un mejor aislamiento térmico se puede colocar entre las láminas de los muros un elemento aislante, sin necesidad de engrosar el muro ni cargarle peso al muro y a la estructura.

Las láminas PLYCEM presentan un aceptable grado de aislamiento al ruido. El índice de reducción sonora varía de acuerdo al espesor entre 30 y 40 decibelios; a mayor espesor, mayor aislamiento. Cuando se utiliza el sistema PLYCEM 2000 la reducción que se logra está por encima de 60 decibelios. En la siguiente Tabla 8 se puede observar la reducción sonora en dB de acuerdo al espesor de las láminas.

Tabla 8. Reducción sonora en función del espesor de la lámina PLYCEM.

Espesor, mm	5	6	8	11	14	17	20	22	25
Reducción sonora, dB	30	31	31	32	33	34	35	37	39

Un muro en PLYCEM 2000 con láminas de 11 mm tiene un coeficiente de reducción de ruido (NRC) de 0.05, un poco superior que el que tiene un muro en mampostería convencional.

2.2.4 ASPECTOS ECONÓMICOS.

El costo por metro cuadrado depende del diseño de cada uno de los muros que compongan la vivienda. En general se puede decir que los costos con el sistema PLYCEM 2000 pueden variar entre \$120,000/m² y \$145,000/m². Estos costos sólo contemplan el valor de los materiales como perfiles de acero galvanizado, láminas PLYCEM, anclaje, elementos de fijación, soportes para instalaciones eléctricas, hidráulicas y sanitarias y otros productos complementarios. Dentro de este costo no se contemplan gastos como transporte, mano de obra, cimentación, instalaciones, puertas y ventanas, acabados y cielo raso. En los siguientes apartados se especifican los precios que Plycem suministró para el modelo experimental y el costo total de la vivienda de emergencia diseñada, que difieren de los descritos, al tratarse de una vivienda social.

2.2.5 VENTAJAS E INCONVENIENTES DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO.

Los beneficios más importantes que presenta este sistema son:

- Ofrece una gran rapidez constructiva, puesto que los productos se despachan semiacabados y el trabajo que se debe hacer en obra es menor.
- Usa elementos prefabricados producidos a escala industrial. Esta condición permite controlar los requerimientos de calidad.
- El sistema ofrece versatilidad, puesto que se adapta fácilmente a cualquier detalle de diseño y arquitectura. Las láminas se pueden cortar de acuerdo con las necesidades del proyecto con herramientas de mano convencionales o con sierras eléctricas.
- Por ser un sistema constructivo liviano se puede considerar que tiene un comportamiento estructural óptimo.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

- Se puede lograr un mejor aprovechamiento del área útil, puesto que los muros internos alcanzan espesores de hasta 8.7 cm.
- Se puede lograr una buena productividad en obra. Esto se debe a que las características del material y su fácil manejo hacen posible aumentar el rendimiento del personal contratado en la obra.
- Los módulos de PLYCEM se pueden trasladar a sitios remotos y de difícil acceso, gracias a que su peso promedio varía entre 1.10 y 1.25 kg/m por cada milímetro de espesor.
- Se puede realizar un fácil control de inventario en obra, puesto que los módulos van numerados de acuerdo con el despiece.
- Brinda una buena calidad de vida a sus ocupantes. Tiene un buen aislamiento térmico y acústico, es resistente a los efectos de la humedad, es incombustible y a prueba de plagas.
- Es un sistema limpio, que reduce sustancialmente los desperdicios y generación de basura en obra.
- El sistema constructivo permite aplicar cualquier tipo de acabado en la superficie.
- Es un sistema ecoeficiente que utiliza productos reciclables e incombustibles y que se encuentra libre de asbesto.
- Las láminas PLYCEM están diseñadas para ser usadas por periodos de 25 años sin ningún tipo de recubrimiento en climas externos muy severos.

Dentro de los aspectos que se consideran pueden traer consigo algún tipo de inconveniente con la utilización de este sistema se encuentran:

- Las láminas de PLYCEM tienen que ser importados desde Ecuador, Venezuela o El Salvador. Esto implica unos sobrecostos en transporte y estar supeditados a las relaciones comerciales con estos países.
- Hasta el momento este sistema constructivo no se encuentra contemplado explícitamente en las Normas de Diseño y Construcción Sismo Resistente.
- A pesar de que el sistema no requiere de mano de obra muy especializada es necesario proporcionarle un entrenamiento previo, puesto que se trata de un sistema novedoso que muchos desconocen.
- El sistema PLYCEM 1000 a pesar de ser mucho más económico no ha tenido tan buena aceptación por parte de los usuarios.
- Debido a las características de las láminas PLYCEM es necesario utilizar una serie de productos complementarios al sistema con base en elementos acrílicos.

En la siguiente tabla, se describe la evaluación funcional del sistema Plycem. (Véase Tabla 9).



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Tabla 9. Evaluación funcional sistema PLYCEM.

CONDICIONANTE	INTEGRIDAD DEL SISTEMA			JUSTIFICACIÓN	
	ALTA	MEDIA	BAJA		
INTEGRIDAD	Ante acciones mecánicas		X	Comportamiento de las láminas.	
	Ante acciones climáticas	Agua	X	Láminas protegidas con hidrofugantes	
		Sol	X	Buen comportamiento térmico.	
		Viento	X	Resistencia a fuerzas laterales	
	Ante animales o plantas		X	Laminas resistentes a termitas, insectos, roedores, hongos y microorganismos.	
SEGURIDAD	Acciones directas del hombre		X	Puede adoptar cualquier medida de seguridad. Dificulta el vandalismo.	
	Acciones indirectas	Contaminación		X	Se deben proteger de soluciones ácidas.
		Fuego	X		Resistencia al fuego de 1 hora
FLEXIBILIDAD	Posibilidades arquitectónicas		X	Flexibilidad del sistema.	
	Constructiva	Construcción progresiva		X	No se puede utilizar como estructura de otro sistema
		Autocostrucción		X	Bajo dirección técnica
CONFORT AMBIENTAL	Higrotérmico		X	Se puede colocar aislamiento térmico entre los muros (Plycem 2000)	
	Higiénico		X	Buena conservación de las láminas	
	Acústico		X	Se puede colocar aislamiento acústico entre los muros (Plycem 2000)	
	Visual		X	Según diseño arquitectónico	
COMPOSICIÓN	Geometría		X	Adecuación de espacios	
	Color			X	Siempre que sea con pinturas acrílicas



2.3 CONSIDERACIONES BIOCLIMÁTICAS.

2.3.1 ESTUDIO BIOCLIMÁTICO EN EL SALVADOR.

Las casas bioclimáticas pretenden aprovechar los recursos climáticos disponibles, tales como la orientación del sol, el viento, y la hidrografía, con el objetivos de generar confort.

El presente estudio pretende mostrar la factibilidad económica del diseño y construcción de viviendas bioclimáticas de interés social, combinada con sistemas de servicios básicos eficientes, renovables y/o reciclables; así mismo, se pretende para el diseño conceptual de la vivienda social, el uso de técnicas arquitectónicas para la reducción del consumo energético y el aprovechamiento de las condiciones climáticas y características de la zona.

La solución de vivienda social bioclimática permitirá reducir los costes en materia de consumo eléctrico, por ejemplo, uno de los beneficios claros es el lograr una mejor iluminación sin necesidad de utilizar bombillas eléctricas. A su vez se logra obtener ventilación natural con simples técnicas arquitectónicas. Lo anterior aunado a la utilización de materiales con propiedades de aislamiento térmico en la construcción de paredes, suelos y techo, permitirá como resultado obtener confort térmico.

Los beneficios que se logran con el confort térmico son: un buen estado anímico y de salud de las personas, realización más eficiente de tareas y la reducción del estrés. Todo esto manteniendo una temperatura agradable en el ambiente más una buena ventilación y otra serie de factores como la humedad relativa e iluminación en una casa.

Los sistemas de energías alternativas como la solar térmica y la captación de agua de la lluvia para su utilización en el riego, baño y limpieza, son ejemplo de soluciones bioclimáticas que suponen una alternativa a los sistemas tradicionales.

Uno de los propósitos en este trabajo es el de aplicar los conocimientos y estudios existentes a los climas tropicales o ecuatoriales, que son los que se dan en El Salvador.

2.3.1.1 Condiciones climatológicas de El Salvador

El Salvador está situado en la parte exterior del cinturón climático de los trópicos (meridiano 0), 13.7 grados respecto a la línea ecuatorial y longitud -89.2 grados respecto al meridiano de Greenwich. Durante el año, los cambios en las temperaturas son pequeños, en contraste a las lluvias que muestran grandes oscilaciones en el transcurso del año.

Se presentan dos periodos climáticos: la época seca, que corresponde los meses entre noviembre hasta abril, y la época lluviosa, que va desde mayo hasta octubre. Existen también dos épocas de transición, con una duración de aproximadamente un mes entre una y otra, las cuales ocurren entre octubre-noviembre y abril-mayo, respectivamente.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Los registros de mayor temperatura ocurren en los meses de marzo y abril y las cantidades más altas de lluvia se registran entre septiembre y octubre. El país presenta características como los vientos Alisios, peculiares del trópico exterior, que proceden del sector Noreste. También, el país presenta un buen desarrollo en cuanto al sistema de brisas de mar, en las planicies costeras, moviéndose hacia los valles y planicies internas después del mediodía.

Otra característica típica, son los valores máximos de actividad lluviosa unas semanas después del paso del sol sobre el cenit, así como también, los vientos desde el norte que transportan grandes masas de aire fresco hacia la región [95].

2.3.1.2 Zonas climáticas de El Salvador.

El Salvador está clasificado en las siguientes zonas climáticas: Sabana Tropical caliente o tierra caliente con elevaciones desde 0 a 800 msnm; Sabana Tropical calurosa o tierra templada con elevaciones desde 800 a 1200 m.s.n.m. y Tierras Frías cuyas elevaciones van de 1200 a 2700 metros sobre el nivel del mar.

De acuerdo con la altitud sobre el nivel del mar, existen en el departamento de la Libertad tres tipos de clima, tierra caliente, tierra templada y tierra fría; el primero abarca el 80% del área total del departamento, dentro de un rango entre 0 a 800 metros sobre el nivel del mar, con temperaturas anuales de 22° a 28° C, en las planicies internas, el segundo tipo, abarca un 15% del área total, con un rango de 800 a 1200 metros sobre el nivel del mar, siendo sus temperaturas anuales de 20° a 22° centígrados, en las planicies altas y valles; y 19° en las faldas de las montañas. El tercer tipo se da en una forma mínima, abarcando un 5% del área total, dentro del rango de 1200 a 2700 metros sobre el nivel del mar, con temperaturas anuales de 14° y 19° centígrados y posibilidades de heladas en diciembre, enero y febrero [95].

2.3.1.3 Condición de la precipitación.

En el Departamento de la Libertad el monto pluvial anual oscila entre 1400 y 2200 mm. Se considera el perfil climatológico de la Estación de La libertad, situada en la zona de Sabana Tropical calurosa o tierra templada, y según otras clasificaciones, zona de bosque húmedo tropical. En la Figura 79 se observa que el promedio mayor en esta zona se produce durante los meses de agosto y septiembre y octubre, llegando a máximo de casi 400 mm. (Véase Figura 79).

Al comparar la lluvia total del año 2015 con el acumulado normal (Figura 80) se observa que las cantidades de lluvia fueron mayores en el 12 % de las estaciones el resto (78 %) fueron menores con anomalías negativas.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

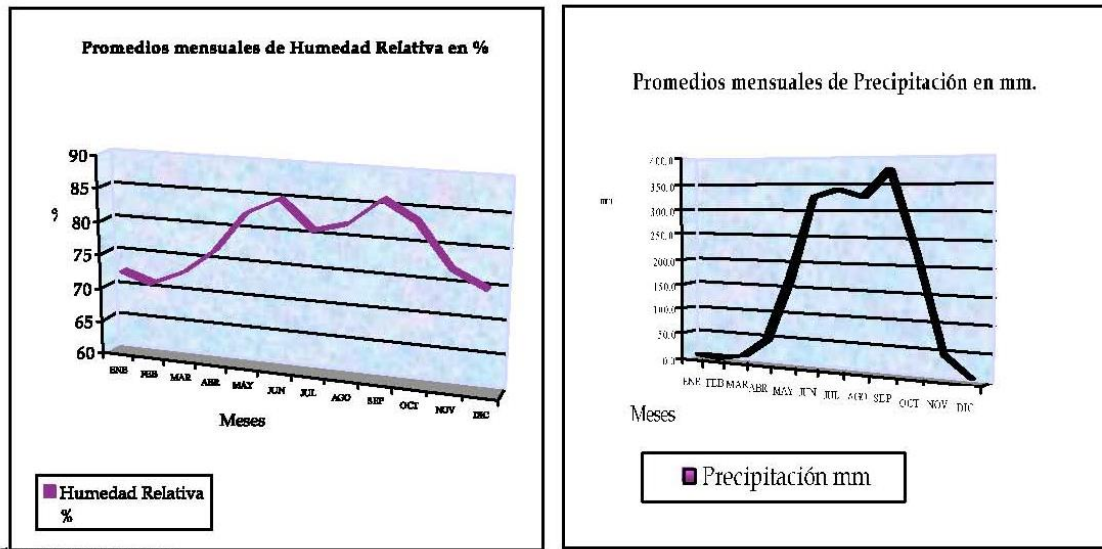


Figura 79. Promedios mensuales de humedad relativa y precipitación, Santa Tecla. [95]

En términos generales, se puede afirmar que el régimen de precipitación fue deficitario con un promedio para 24 estaciones de 1695 mm, abajo del promedio nacional (1861 mm), los mayores déficit se presentaron en la zona costera de los departamentos de Usulután y La Unión, (Ver Figura 80). Por lo que se podría decir, que en los últimos años existe una tendencia a la sequía [95].

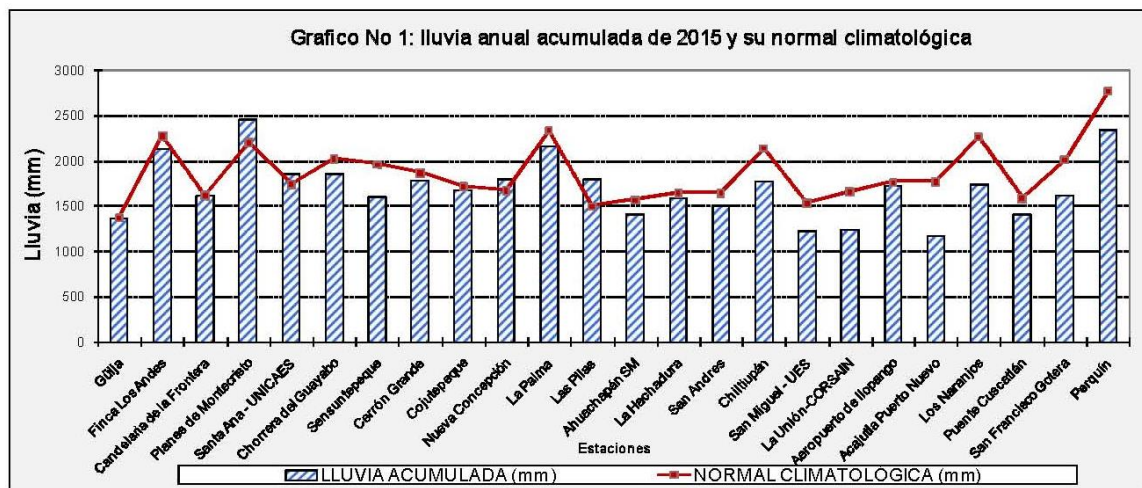
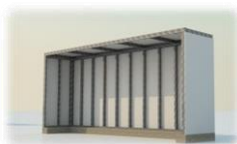


Figura 80. Lluvia anual acumulada en 2015 y su normal climatológica. [95]



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

2.3.1.4 Comportamiento de la temperatura ambiente

El promedio de temperatura media anual para 2015 en las 24 estaciones fue de 24.2 °C, mayor a la normal (23.8 °C). Véase Figura 81.

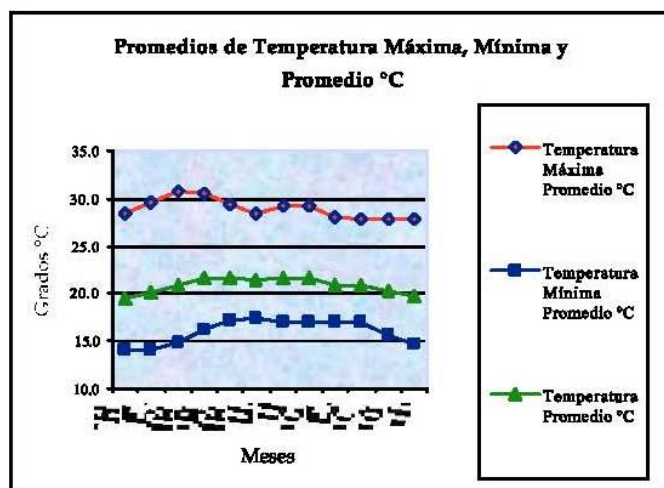


Figura 81. Promedios mensuales de temperatura, Santa Tecla. [95]

En la Figura 82, identifica los diferentes valores de la temperatura media con respecto a sus promedios normales. Se observa que para planicies medias, los promedios fueron mayores a su normal climatológica para 7 estaciones, lo que significa que estuvo más cálido que lo normal en estos lugares [95].

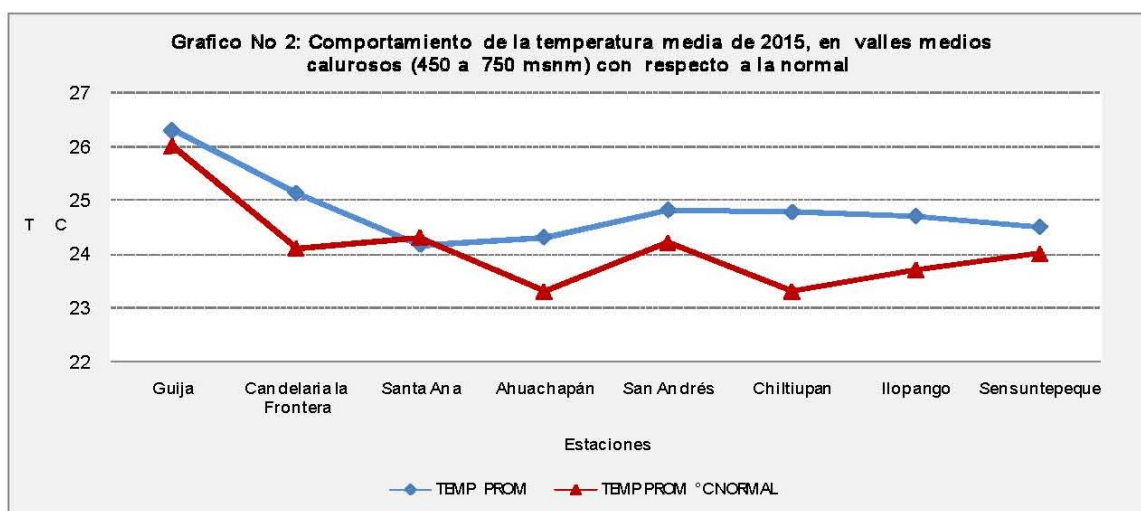


Figura 82. Comportamiento de la temperatura media de 2015, en valles medios calurosos. [95]



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

2.3.1.5 Comportamiento de la humedad relativa.

En la mayoría de estaciones, la humedad relativa fue menor que sus normales climatológicas. La humedad media ronda entre el 70-80%. En términos generales la cantidad de estaciones que presentaron anomalías positivas es menor a las negativas, diferente a los años anteriores 2007-2013. La mayor anomalía anual positiva se registró en Los Naranjos con 6 % y la menor anomalía anual negativa en Cerrón Grande con 9 %. (Ver Figura 83) [95].

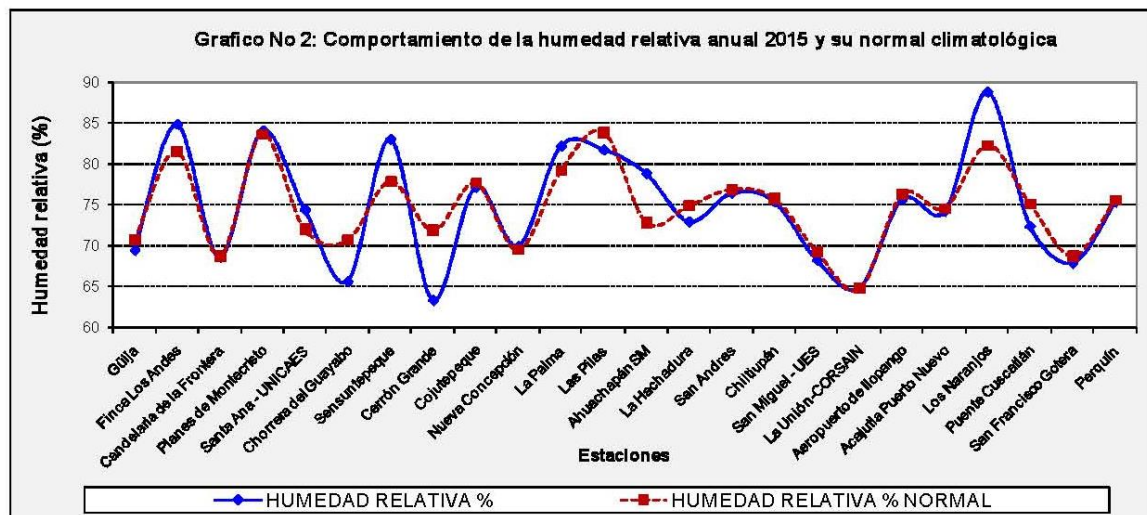


Figura 83. Comportamiento de la humedad relativa anual 2015 y su normal climatológica. [95]

2.3.1.6 Comportamiento normal de la luz solar y el brillo solar anual

Para cada zona geográfica del país (planicies bajas, valles intermedios y valles de altura) se presentan los mapas de comportamiento normal de las variables: Luz solar y radiación solar anual. Se observa que para las planicies bajas y valles intermedios de la zona oriental del país, la cantidad de luz solar es mayor, superando las 8.2 horas. Con respecto a la radiación solar, se observa que en las planicies costeras de las zonas central, para central y oriental del país, las cantidades son mayores de 5.00 y para San Salvador de 5.20 Kw/m²/día. (Kw=kilocalorías).

Según los mapas del proyecto SWERA [89] en el departamento de la Libertad se pueden disfrutar de 7,6-7,8 horas de luz al día mientras que la radiación solar es de 4,69-4,92 Kw/m²/día, siendo ambos unos valores intermedios con respecto a los valores existentes en el resto del país. Ver Figura 84 y Figura 85. [95]



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

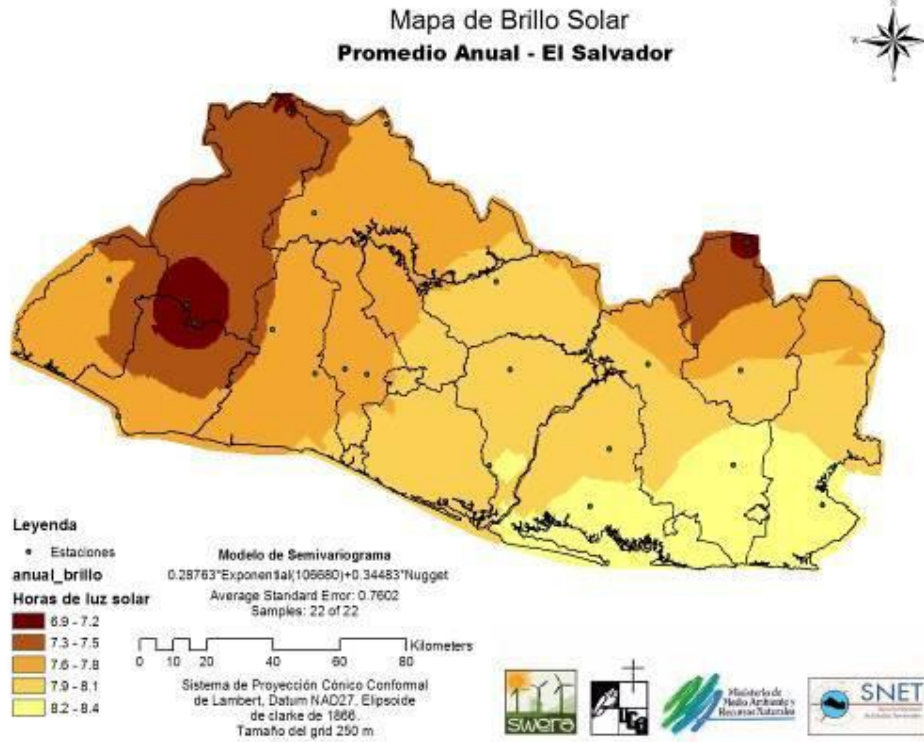


Figura 84. Mapa de brillo solar. Proyecto SWERA. [89]

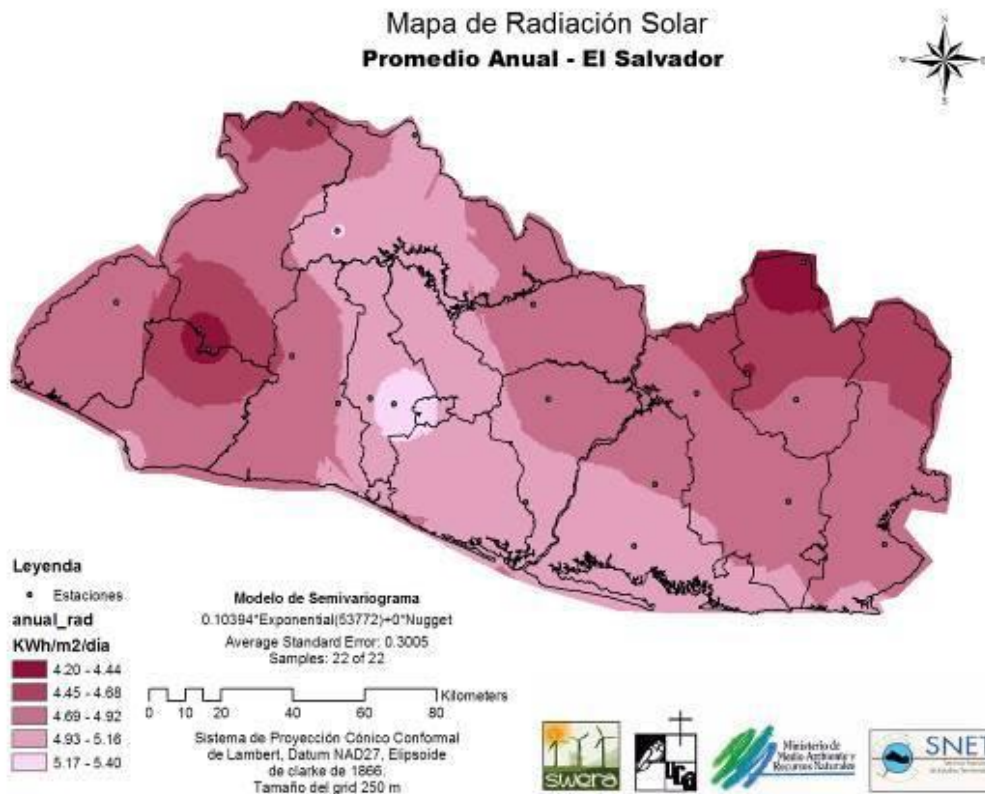


Figura 85. Mapa de radiación solar. Proyecto SWERA. [89]



2.3.1.7 Comportamiento del viento. Mapas eólicos.

Durante el desarrollo del proyecto SWERA se actualizaron los datos digitales de potencial eólico del país disponibles en la división de meteorología del MARN/SNET.

En el caso de potencial eólico las velocidades promedio, direcciones predominantes del viento, los cálculos de densidades de potencia y estudios de modelaje eólico se realizaron con registros de 18 estaciones meteorológicas.

Una característica del clima en este país son los Alisios, vientos predominantes de rumbo aproximando NE y los Nortes, que transportan aire frío procedente del Ártico hacia los trópicos. Se puede observar, también, un buen desarrollo del sistema que lleva aire del mar hacia tierra y sus zonas inmediatas. El viento se genera por el calentamiento desigual de la superficie de la tierra realizado por el Sol (Tabla 10).

En noviembre de 1994 Alexandre de Lemos Pereira del Centro Brasileiro de Energía Eólica realizó con apoyo de la UCA, MARN y la CEL el estudio "Site selection for wind power project in El Salvador". Este proyecto se ejecutó con fondos del proyecto SWERA-UCA y con el apoyo del laboratorio de SIG de la UCA. El objetivo de este proyecto fue el de seleccionar varios sitios del país para realizar mediciones de viento, hacer recomendaciones para las mediciones a realizar en cada uno de ellos y definir las especificaciones técnicas para el sistema de adquisición de datos de una torre de medición de velocidad y dirección de viento. [89] (Véase Figura 86).

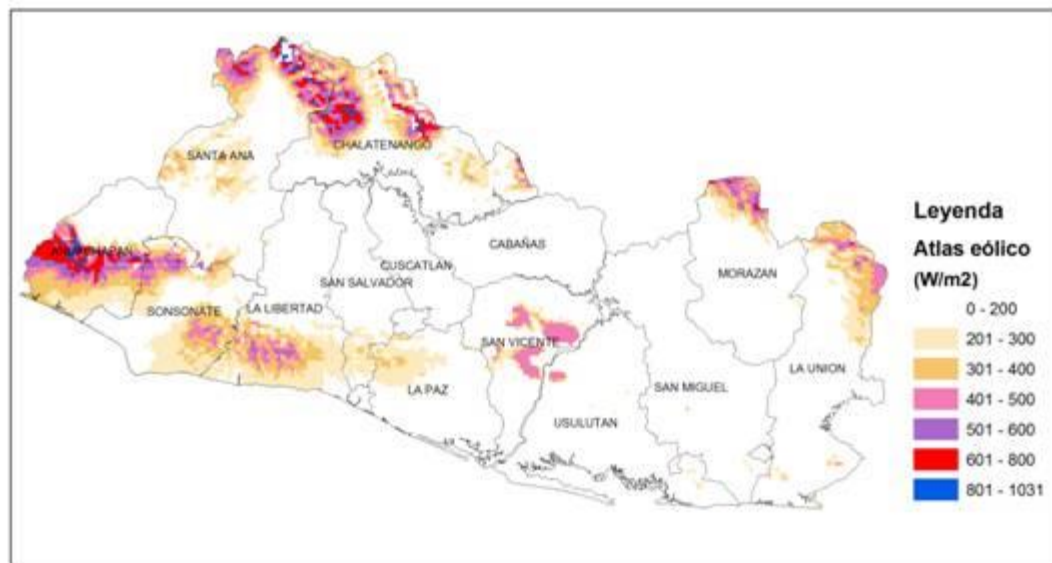


Figura 86. Mapa eólico de El Salvador elaborado por NREL.

En general las velocidades de vientos promedios anuales registrados por el proyecto SWERA-UCA oscilan entre 1.12 a 3.91 m/s², lo que equivale a vientos de tipo 1 a 3 entre ligeros y moderados.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Tabla 10. Régimen de vientos en El Salvador.

Tipo de viento	Descripción
Vientos alisios de carácter regional	<p>El Salvador está sometido a la influencia de los vientos alisios, que constituyen los vientos más constantes de todo el planeta. Estos soplan en la dirección NE desde las regiones de altas presiones de las latitudes medias hacia la zona de calmas ecuatoriales o frente intertropical. Estos vientos afectan con mayor intensidad las zonas de mayores alturas del territorio.</p>
Vientos de carácter local: brisas mar-tierra	<p>Poseen dos direcciones, la primera se produce en sentido mar-tierra durante el día, debido al gran calentamiento que se opera en la superficie terrestre, que provoca una zona de menor presión. Mientras, sobre la superficie del océano Pacífico, que se encuentra más fría, se genera una zona de mayor presión, lo que provoca que el aire circule en sentido océano-tierra. Estas brisas marinas pueden llegar a penetrar hasta unos 100 Km tierra adentro, llegando hasta el valle medio del Río Lempa. Por la noche se produce el fenómeno contrario, debido a la rápida pérdida del calor del continente, y el mayor calentamiento de la masa de agua del océano.</p>
Vientos de carácter local: brisas montaña-valles	<p>Estos vientos poseen dos direcciones en función del momento del día. Durante el día las zonas más altas del país se calientan más rápidamente que los valles y mesetas, por lo que se generan vientos locales que soplan desde los valles y mesetas hacia las zonas montañosas (brisas del valle), suavizando las temperaturas diurnas de las áreas de mayor altura del país. Cuando llega la noche las zonas altas del país se enfrían rápidamente, mientras que las zonas bajas (valles y mesetas) pierden lentamente el calor acumulado durante el día, por lo que las brisas soplan desde las zonas montañosas hacia los fondos de los valles y mesetas (brisas de montaña), suavizando las temperaturas nocturnas de las zonas bajas.</p>



2.3.2 MÉTODOS DE BIOCLIMATIZACIÓN PARA EL SALVADOR.

A lo largo de la historia, la arquitectura vernácula de cada país se ha adaptado a la región climática en la que se encuentra. Podría decirse que dicha arquitectura es bioclimática porque responde al clima en el que está construida, de manera que se convierte en refugio de la excesiva radiación solar, la lluvia, la nieve; permite a los habitantes permanecer en su interior teniendo la certeza de que la temperatura será agradable, proveyendo un lugar adecuado para la realización de las actividades cotidianas. Es sostenible porque para construirla se utilizaban al máximo los recursos disponibles en la región, en la medida en la que se procuraba mantener un equilibrio con la naturaleza, pues se entendía que la vida dependía de ella. También se aprovechaba el trabajo o mano de obra de los propios moradores, utilizando a veces la ayuda de los vecinos, para su autoconstrucción. Y a veces la cocina se colocaba en el porche y se vendía el caldo al que pasaba, convirtiéndose en el negocio de la familia mientras el huerto de la casa abastecía esa cocina.

En la actualidad, el monopolio de las compañías eléctricas, en cuyas manos se encuentra el precio de la energía o el confort de una familia, están presionando a los habitantes hacia nuevas formas de vida. El futuro del hombre pasa por el autoconsumo.

La definición del concepto de desarrollo sustentable se encuentra en el informe de Burdland, como el hecho de aprovechar los recursos disponibles y las técnicas descubiertas por los seres humanos, para minimizar el consumo masivo de recursos renovables, no renovables y la degradación del ambiente; bajo el concepto de diseño bioclimático.

Al hablar del diseño bioclimático para El Salvador, debe hacerse la referencia al estudio de los componentes del microclima [se entenderá como componentes del microclima de una zona al estudio de su topografía, temperatura, humedad, altitud, latitud, luz y cobertura vegetal] en la zona a intervenir, la tipología de los materiales a utilizar, y los sistemas pasivos de tratamiento de residuos, captación de energía u otros recursos disponibles y funcionales a nuestra localidad; para así, establecer el concepto preliminar de Diseño Sustentable y los principios aplicables a la zona de intervención.

Una vez considerados los factores físicos del sitio y habiendo definido los niveles de comodidad de cada uno de los espacios del diseño, se pueden establecer algunos criterios o recomendaciones generales de bioclimatización y/o uso de sistemas alternativos de energía adecuados a las condiciones climáticas de El Salvador.

Para cada localidad, existe un diferencial de temperatura y diferentes técnicas de enfriamiento que deben utilizarse en mayor medida de acuerdo a las potencialidades microclimáticas y/o al tipo de enfriamiento que más convenga. Existen los tipos de enfriamiento por radiación, evaporación, convección y conducción, y para cada uno de ellos se han desarrollado técnicas naturales, artificiales y combinadas que ayudarán a disminuir la temperatura y otorgar confort al interior de la edificación.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Otra forma de bioclimatización es la selección de materiales con baja conductividad térmica y que su disponibilidad en el mercado sea rápida y a coste mínimo. Las técnicas bioclimáticas empleadas en esta vivienda que se diseña son:

- **Óptima orientación.**

La orientación de la vivienda será fundamental para conseguir reducir el número de horas de soleamiento, ya que de lo contrario se produciría un calentamiento excesivo de las fachadas de la vivienda. La mejor orientación, según diferentes estudios [41], es aquella donde la fachada con mayor número de huecos es orientada hacia el sur.

En el caso de la vivienda diseñada para esta tesis, las dos fachadas delantera, trasera y las fachadas al patio, que son las de menor dimensión, presentan sendos huecos de ventana, así como, paneles con aberturas en celosía, para la ventilación, por lo que la fachada principal se orientará al sur, quedando la fachada lateral cubierta. (Véase Figura 87).



Figura 87. Orientación de una manzana de viviendas diseñada para esta tesis.

- **Sistemas de Enfriamiento Pasivo. Sistemas de ventilación natural. Ventilación cruzada**

Una estrategia fundamental es utilizar el viento para favorecer corrientes de ventilación natural proporcionada en cada época del año. Basada en un principio físico de transferencia de calor por convección y utilizando la dirección de los vientos predominantes, se favorece la circulación a través del área que se quiere ventilar, colocando intencionalmente las aberturas superiores e inferiores que faciliten el efecto Venturi a través de las cuales el viento circulara libremente intercambiando energía calorífica hasta lograr la temperatura del ambiente.

La colocación estratégica de las aberturas del edificio permite que el viento circule a través de los espacios interiores; hay que considerar la orientación de dichas aberturas dependiendo de la dirección de los vientos en el lugar.

Esta estrategia de ventilación es factible de utilizar la mayor parte del año. Cuando existe variación de temperaturas ($10^{\circ}\text{C} + 33^{\circ}\text{C}$) se recomienda dar hermeticidad completa a la construcción, en donde el edificio es ventilado, solo durante las horas de la noche y permanece cerrado durante el día.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

De esta manera la ganancia de calor al interior es mínima gracias al aislamiento térmico y a la protección de la penetración solar.

La ventilación es elemental para climatizar la arquitectura, pero también es fundamental para renovar el aire al interior de los recintos, aspecto clave en la higiene ambiental de los espacios habitables [41]. (Véase Figura 88).

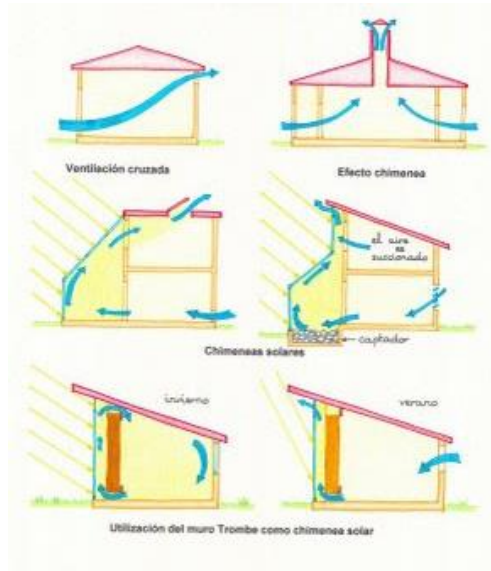


Figura 88. Sistemas de ventilación. Flujo del aire en el interior de la vivienda.

En el caso de la vivienda diseñada para esta tesis, se propone que los paneles de fibrocemento se fabriquen en serie con aberturas tipo celosía, lo que permitirá la circulación y ventilación constante de aire en el módulo de distribución y zonas húmedas (Cocina y baños) y por ende en los módulos habitables con la apertura de puertas y ventanas. También se podrían incorporar aberturas en las carpinterías de puertas en ventanas, que permitieran la libre circulación del viento por el interior de la vivienda, sin necesidad de realizar aberturas en las mismas. Este sistema será ideal para climas tropicales donde las temperaturas medias no son inferiores a los 22° y niveles de humedad altos. Junto con una orientación óptima de la vivienda se conseguirá niveles de confort en el interior de los módulos habitables.

Sin embargo, para climatologías diferentes con temperaturas inferiores a las anteriores, la ventilación y distribución de dichas aberturas debería estar controlada con sistemas de apertura y cierre manuales o automáticos, dependiendo de la estación del año y hora del día. En este caso, las aberturas dispondrían de un sistema de recorrido del aire que permitiera elevar la temperatura del aire introducido, para temperaturas exteriores muy bajas, de manera que dicha circulación no afectara al confort interior.

- **Barreras de protección solar. Barreras fijas (aleros y persianas)**

Funcionan para sombrear fachadas y espacios exteriores; se ubican donde exista mayor incidencia solar en el área donde se edificara. Estas barreras deben ubicarse en un ángulo en función del sol de mediodía para los días de verano y espaciadas correctamente para que permita el paso de la radiación solar durante los meses de invierno.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

En el caso de la vivienda diseñada para esta tesis, las carpinterías de las ventanas incluirán un sistema de persianas, que permita reducir el soleamiento interior durante las horas centrales y calurosas del día. Por otra parte, las viviendas dispondrán de aleros en todo su perímetro libre, que consistirán en un vuelo de 50 cm de la cubierta. (Véase Figura 87).

- **Cubierta ventilada.**

La cubierta ventilada será fundamental para evitar el calentamiento de la vivienda por la zona del techo de la misma. Se ejecutará una estructura horizontal de cubrición revestida con paneles de fibrocemento, que presentan un aislamiento importante, realizándose la formación de pendientes con la propia estructura de acero, siendo la terminación de la misma una lámina de zinc de aluminio. Las láminas PLYCEM tienen una conductividad térmica equivalente a $0.203 \text{ W/m}^{\circ\text{C}}$

- **Radiación solar, fotovoltaica.**

En el diseño se ha supuesto que el agua caliente sanitaria será suministrada por duchas de corona y como medida de integración de energía alternativa se podrían sustituir por un sistema de energía solar térmica. El sistema estará compuesto por: paneles captadores, accesorios (tuberías y conectores), tanque de almacenamiento, estación de bombeo y un controlador diferencial. La cantidad de agua caliente para una ducha es de 76 litros por actividad (ASHRAE Applications 1999), por lo que se necesitaría calentar 0.456 m^3 de agua a 60°C diariamente. Para ello se necesitarían 5 paneles solares térmicos (ver Anexo A3.2.3) que estarían ubicados sobre el techo de la vivienda a una inclinación fija óptima de 15° (Véase Figura 89). [41]

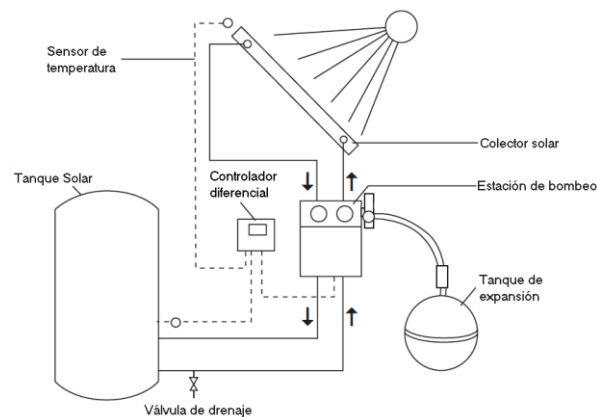


Figura 89. Sistema de energía solar térmica. Fuente: www.multitekingenieros.com, agosto 2010. [41]

El sistema de energía fotovoltaica, en el caso de instalarse, estaría compuesto por los elementos: paneles fotovoltaicos, inversor, estructuras de soporte, cables, medidores, protecciones y demás accesorios. El objetivo del diseño es ocupar la totalidad del área destinada para los paneles, en donde además estarán instalados los colectores solares. Se instalarían 39 paneles fotovoltaicos de 190 W, con una inclinación de 15° y sin sistema de seguimiento de la posición solar. La potencia total del sistema sería de 7.41 kW. La potencia requerida por una vivienda de similares características es de 1.008 kW, valor que se obtuvo con el uso de EnergyPlus. Esto nos indica que el sistema fotovoltaico sería capaz de suplir la demanda total de energía eléctrica anual de la vivienda (8.830 MWh). [41]



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

- **Reciclaje de materiales.**

El acero es reciclable al 100% y se puede reciclar indefinidamente sin perder calidad. La tasa de reciclaje es el porcentaje de materiales que se retiran del servicio, se recuperan y se reutilizan. Esta tasa es muy alta en el acero, pero varía de producto a producto. Por ejemplo, en construcción alcanza niveles particularmente altos; el 98% de las vigas y el 65-70% de las barras de refuerzo. El acero reciclado representa el 40% de los recursos férricos de la industria del acero en todo el mundo.

Las láminas de fibrocemento están compuestas por cemento Portland, carbonato de calcio, fibras celulósicas, y otros agregados menores, empleando un alto porcentaje de materiales reciclados para su fabricación.

- **Jardín interior/Invernadero.**

Se prevé que los patios de la vivienda sean utilizados como jardín, en cuyo caso, contribuirán al enfriamiento general de la vivienda, así como, facilitarán la ventilación cruzada a través de los paneles de celosía y huecos de la vivienda.

Otra de las utilidades de los patios sería convertirlos en huerto o invernadero para que la vivienda fuese sostenible desde el punto de vista alimentario. La estructura metálica haría de soporte para cubrir o descubrir los patios mediante plásticos, creando de esa forma un invernadero que permitiese disfrutar de productos durante todo el año.

En el caso de que la vivienda se encontrara ubicada en zonas con temperaturas bajas, el efecto invernadero creado por los plásticos podría proporcionar el calentamiento de la vivienda en las estaciones que fuese necesario, almacenando la radiación solar junto con la apertura de ventanas, durante el día.

- **Captación del agua pluvial. Reciclaje de aguas grises.**

La captación de agua de lluvia es una manera sencilla de obtener agua para consumo humano. Su mayor aplicación se da en lugares donde no se tiene acceso a agua potable y su principal objetivo es minimizar el impacto ambiental que conlleva la utilización únicamente de agua potable. En El Salvador, un gran número de municipios no disponen de sistemas de abastecimiento de agua. Por lo que se realizará la captación de agua pluvial en cubiertas para su reutilización para limpieza e higiene, cisternas de inodoros y riego de jardín/invernadero. Dejando únicamente el agua de consumo humano dependiente del abastecimiento general. (Véase Figura 90).

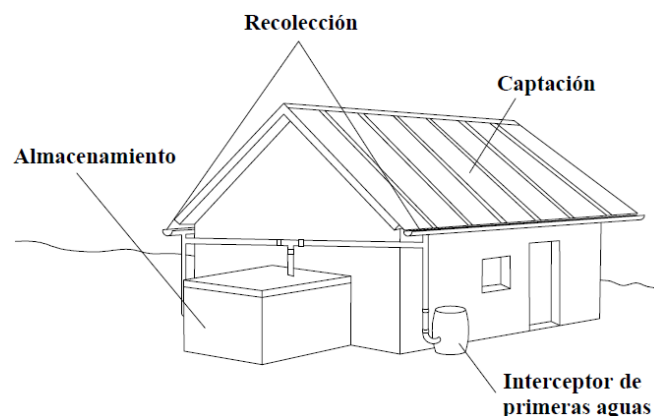


Figura 90. Sistema de Captación de Agua Pluvial en Techos (SCAPT). [41].



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

La cubierta sería el medio de captación de agua pluvial, con un área en planta de 116.30 m² y un coeficiente de escorrentía de 0.8. El sistema de captación estaría compuesto por canalones de PVC que irían anclados a los aleros de la cubierta y bajante de PVC de 90 mm para la conducción vertical.

El cálculo del volumen de almacenamiento se realizó para el mes más lluvioso, septiembre. Asumiendo un consumo promedio de 200 litros de agua por día por persona, se obtuvo que la demanda de agua diaria sería:

1ª Fase. Vivienda de dos dormitorios (4 personas)...	0.8 m ³ de agua.
2ª Fase. Vivienda de tres dormitorios (6 personas)...	1,2 m ³ de agua.
3ª Fase. Vivienda de cuatro dormitorios (8 personas)...	1,6 m ³ de agua.

Se observa que el promedio mayor de lluvias en esta zona se produce durante los meses de agosto, septiembre y octubre, llegando a máximos de casi 400 mm (Véase Figura 61), lo que equivaldría a 13.33 mm de precipitación por día, y con el área y coeficiente de escorrentía de techo se calculó el volumen de agua que se podría captar por día, siendo éste de 1,24 m³. La cantidad de agua captada podría abastecer la 1ª y 2ª fase de viviendas. Sin embargo, para la 3ª fase la demanda de agua es mayor que la cantidad de agua que se podría captar, y no se podría almacenar agua pluvial para varios días; por lo que se decide instalar un tanque de 400 litros, que equivale a la demanda necesaria para dos personas.

El sistema de captación de agua pluvial logrará captar casi la totalidad (excepto por las primeras aguas de lluvia que serán para limpiar el sistema) de la lluvia recibida sobre la cubierta de la vivienda. Así mismo, se diseñará un sistema de reciclaje de aguas grises destinadas al riego del jardín/invernadero.

- **Saneamiento autónomo. Biofiltro.**

En las comunidades de población dispersa, la solución más rentable es el saneamiento autónomo que consistirá en que cada familia disponga de un Biofiltro familiar. El principio de funcionamiento se basa en la infiltración lenta en arena. Esta infiltración lenta se garantiza en arenas libres de finos y de calibre 2 a 5 mm, preferiblemente de origen silíceo. El proceso de depuración se realiza durante el metro de profundidad que siempre debe tener el biofiltro. Según el diseño planteado, se podrá llegar a tratar diariamente hasta 250 litros, siendo estimativamente la producción de aguas grises en una familia de 5 miembros de 125 litros por día.

Para garantizar la presencia de oxígeno en las capas bajas del filtro se instalará uno o dos tubos ranurados pasantes en forma de U. Esta entrada de aire permite, según el origen y constitución particular del agua residual, la oxidación del amonio (orina) a nitrato en medio acuoso, así como la oxidación de los fosfato (jabones). El agua tratada poseerá pues nutrientes suficientes de forma oxidada como para servir de abono líquido en el huerto familiar. El coste de dicho sistema es muy bajo. [76]

Con el paso de tiempo, y una vez que las comunidades se establezcan como asentamientos fijos, prevalecerá la instalación de una depuradora comunitaria, para abaratar costes.



2.4 DISEÑO ARQUITECTÓNICO Y BIOCLIMÁTICO DE VIVIENDA DE EMERGENCIA.

2.4.1 MEMORIA JUSTIFICATIVA Y PROGRAMA DE NECESIDADES.

2.4.1.1 Identificación del problema.

Los países afectados por catástrofes naturales presentan un problema habitacional importante, que les impide responder de manera eficiente y rápida a esa problemática, tanto a corto como a largo plazo.

El caso de El Salvador es un ejemplo de ello, cuya solución, como en la mayoría de dichos países, debe abordarse por parte de todos los actores: El Estado, la empresa privada y la sociedad civil.

Numerosas iniciativas se han venido desarrollando desde hace años, tanto por parte del Estado como por empresas privadas e instituciones sin ánimo de lucro, para mejorar la situación de la vivienda y el hábitat, sin embargo, han resultado insuficientes. Por lo que aún existen desafíos por resolver, entre ellos:

- Impulsar una política pública de vivienda, que permita la utilización de los recursos disponibles y articule los actores.
- Asegurar el financiamiento en los programas de fondos sociales destinados a viviendas promovidos por el Estado.
- Dinamizar la economía nacional y local para encontrar la solución al déficit cualitativo y cuantitativo de viviendas sociales.
- Resolver la tensión entre la necesidad de construir vivienda y los problemas de acceso al suelo, mediante planes urbanísticos que, desde los gobiernos locales, estructuren el futuro entramado residencial y organicen la dotación de parcelas a los promotores.
- Ejecutar planes urbanísticos para el desarrollo de infraestructuras; abastecimiento de agua, saneamiento, electricidad...
- Ofrecer soluciones acordes a las necesidades y características de cada familia y adaptadas a las características del entorno, que permitan la utilización de las fuentes de energía naturales evitando el consumo de recursos limitados, fomentando de esa manera el desarrollo sostenible.
- Resolver el déficit cualitativo de las viviendas, que incluyen; seguridad estructural (calidad constructiva de pisos, paredes y techos); disponibilidad de servicios básicos domiciliarios (energía, agua potable, saneamiento y drenaje); disponibilidad de espacio (área de terreno y de construcción por habitante); calidad ambiental (iluminación, ventilación y seguridad ante amenazas ambientales evidentes); seguridad jurídica de la tenencia y localización respecto a equipamientos y servicios sociales básicos (salud, educación, espacio público, transporte público).



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamiento de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

- Promover planes de formación en la construcción para la población desempleada, que permita solucionar los problemas de delincuencia y elevado paro que afectan al país.

Estos desafíos solamente podrán ser desarrollados con éxito, si se desarrolla una Política Pública de Vivienda y Hábitat y construir un marco institucional sostenible, que conlleven a la constitución de un verdadero sistema nacional de vivienda y hábitat integrado.

2.4.1.2 Emplazamiento del proyecto. Entorno físico.

La solución arquitectónica se ubicará en uno de los municipios más afectados por los terremotos de 2001, Santa Tecla, también llamada Nueva San Salvador, cabecera del departamento de La Libertad en El Salvador, situada en la Sierra del Bálsamo, donde se evidenció la gran vulnerabilidad de la población rural de la cordillera y el nivel de pobreza en que se encontraban. [76]

El departamento La Libertad posee 3 distritos: San Juan Opico, Santa Tecla y Quezaltepeque y 22 municipios, entre los que se encuentran Nueva San Salvador.

Este municipio se encuentra próximo a la capital, San Salvador, y presenta un potencial elevado para convertirse en zona de nuevas urbanizaciones y una ciudad dormitorio de la capital.

La diversidad entre el sector norte y sur de la zona rural del municipio de Nueva San Salvador en la Sierra del Bálsamo es un elemento característico del medio físico de este territorio. En el sector norte, cabecera de cuenca, el relieve está estructurado alrededor de un conjunto de ríos y quebradas que forman valles que confluyen al río Chilama. En la parte baja el relieve está estructurado alrededor de dos ejes, el eje que forma el río Asuchío afluente del río Chilama y el eje que forma el valle del río Chilama.

El relieve dominante en extensión es el relieve montañoso. En el sector norte de la Sierra, la mayor parte de las tierras se encuentran ocupadas con cafetales (grandes fincas), ya que la configuración topográfica de las vertientes, no admiten el cultivo de plantas anuales sin el riesgo erosivo correspondiente. Mientras que en el sector sur, el cultivo más generalizado es el cultivo de granos básicos, en su mayoría para la subsistencia de las familias rurales. No hay espacios naturales definidos más allá de la franja en la cordillera definida por la alcaldía de Santa Tecla.

Los impactos ambientales son elevados, contaminación de los ríos con las aguas mieles del sector cafetalero, vertidos incontrolados de residuos sólidos y vertidos de aguas residuales entre otros.

La protección urbanística del territorio es muy deficiente ya que ningún cantón en todo el municipio dispone de una figura de planeamiento urbanístico. La estructura de la administración municipal se puede considerar plenamente consolidada, pero los problemas derivados de la falta de recursos económicos y técnicos dificultan la gestión del territorio por parte del gobierno local.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Aunque algunas comunidades cuentan con calles pavimentadas, el acceso a la mayoría de las comunidades es por pistas de tierra. Una mayoría resultan intransitables durante algunos periodos del año. Paliar estas deficiencias en las vías de acceso es decisivo para la dinamización de la actividad productiva de las comunidades. La falta de infraestructura de agua potable, saneamiento y recogida de desechos sólidos es un problema generalizado en toda el área rural.

El problema con que se encuentran los gobiernos locales (alcaldías) es que no tienen los instrumentos legales para regular el sector de la construcción y hacer frente a las presiones de este debido a la inexistencia de ordenanzas municipales y leyes ambientales de ámbito local.

El origen de este problema es que las alcaldías no tienen los recursos suficientes, económicos y en consecuencia técnicos capaz de definir Planes Directores, como un plan de ordenamiento territorial, un plan de conectividad, un plan de riesgos geológicos y vulnerabilidad, un plan de abastecimiento y saneamiento, etc. a partir de los cuales definir estrategias de desarrollo local en el ámbito rural y urbano del municipio y definir leyes y ordenanzas legales con los que poder controlar y regular fenómenos como las urbanizaciones actuales.

2.4.1.3 Datos del usuario o promotor.

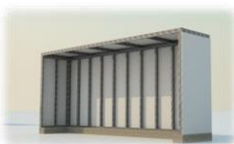
En el Trabajo Tutelado de Iniciación a la Investigación [3] se definieron las necesidades preliminares y se realizó un estudio demográfico y de los entornos rurales, considerando que cada hogar en la zona rural contará con 3,5-4 personas (padre, madre y dos hijos) por vivienda. Dicha vivienda tendrá la característica de poder ser ampliada con el tiempo, ya que los hogares se pueden ver afectados por el retorno de familiares que emigraron fuera del país.

2.4.1.4 Programa de necesidades.

El objetivo sería construir viviendas adaptadas al medio físico en el que se ubican, generando confort en su interior, aprovechando los medios disponibles al alcancen para convertirlas en sostenibles y, al mismo tiempo, conseguir que la prefabricación y modulación las conviertan en viviendas construidas en serie, que junto con la ligereza de los materiales, permitiría reducir costes y facilitar el transporte. Sin olvidar el concepto de autoconstrucción y autoconsumo, que afectarían a otros aspectos socioculturales del entorno.

Cada vivienda dispondría de un espacio para generar un negocio, con el que poder dinamizar la economía local del lugar, generando intercambio y crecimiento económico.

Una vez conseguida la ``fórmula maestra`` de la vivienda social para cada zona del país, los organismos públicos la convertirían en una Vivienda de Protección Social o VPO, cuyos materiales estuvieran subvencionados por el gobierno, aportando cada usuario su trabajo en el montaje y ejecución de la misma. Los autoconstructores de dichas viviendas recibirían formación en cursos de unos días, para instruirles en el oficio de montadores de viviendas.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Previamente, sería fundamental el trabajo del gobierno creando equipos técnicos encargados de generar planes urbanísticos, estudiando aquellos lugares susceptibles de ser urbanizados y organizando viales, superficies de parcelas...De igual manera, el gobierno cedería el suelo a cambio de que los autoconstructores o miembros de la comunidad fueran los encargados de ejecutar las instalaciones, viales y accesos necesarios para sus viviendas.

Se marcarían directrices en cuanto al posible crecimiento de las viviendas, no dejando a la arbitrariedad el crecimiento del entramado residencial.

En otras comunidades autoconstruidas por sus habitantes se han comprobado los beneficios que pueden aportar a la comunidad; reducción de la delincuencia, mayor sociabilidad y unión entre el vecindario, mayor cuidado de las viviendas, respeto por lo ajeno, reducción de las tasas del paro...

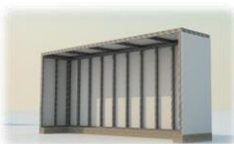
2.4.1.5 Descripción de la vivienda de emergencia.

El desarrollo de la vivienda arranca con una 1ª fase con superficies de una vivienda mínima de emergencia que satisface las necesidades iniciales de una familia constituida por cuatro miembros. Dicha vivienda contará con: Salón-comedor, cocina, baño, distribuidor, patio, dormitorio principal y dormitorio doble. El acceso a la vivienda se produce a través de una zona diáfana cubierta, a modo de galería comercial, que conecta las calles delantera y trasera. Dicha galería podría emplearse en la instalación de puestos temporales de negocios de comida, ropa...o incluso podría alquilarse como local comercial, para obtener rendimientos económicos. También podría transformarse en zona de ampliación de la vivienda o distribución de un garaje.

A continuación se adjunta la Tabla 11 de superficies de la 1ª fase:

Tabla 11. Cuadro de superficies. 1ª fase de la vivienda de emergencia.

SUPERFICIES VIVIENDA 1ª FASE				
PLANTA	ELEMENTO		S. UTIL	S. CONST.
P. BAJA	VIVIENDA	DISTRIBUIDOR	7,77	
		COMEDOR	16,50	
		COCINA	4,00	
		BAÑO	3,00	
		DORMITORIO PRINCIPAL 1	12,30	
		DORMITORIO 2	8,00	
	TOTAL VIVIENDA		51,57	57,70
	GALERÍA COMERCIAL	GALERÍA	40,00	
TOTAL GALERÍA COMERCIAL		40,00	41,76	
TOTAL PLANTA BAJA		91,57	99,46	
RESÚMEN DE SUPERFICIES POR USOS				
TOTAL USOS GLOBALES	VIVIENDA		51,57	57,70
	GALERÍA COMERCIAL		40,00	41,76
TOTAL		91,57	99,46	



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

La 2ª fase de la vivienda contará con un dormitorio doble más, por lo que aumentará la ocupación de la vivienda en dos personas, con un total de 6 personas. Dicha vivienda contará con: Salón-comedor, cocina, baño, distribuidor, patio, dormitorio principal y dos dormitorios dobles. En este caso, la zona diáfana se divide en dos zonas separadas por un patio y la vivienda; una zona delantera cubierta o porche de acceso a la vivienda, que podría tener un uso comercial y una segunda zona trasera, que podría emplearse como local comercial. A continuación se adjunta la Tabla 12 de superficies de la 2ª fase:

Tabla 12. Cuadro de superficies. 2ª fase de la vivienda de emergencia.

SUPERFICIES VIVIENDA 2ª FASE					
PLANTA	ELEMENTO		S. UTIL	S. CONST.	
P. BAJA	VIVIENDA	DISTRIBUIDOR	7,77		
		COMEDOR	16,50		
		COCINA	4,00		
		BAÑO	3,00		
		DORMITORIO PRINCIPAL 1	12,30		
		DORMITORIO 2	8,00		
		DORMITORIO 3	8,21		
	TOTAL VIVIENDA		59,78	67,02	
	GALERÍA COMERCIAL	PORCHE/COMERCIO		17,34	
			LOCAL COMERCIAL	13,00	
TOTAL GALERÍA COMERCIAL		30,34	32,44		
TOTAL PLANTA BAJA		90,12	99,46		
RESÚMEN DE SUPERFICIES POR USOS					
TOTAL USOS GLOBALES	VIVIENDA		59,78	67,02	
	GARAJE		30,34	32,44	
TOTAL		90,12	99,46		

La 3ª fase de la vivienda contará con un dormitorio doble más, por lo que aumentará la ocupación de la vivienda en dos personas, con un total de 8 personas. Dicha vivienda contará con: Salón-comedor, cocina, baño, distribuidor, patio, dormitorio principal y tres dormitorios dobles. En este caso, la zona diáfana se limita a una zona delantera cubierta o porche de acceso a la vivienda, que podría tener un uso comercial. A continuación se adjunta la Tabla 13 de superficies de la 3ª fase:



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Tabla 13. Cuadro de superficies. 3ª fase de la vivienda de emergencia.

SUPERFICIES VIVIENDA 3ª FASE				
PLANTA	ELEMENTO		S. UTIL	S. CONST.
P. BAJA	VIVIENDA	DISTRIBUIDOR	7,77	
		COMEDOR	16,50	
		COCINA	4,00	
		BAÑO	3,00	
		DORMITORIO PRINCIPAL 1	12,30	
		DORMITORIO 2	8,00	
		DORMITORIO 3	8,21	
		DORMITORIO 4	12,65	
	TOTAL VIVIENDA		72,43	81,58
	GALERÍA COMERCIAL	PORCHE/COMERCIO	17,34	
TOTAL GALERÍA COMERCIAL			17,34	17,88
TOTAL PLANTA BAJA		89,77	99,46	
RESÚMEN DE SUPERFICIES POR USOS				
TOTAL USOS GLOBALES	VIVIENDA		72,43	81,58
	GARAJE		17,34	17,88
TOTAL		89,77	99,46	

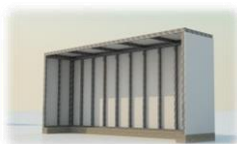


2.4.1.6 Criterios bioclimáticos aplicados al diseño.

En el proceso de diseño se han considerado los aspectos del medio ambiente de la ciudad de Santa Tecla, los que han generado criterios de diseño necesarios para conceptualizar una vivienda que responda a las presiones del medio ambiente. La Tabla 14 demuestra el proceso conceptual que se ha aplicado en la ejecución del diseño.

Tabla 14. Criterios bioclimáticos aplicados al diseño.

Limitaciones o restricciones	Criterios adoptados	Solución arquitectónica	Condiciones de mejora
Máxima exposición de la edificación al sol al extremo oeste durante la tarde.	Posición idónea de la vivienda respecto al Sol.	Orientación de la fachada principal al Sur, quedando la fachada sin huecos orientada al oeste. Aleros o vuelos de la cubierta 50 cm respecto de la alineación de la fachada.	Reducción de Temperatura extrema.
Vientos alisios, con rumbo aproximado al noreste.	Posición idónea de la vivienda respecto al norte geográfico e instalación sistemas de ventilación cruzada.	Diseño de láminas Plycem tipo celosía colocadas en la zona del patio y distribuidor de la vivienda para crear un canal de enfriamiento al hacer pasar con mayor rapidez el aire gracias al sifón simulado por los patios. Instalación de jardín en patios para, reduciendo la temperatura ambiente.	Enfriamiento de la vivienda, aprovechando la corriente marina proveniente del sur.
Nivel de confort del ser humano en las condiciones calurosas del trópico es de 26,7 °C.	Aislamiento idóneo de la mayor superficie expuesta de la vivienda a través de la cubierta ventilada. Elevación de la estructura de suelo sobre el nivel de suelo (Forjado antihumedad Figura 90).	Creación de cubierta ventilada con aislamiento horizontal mediante láminas Plycem, formación de pendientes con estructura de acero y acabado con lámina de zinc de aluminio. Estructura de suelo elevada sobre el nivel de suelo con cámara de aire.	Reducción de Temperatura extrema.



2.4.1.7 Tecnología aplicada al diseño.

Los aspectos que no se pueden resolver de manera pasiva, necesitan auxiliarse del componente tecnológico para superar las necesidades o problemáticas que se susciten en el proceso de diseño. La Tabla 15 presenta los sistemas tecnológicos que se han incorporado al diseño de la vivienda bioclimática y sostenible.

Tabla 15. Tecnologías aplicadas al diseño de la vivienda.

Sistema Aplicado	Recurso	Descripción	Mejora Ambiental
Sistema de Enfriamiento pasivo.	Celosía en láminas Plycem	Diseño de láminas Plycem tipo celosía colocadas en la zona del patio y distribuidor de la vivienda para crear un canal de enfriamiento al hacer pasar con mayor rapidez el aire gracias al sifón simulado por los patios.	Reducción de temperatura extrema. Aprovechamiento del régimen de vientos.
Sistema de Enfriamiento pasivo.	Jardín verde/ invernadero	Desarrollo de plantas y cultivos como el maíz, cola de zorro naranjo...	Reducción de Temperatura extrema.
Sistema de reducción del soleamiento.	Aleros Metálicos en el perímetro libre de la vivienda	Vuelo de 0,5 m de cubierta de zinc.	Reducción del impacto solar.
Sistema de Alimentación eléctrica.	Celdas fotovoltaicas	Tecnología para la captación de energía del Sol, colocada en el techo de la vivienda. Al mismo tiempo que este aparato dota de electricidad, evita y/o reduce el consumo de la red domiciliar habitual.	Ahorro del Consumo energético.
Sistema de captación de aguas lluvias.	Red de captación y cisterna	Sistema que permite el almacenamiento del agua de lluvia en depósito, para su reutilización en tareas de consumo no potable. Reutilización de aguas grises para riego del jardín.	Ahorro del consumo hídrico.



2.4.2 DISEÑO ARQUITECTÓNICO.

El diseño y superficies de las diferentes estancias de la vivienda surgen a partir de la modulación creada por la separación de los perfiles, 0,61 m, y la colocación de las láminas, con una anchura de 1,22 m. (Véase Figura 91)

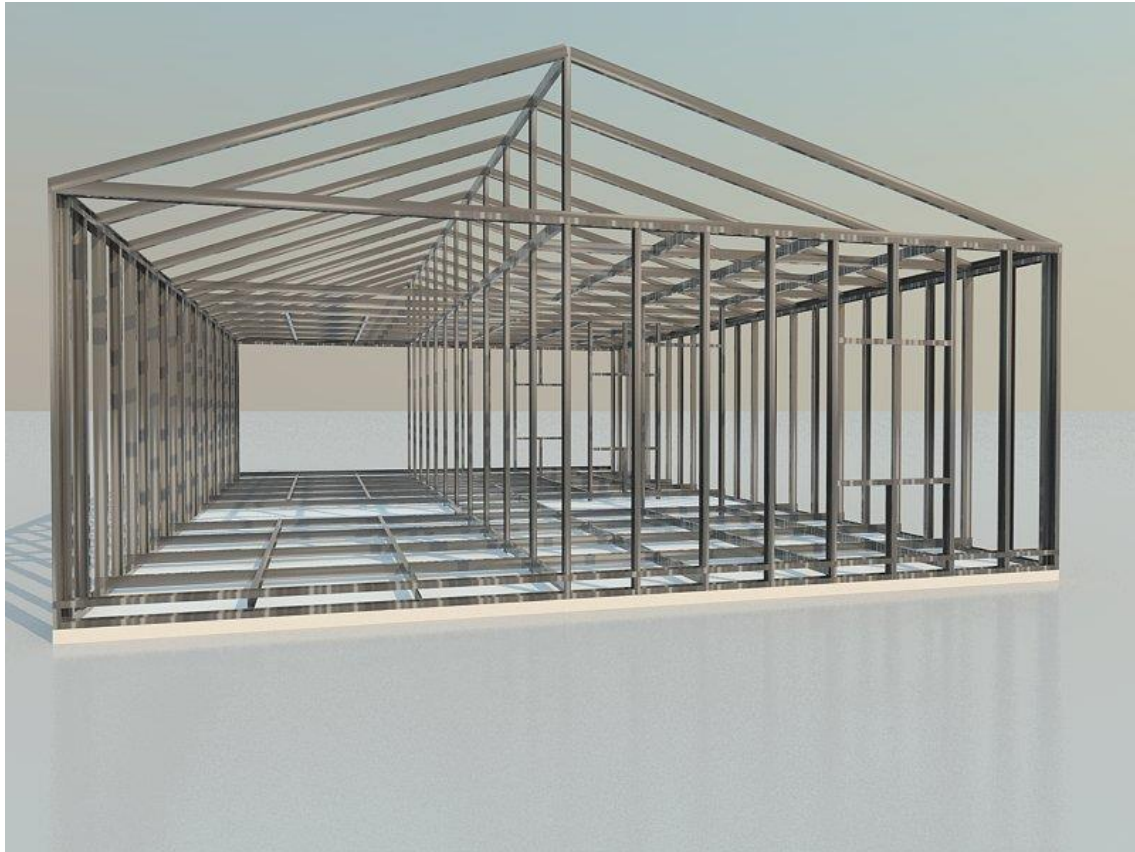


Figura 91. Vista en 3d del modelo inalámbrico de la estructura y modulación de perfiles.

Se diseñan como viviendas adosadas, organizadas en urbanizaciones, cuya ubicación será elegida por sus condiciones favorables para los asentamientos, tras estudios hidrográficos y del terreno. Dichas urbanizaciones crecerán siguiendo el patrón de planes urbanísticos, aprobados por comisiones de técnicos expertos en la materia, donde existirá una parcelación ya establecida y grafiada. La concesión de parcelas a los propietarios se producirá mediante instrumentos de apoyo y subvención para facilitar el acceso a las mismas, ya que como se dijo en anteriores capítulos, este es uno de los mayores problemas del país. (Véase Figura 92 y Figura 93)



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

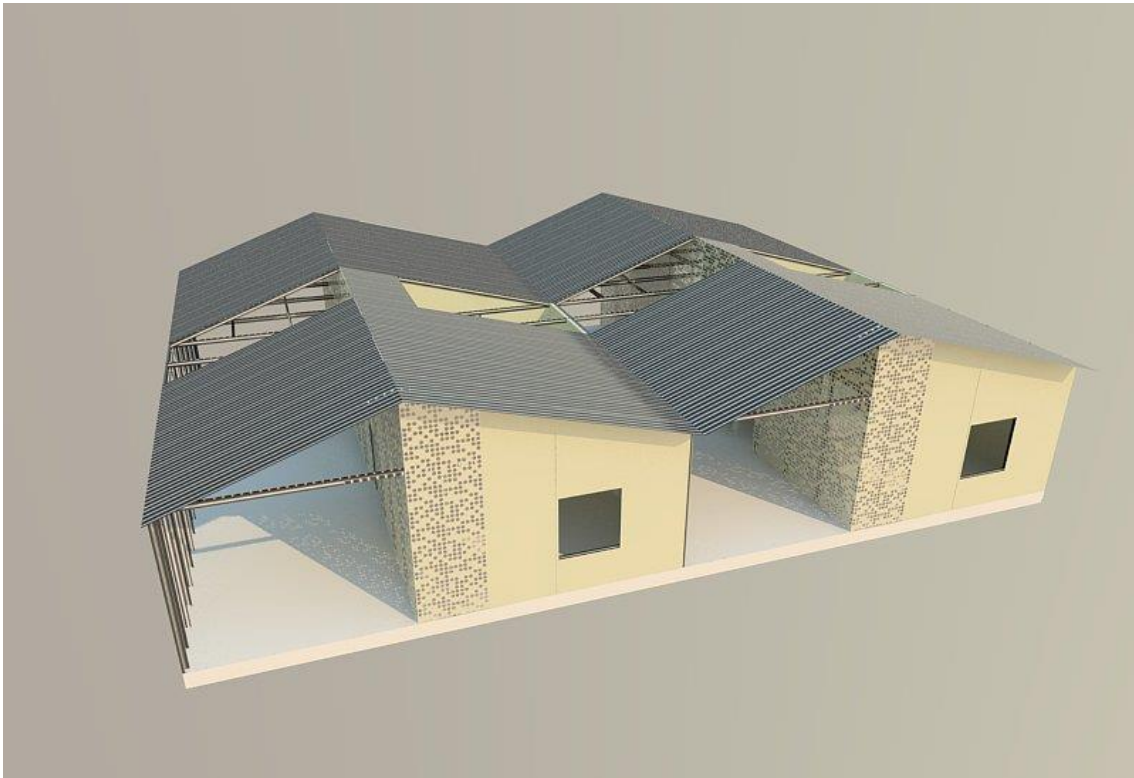


Figura 92. Imagen en 3d de la 1ª fase de dos viviendas de emergencia adosadas.

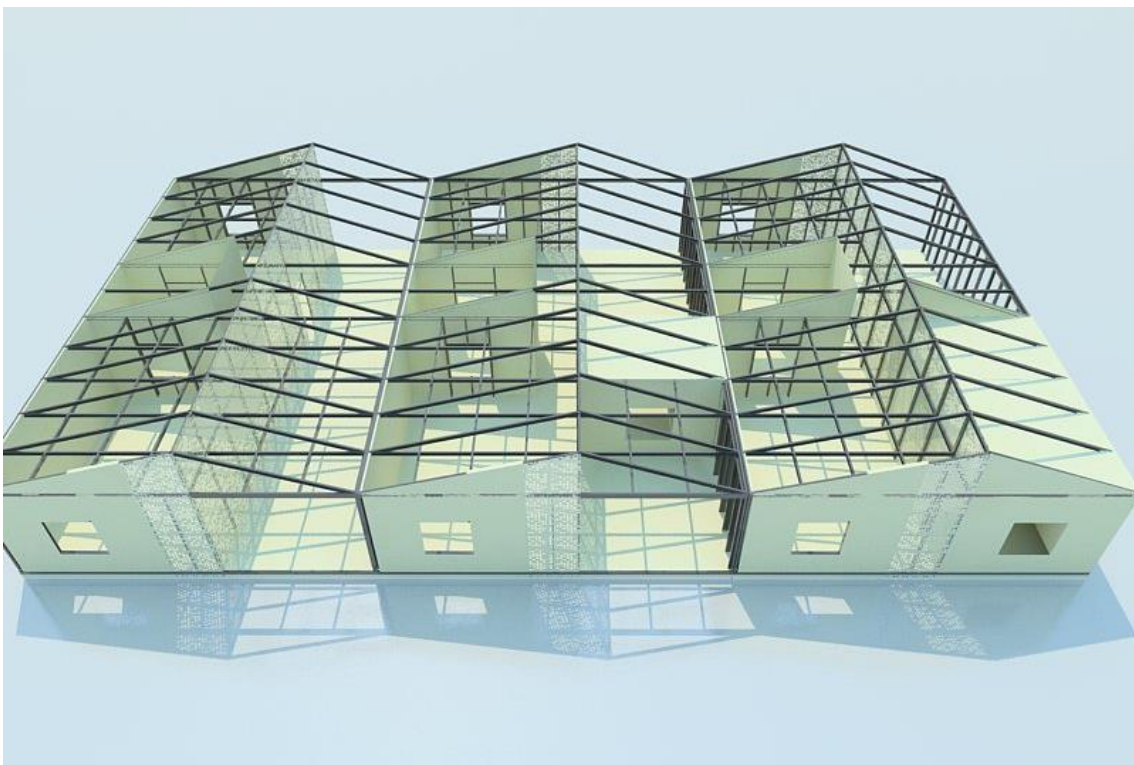


Figura 93. Imagen en 3d de viviendas de emergencia adosadas en distinta fases, sin cubierta.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

La vivienda ocupará una superficie de parcela de 114,60 m², con una anchura de 8,54 m y una longitud de 13,42 m, dimensiones moduladas en función de las separaciones entre perfiles, anteriormente descritas, creado una malla de 0,61 x 0,61 m. Dichas viviendas se conciben como viviendas adosadas formando manzanas de varias viviendas, rodeadas por calles de acceso. Dejando una separación mínima entre viviendas, de unos 15 cm, para permitir el paso de bajantes. (Véase Figura 90 y Figura 94).

La vivienda se concibe como una **máquina para vivir**, que proporciona no sólo cobijo, confort y bienestar a sus ocupantes, sino sustento alimentario, por la posibilidad del desarrollo de un huerto o invernadero en sus patios, y sustento económico, al estar dotada de un espacio donde desarrollar una idea de negocio que ayude a impulsar la economía de la comunidad. Se trata de que la vivienda sea sostenible en todos los sentidos, también desde el punto de vista energético, como se ha descrito en los apartados anteriores.

Aunque la idea inicial es que se conciba como una vivienda de emergencia, que proporcione una respuesta rápida a las necesidades del momento, la intención es que perdure en el tiempo convirtiéndose en una vivienda definitiva y ampliable según las necesidades familiares. Por ese motivo, se muestran las tres fases o posibilidades de la vivienda, ampliables con el tiempo.



Figura 94. Modulación de la parcela. Malla de 0,61 x 0,61 m.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamiento de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

En el esquema de la Figura 95 se muestra la 1ª Fase de la vivienda de emergencia, que ocupa una primera crujía de la parcela, con dimensiones 8,54 m x 13,42 m, donde se desarrolla; zona de día, zona de noche, circulaciones y zonas húmedas, junto con un patio que favorece el enfriamiento de la vivienda, facilitando la ventilación cruzada y permitiendo desarrollar un espacio para un huerto o invernadero.

Anexa a la crujía de la vivienda, una segunda crujía de la parcela, donde se desarrolla una galería cubierta con un patio intermedio. El espacio de circulaciones y zonas húmedas, cocina y baño, se desarrolla con paneles perforados a modo de celosía para permitir la ventilación cruzada en el interior de la vivienda y paliar el exceso de humedad en la misma,

El acceso a la vivienda se produce a través de esta zona diáfana cubierta, a modo de galería comercial, que conecta las calles delantera y trasera perimetrales. Debido a la importancia que tienen los negocios de comida, en El Salvador, sería importante destinar esta galería comercial en la instalación de puestos temporales de negocios de comida de pupusas, ropa, abalorios, decoración...o incluso podría alquilarse como local comercial, para obtener rendimientos económicos. También podría transformarse en zona de ampliación de la vivienda o distribución de un garaje. (Véase Figura 95).



Figura 95. Esquema de zonificación. 1ª Fase de vivienda de emergencia.

La galería comercial también podría permanecer sin cubrir, durante la estación seca o ser cubierta con toldos o lonas de tela, según las necesidades, en épocas lluviosas. También puede cubrirse de manera definitiva con láminas de fibrocemento. A continuación se muestra dicho espacio con la estructura vista, sin cubrir. (Véase Figura 96 y Figura 97).



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]



Figura 96. Imagen en 3d de la 1ª fase de la vivienda de emergencia. Galería sin cubrir.



Figura 97. Imagen en 3d de la 1ª fase de la vivienda de emergencia. Galería cubierta.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

En el esquema de la Figura 98 se muestra la 2ª fase de la vivienda, que se amplía con un dormitorio doble más, por lo que aumentará la ocupación de la vivienda, con un total de 6 personas. La ampliación se produce en la zona diáfana, quedando ésta dividida en dos zonas; una zona delantera cubierta o porche de acceso a la vivienda, que podría tener un uso comercial y una segunda zona trasera, que podría emplearse como local comercial. (Véase Figura 98 y Figura 99).



Figura 98. Esquema de zonificación. 2ª Fase de vivienda de emergencia.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

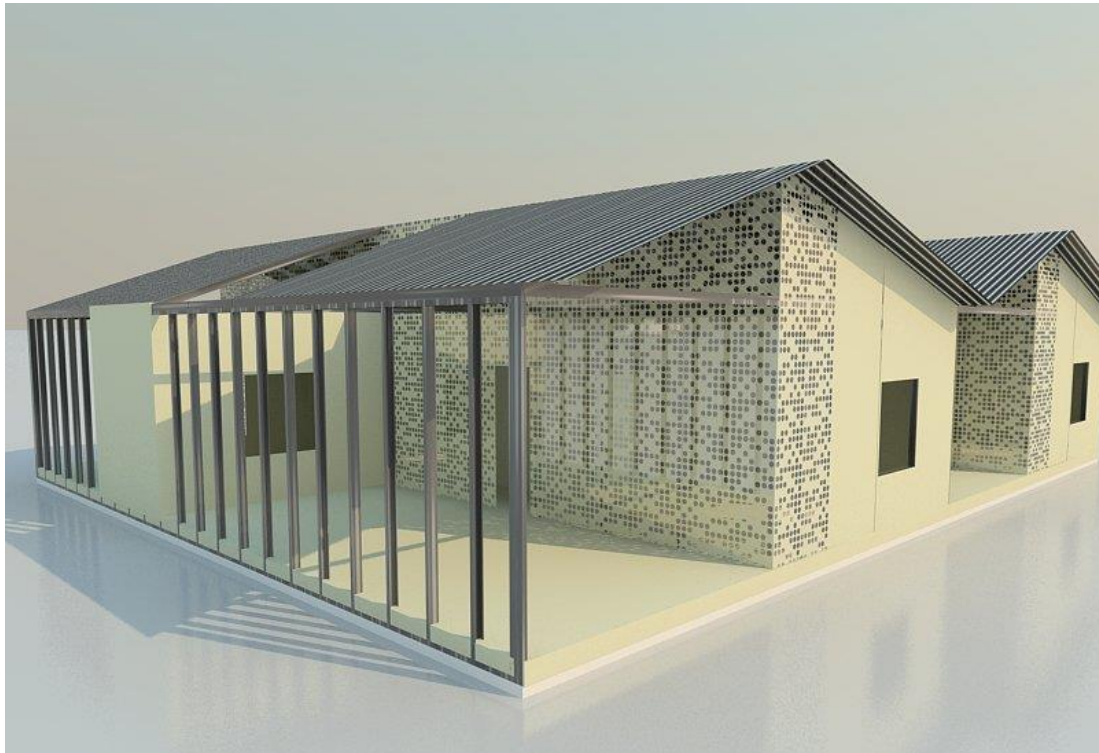


Figura 99. Imagen en 3d de la 2ª fase de la vivienda de emergencia.



Figura 100. Imagen en 3d de vivienda de emergencia en 1ª y 3ª fase.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Finalmente, la 3ª fase de la vivienda contará con un dormitorio doble más, por lo que aumentará la ocupación de la vivienda, con un total de 8 personas. El espacio de la vivienda ocupa una de las zonas comerciales, quedando únicamente una zona delantera cubierta o porche de acceso a la vivienda, que podría tener un uso comercial. (Véase Figura 100 y Figura 101).

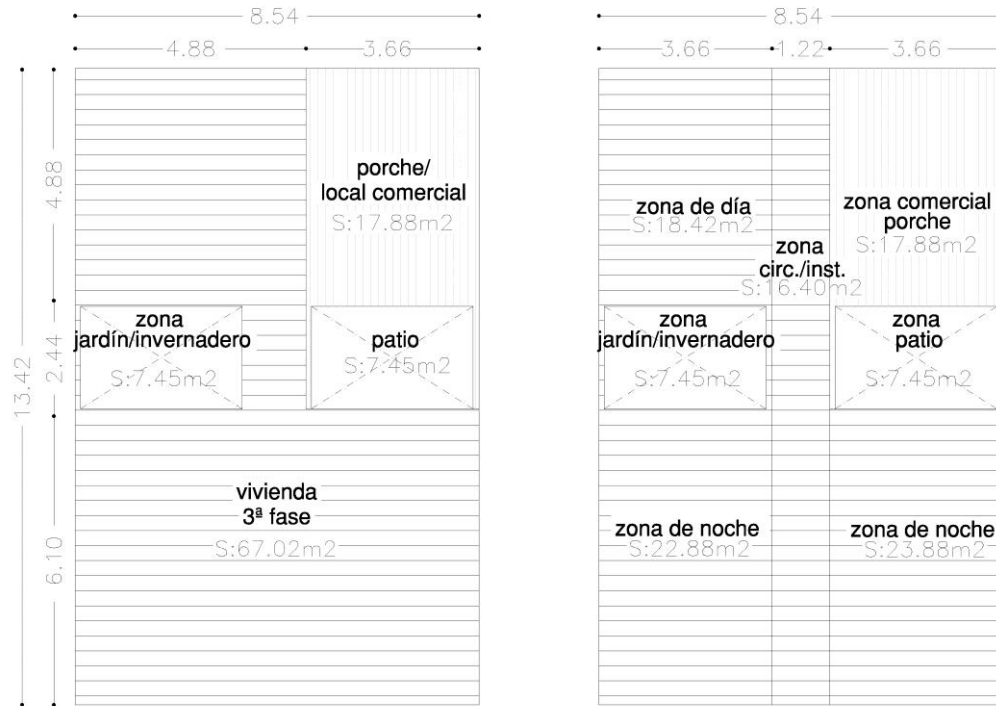


Figura 101. Esquema de zonificación. 3ª Fase de vivienda de emergencia.



2.4.2.1 Detalles constructivos.

A continuación se muestran los detalles constructivos para la ejecución de forjados horizontales conforme a la guía constructiva de Plycem [87] (Véase Figura 102, Figura 103, Figura 104, Figura 105, Figura 106, Figura 107):

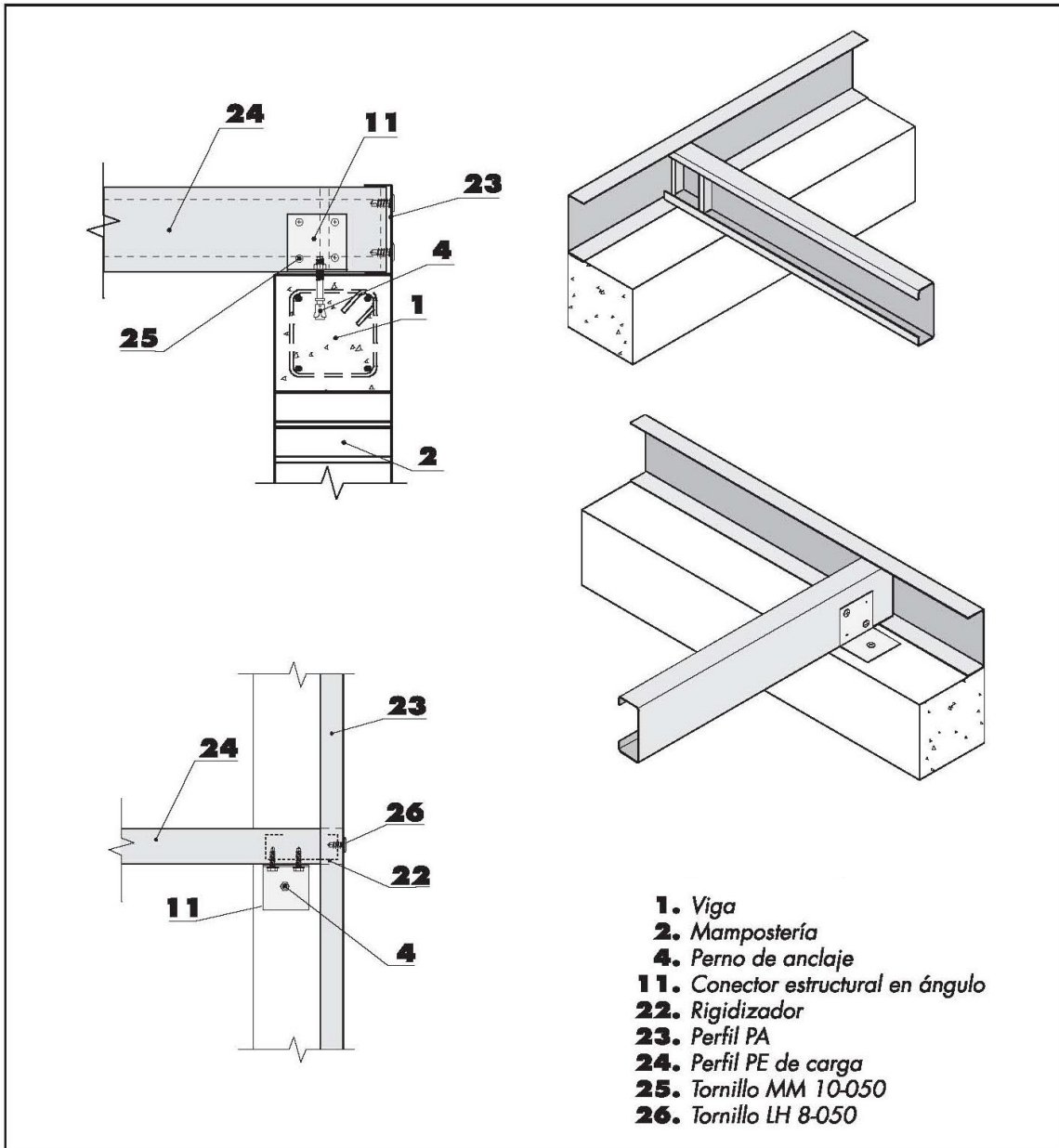


Figura 102. Detalle 1. Forjado. Anclaje sobre cemento. Encuentro entre perfil de carga y de amarre [87].

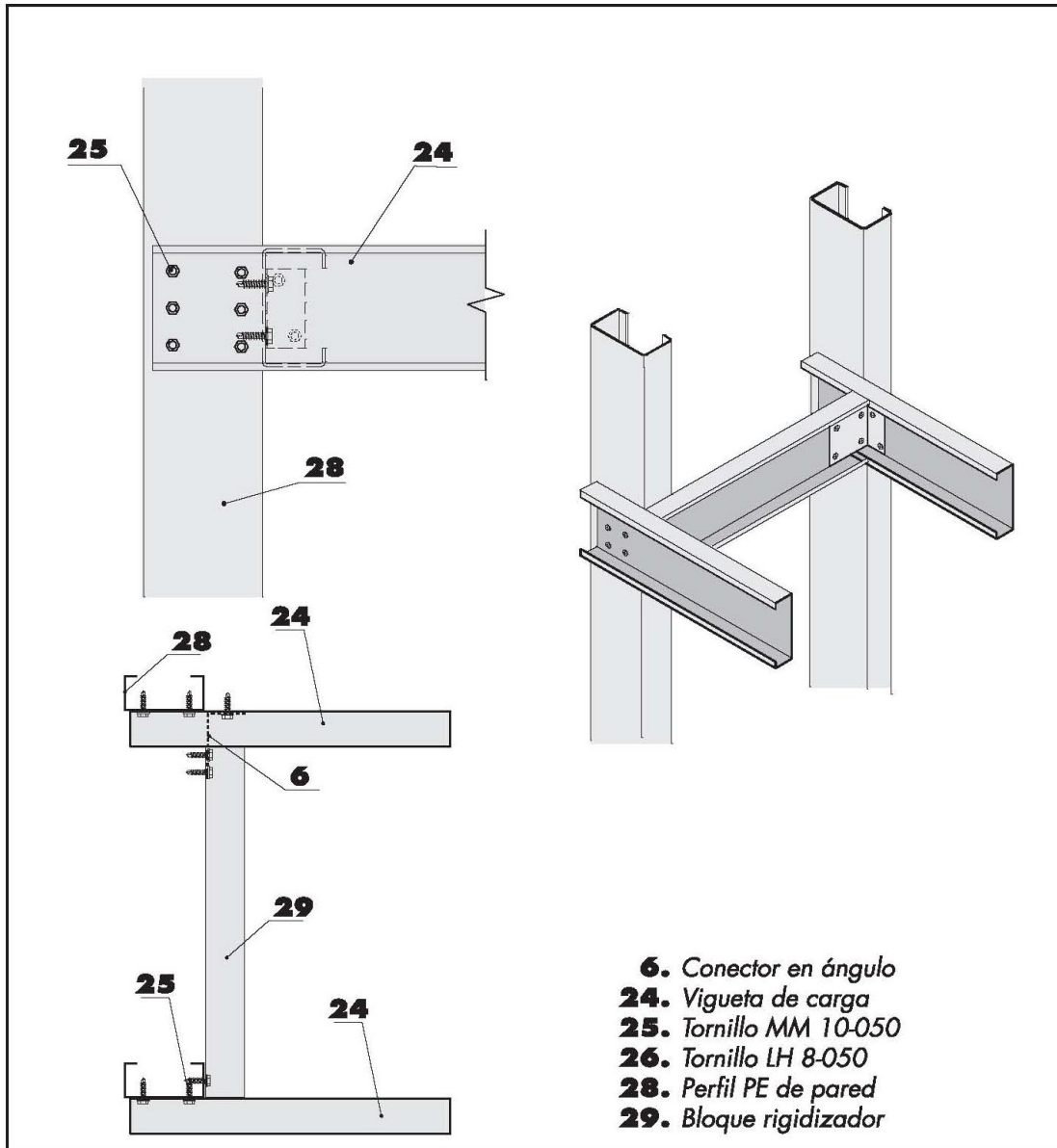


Figura 103. Detalle 2. Forjado. Encuentro entre perfiles de carga y verticales de pared portante [87].

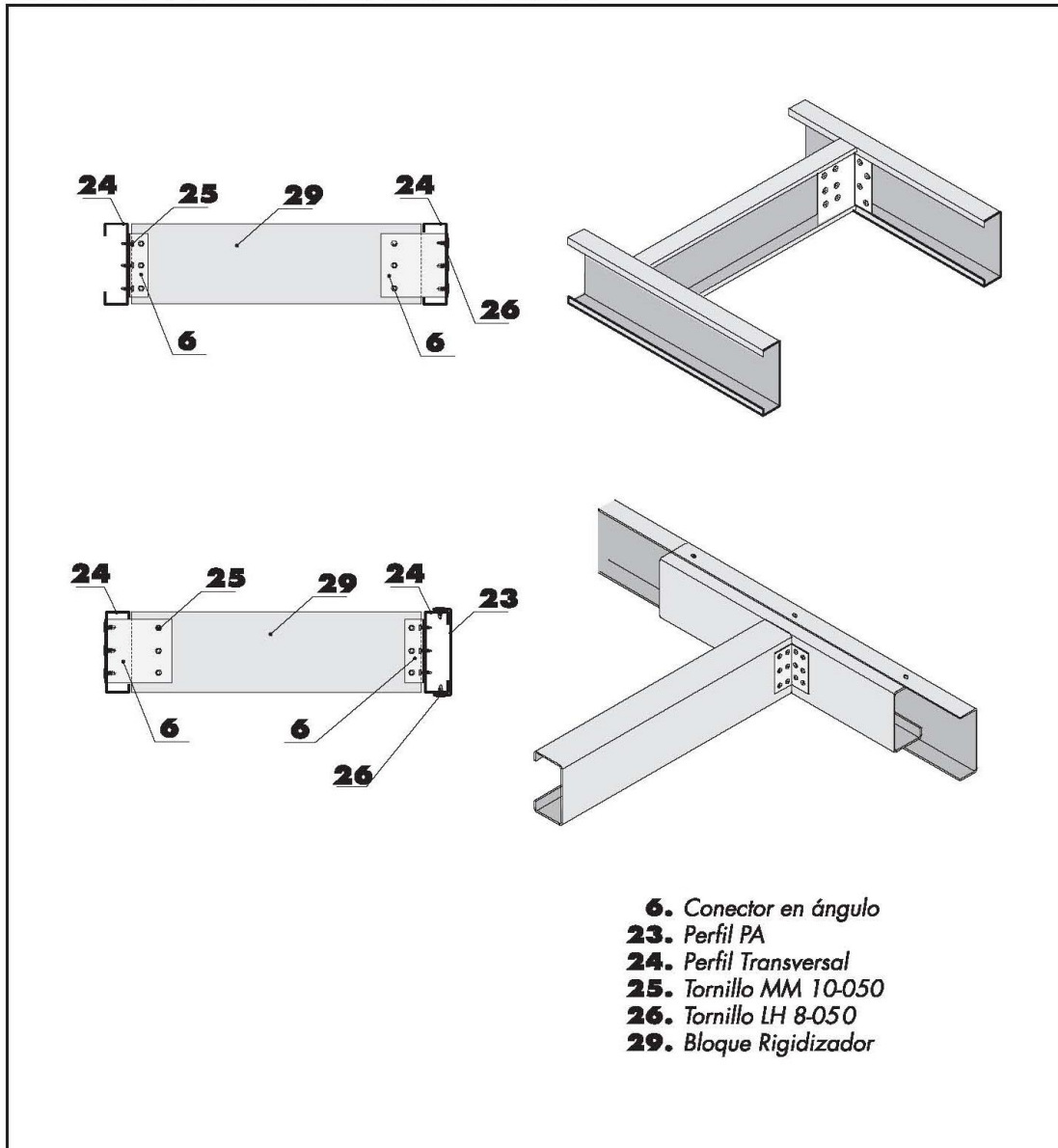


Figura 104. Detalle 3. Forjado. Rigidizadores entre perfiles de carga [87].

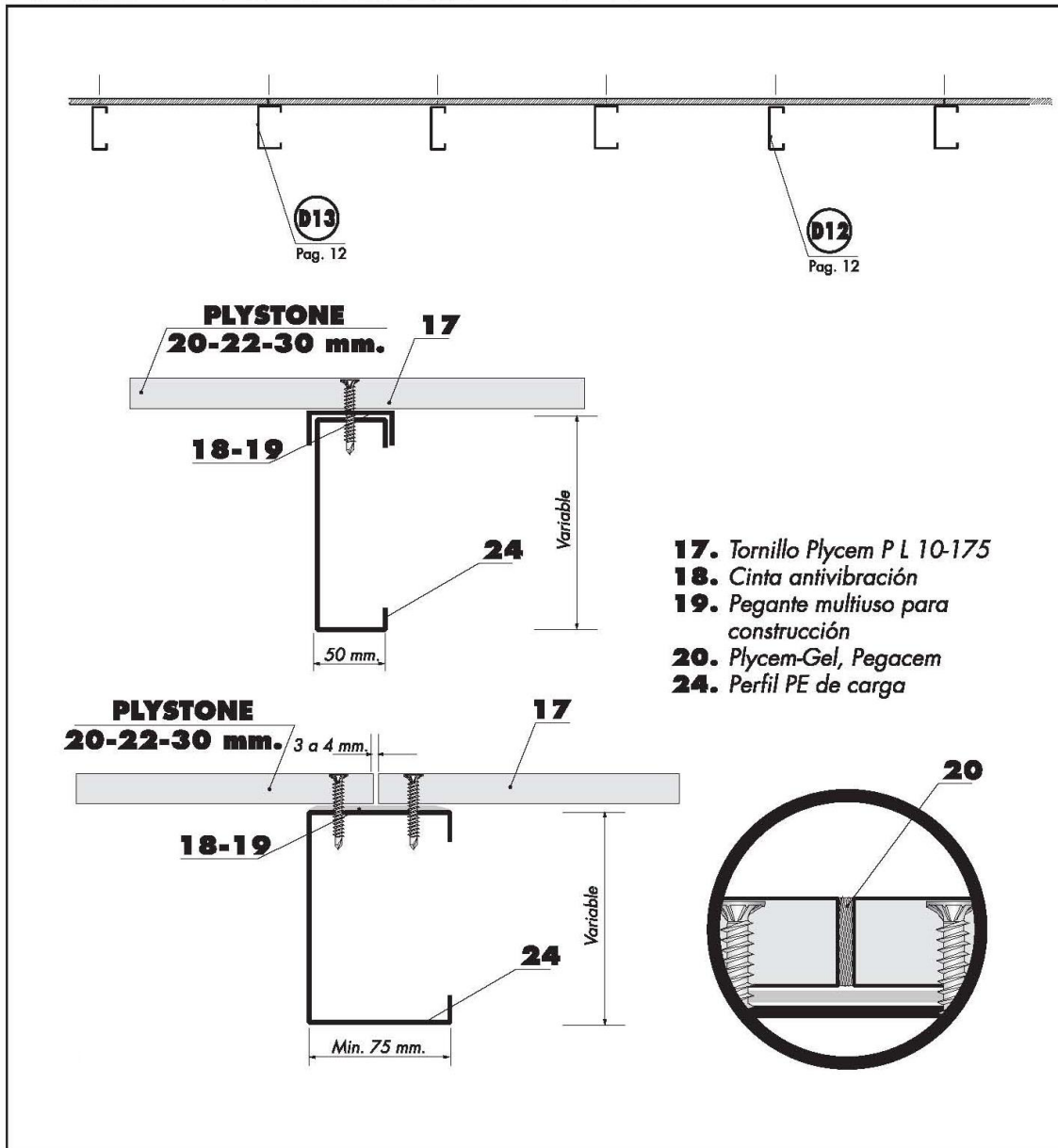


Figura 105. Detalle 4. Forjado. Fijación de lámina Plystone a perfiles [87].

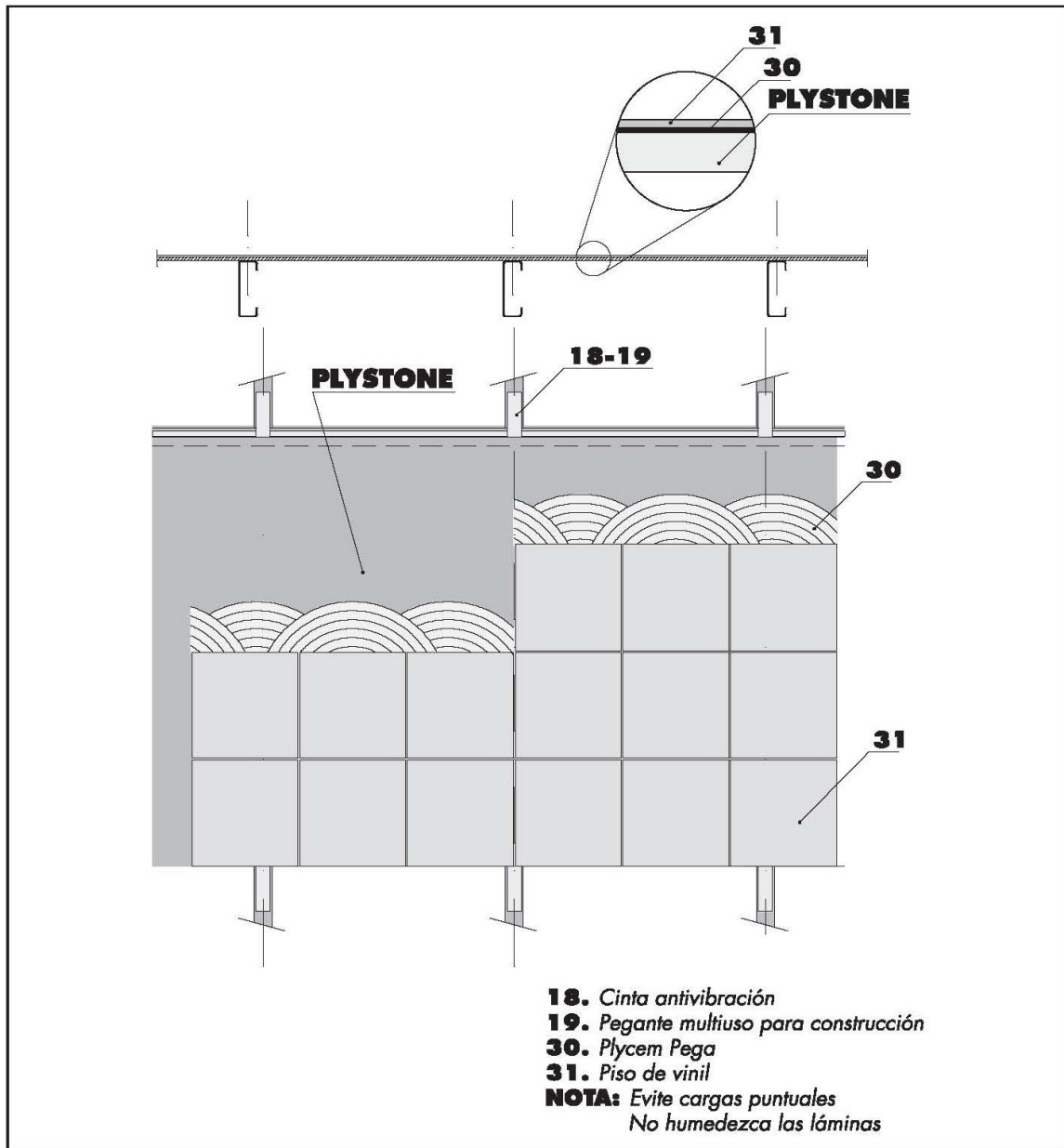


Figura 106. Detalle 5. Forjado. Acabados. Colocación de losetas de vinil [87].



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

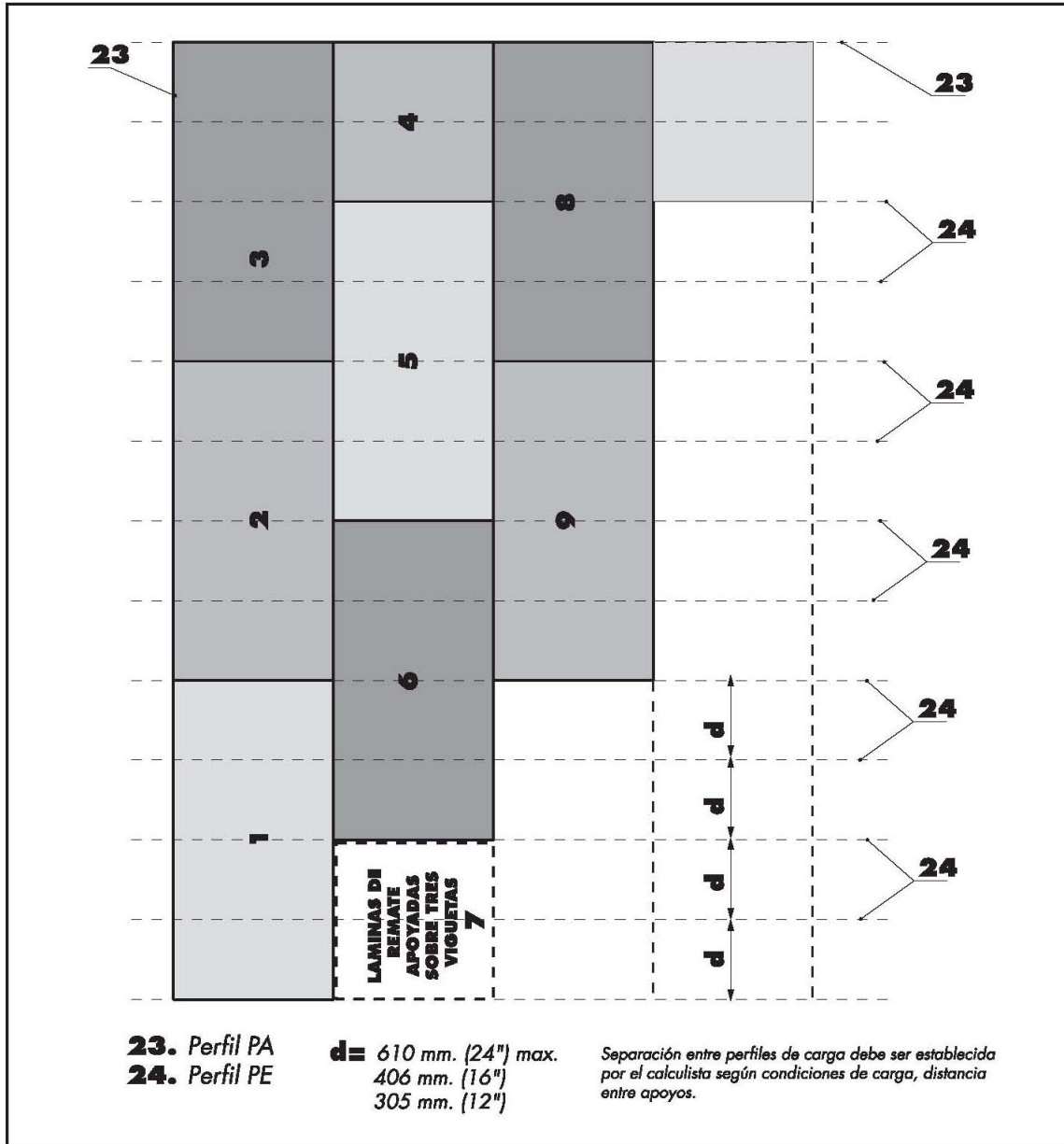


Figura 107. Detalle 6. Forjado. Distribución de láminas Plystone [87].



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

A continuación se muestran los detalles constructivos para la ejecución de paredes exteriores y tabiquería conforme a la guía constructiva de Plycem [87] (Véase Figura 108, Figura 109, Figura 110, Figura 111, Figura 112, Figura 113, Figura 114, Figura 115, Figura 116, Figura 117, Figura 118, Figura 119):

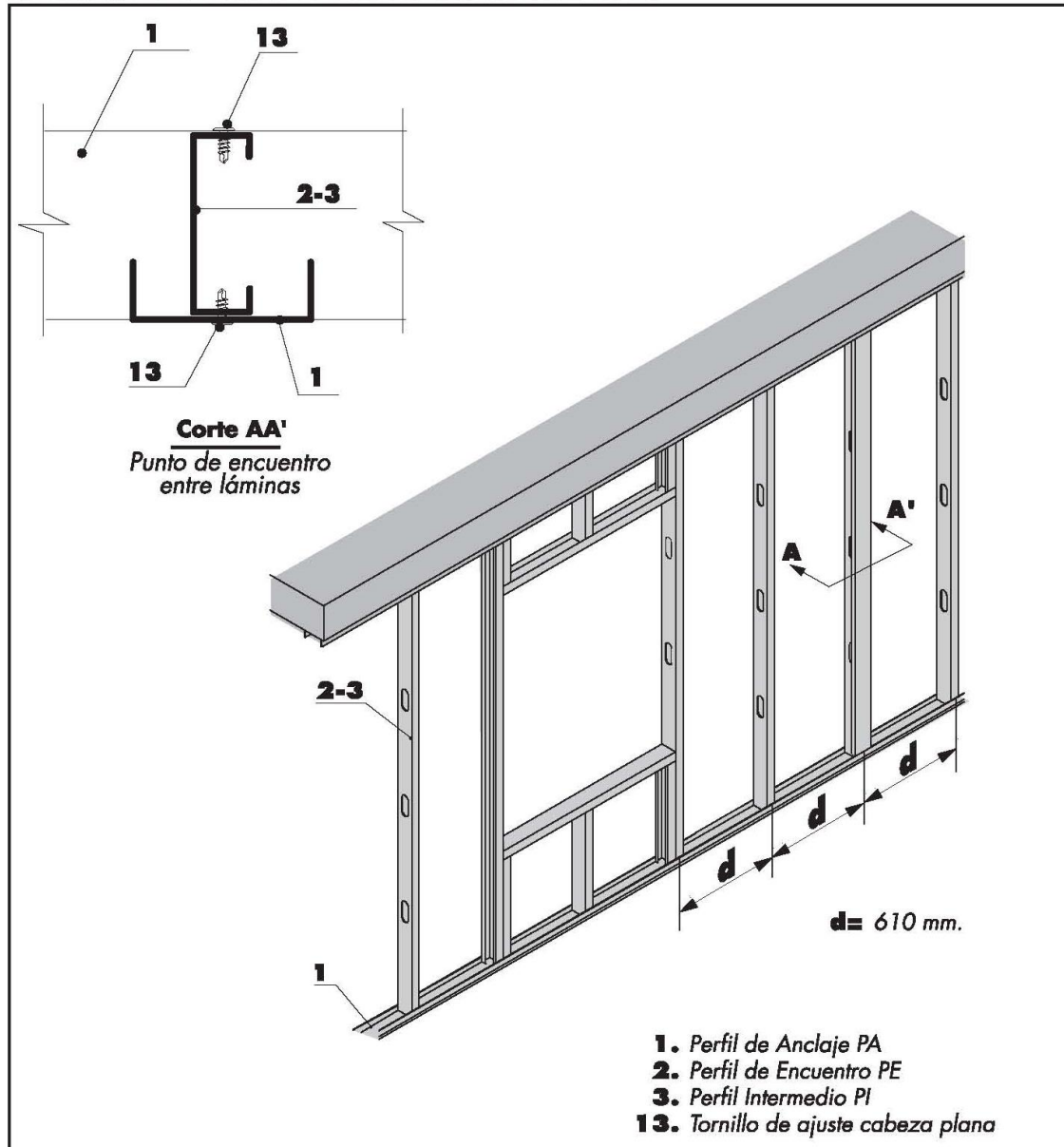


Figura 108. Detalle 7. Paredes exteriores. Ensamblaje de perfiles con separación de 610 mm [87].



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamiento de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

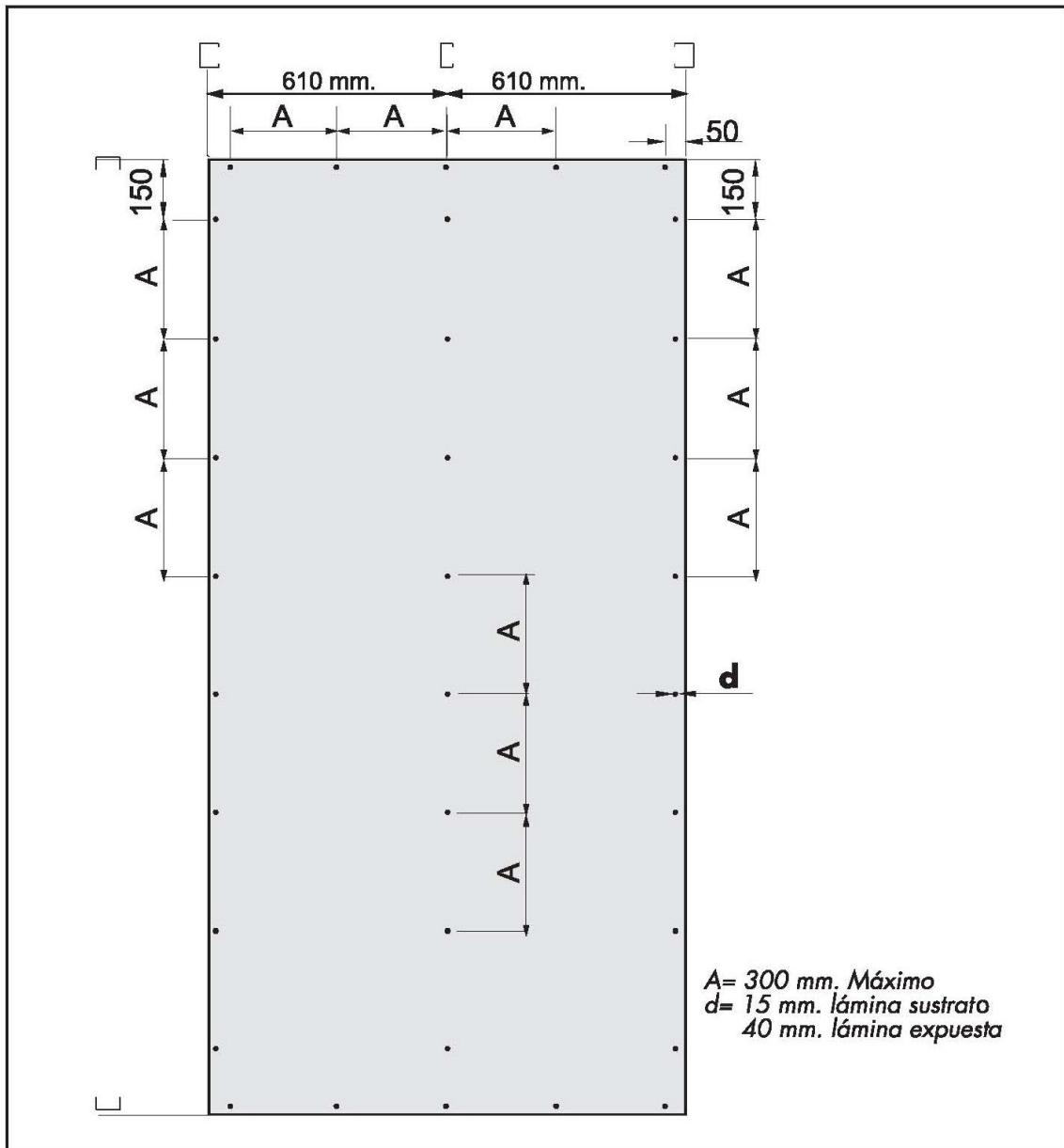


Figura 109. Detalle 8. Paredes. Fijación de láminas Plystone. Separación de perfiles 610 mm [87].

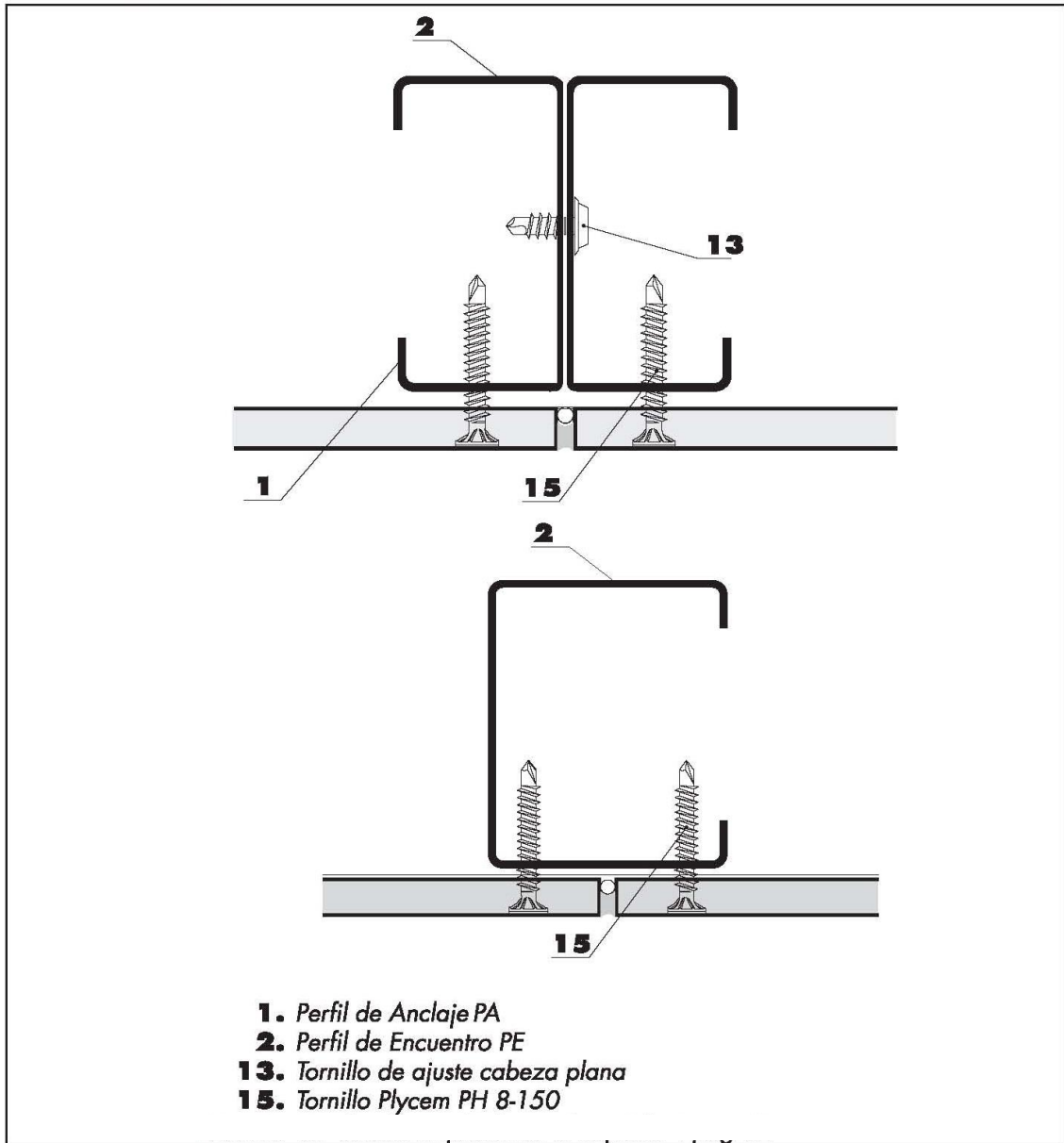


Figura 110. Detalle 9. Paredes exteriores. Tipo de juntas. Junta flexible [87].

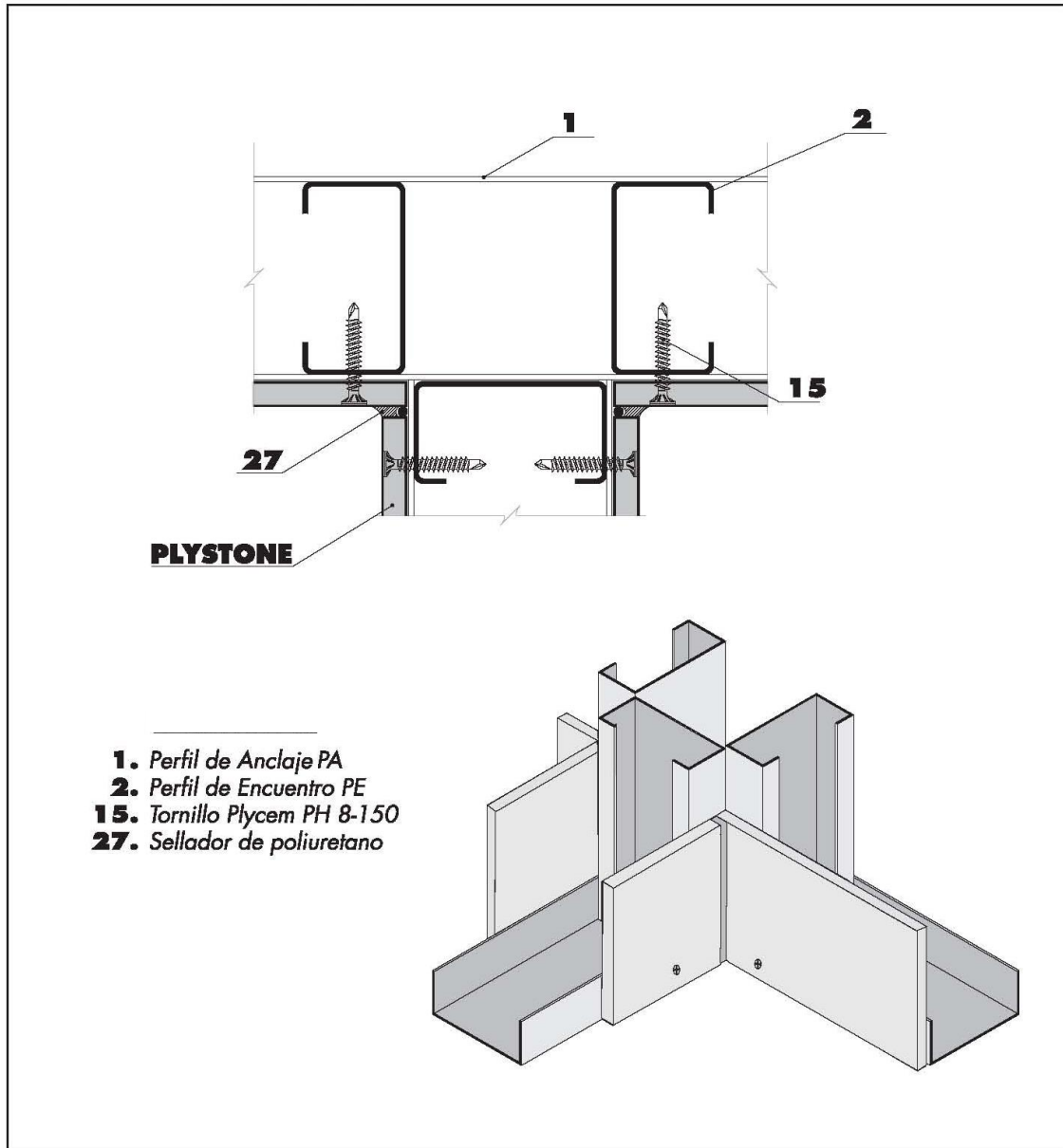


Figura 111. Detalle 10. Paredes exteriores. Fijación de láminas Plystone. Encuentro de muros en T [87].

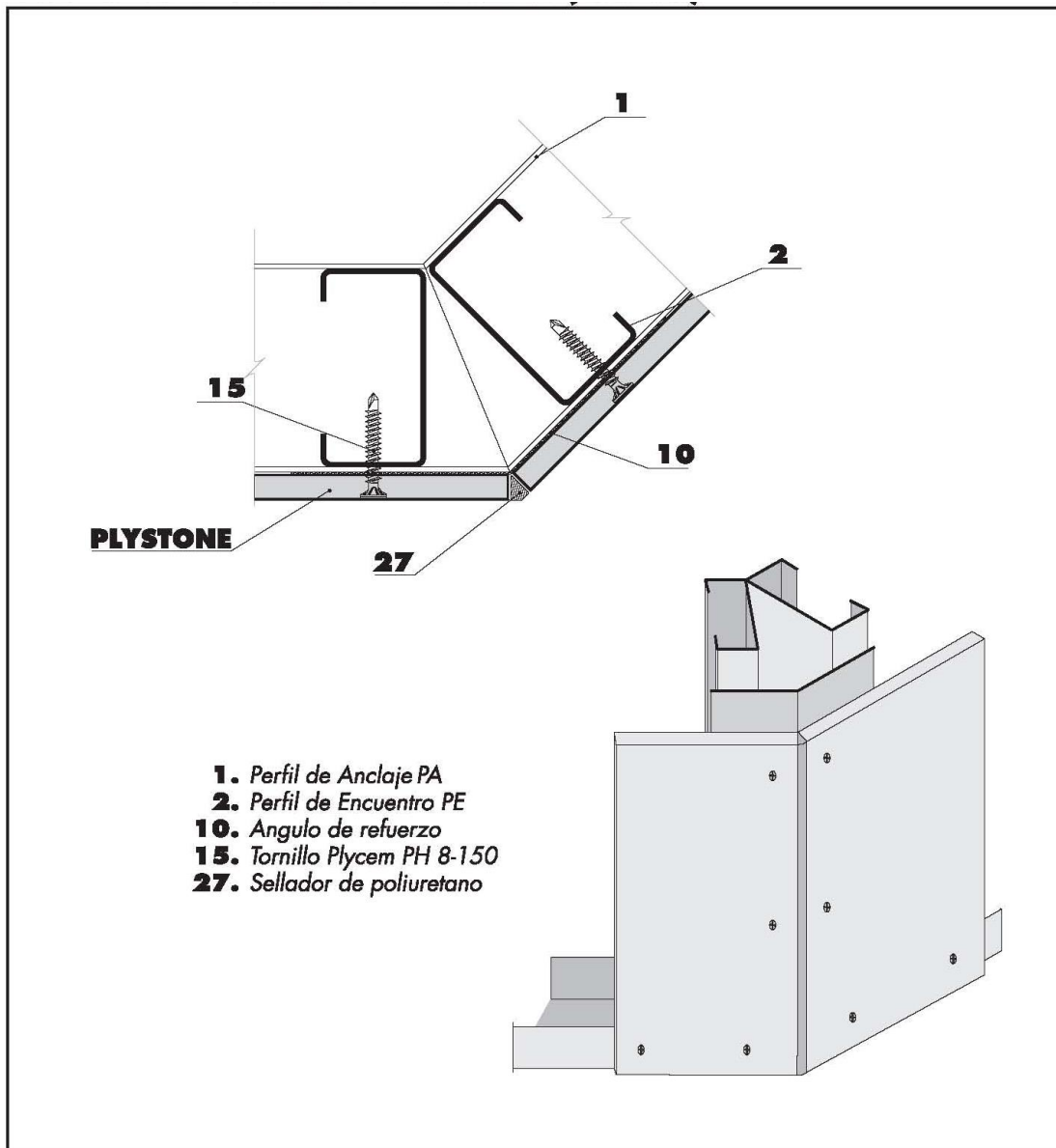
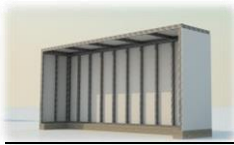


Figura 112. Detalle 11. Paredes exteriores. Fijación de láminas Plystone. Encuentro de muros a 45° [87].



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamiento de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

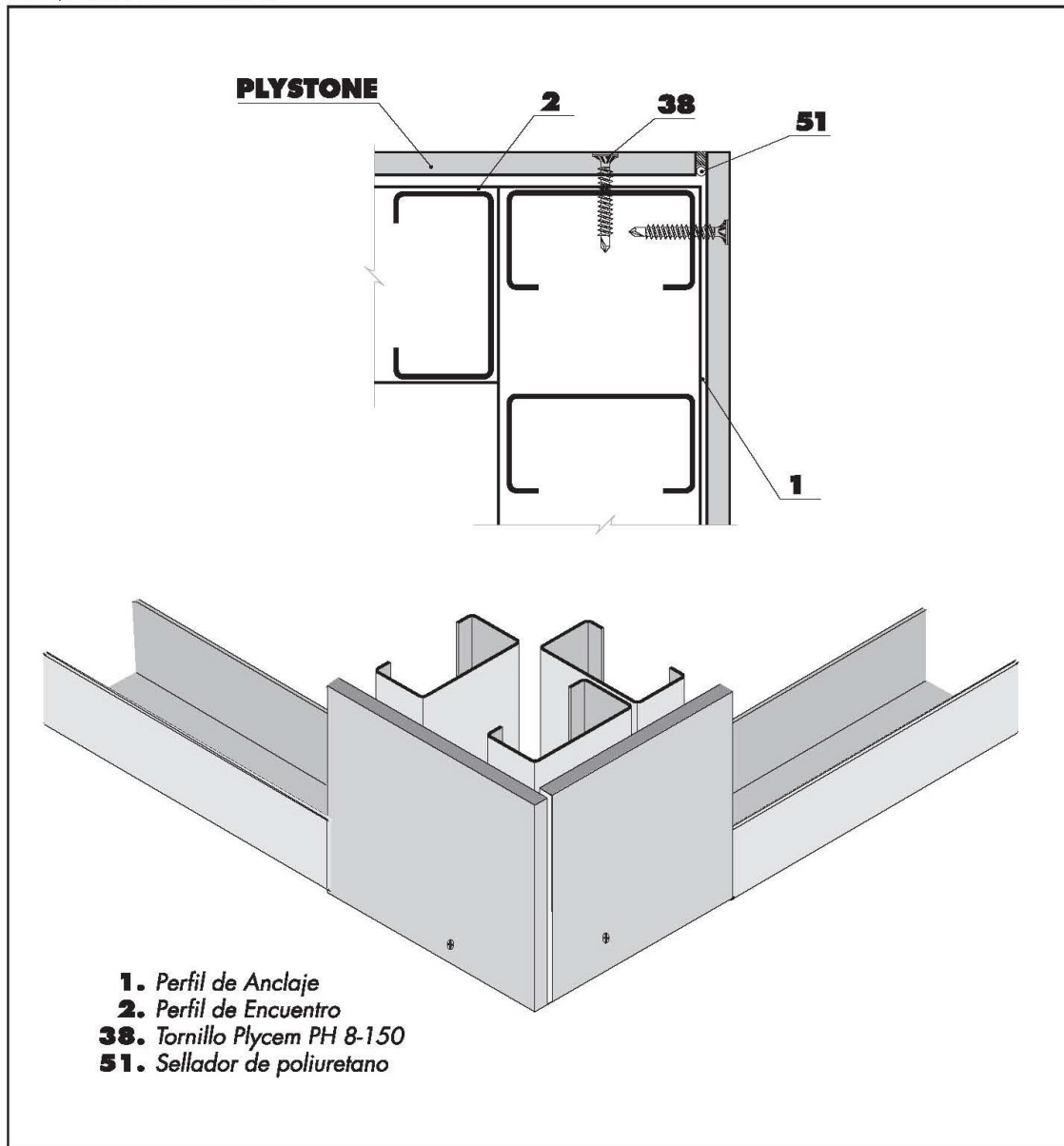


Figura 113. Detalle 12. Paredes. Fijación de láminas Plystone. Encuentro de muros en esquina [87].

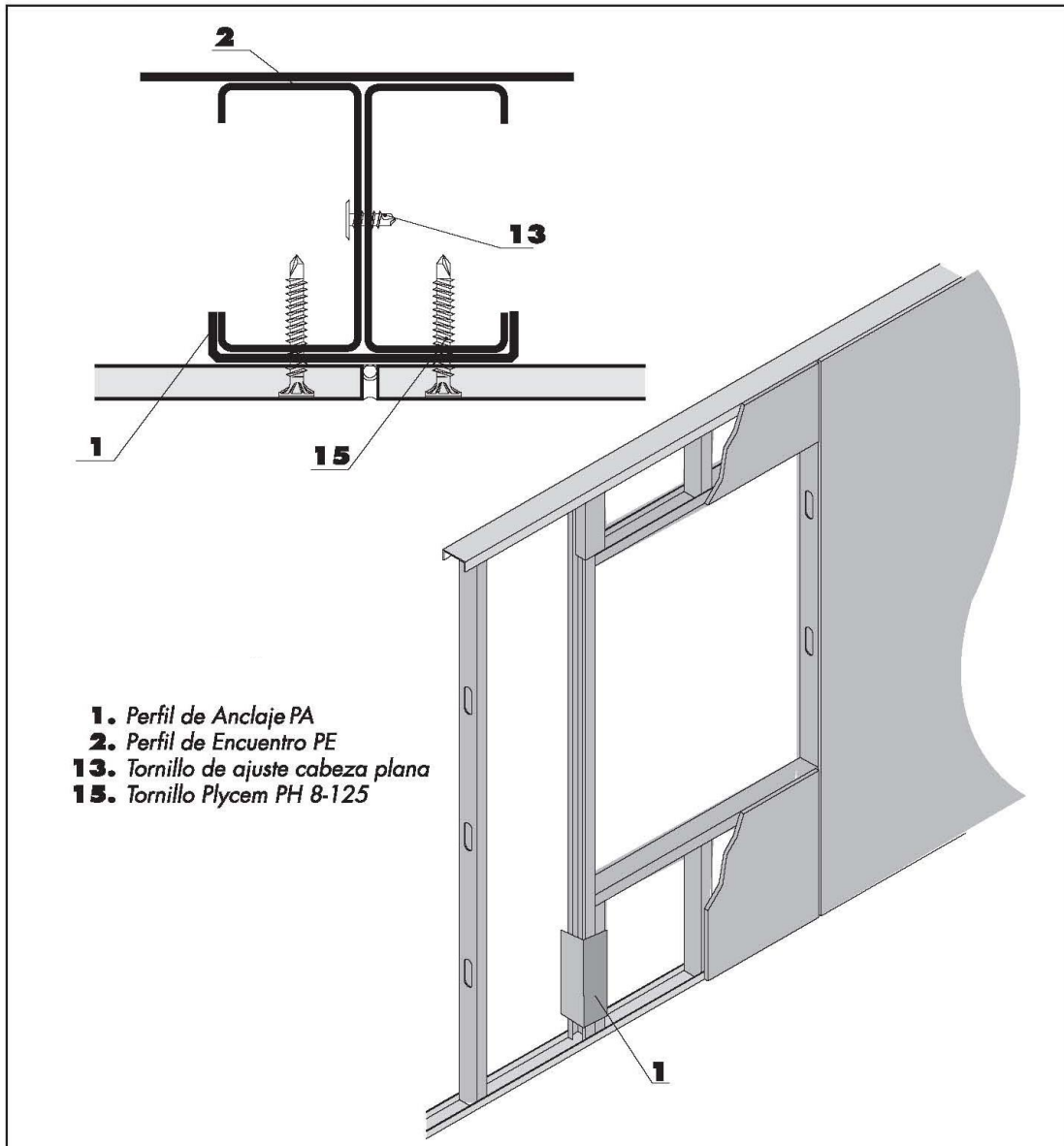


Figura 114. Detalle 13. Paredes exteriores. Vanos de ventanas. Colocación de lámina Plystone [87].

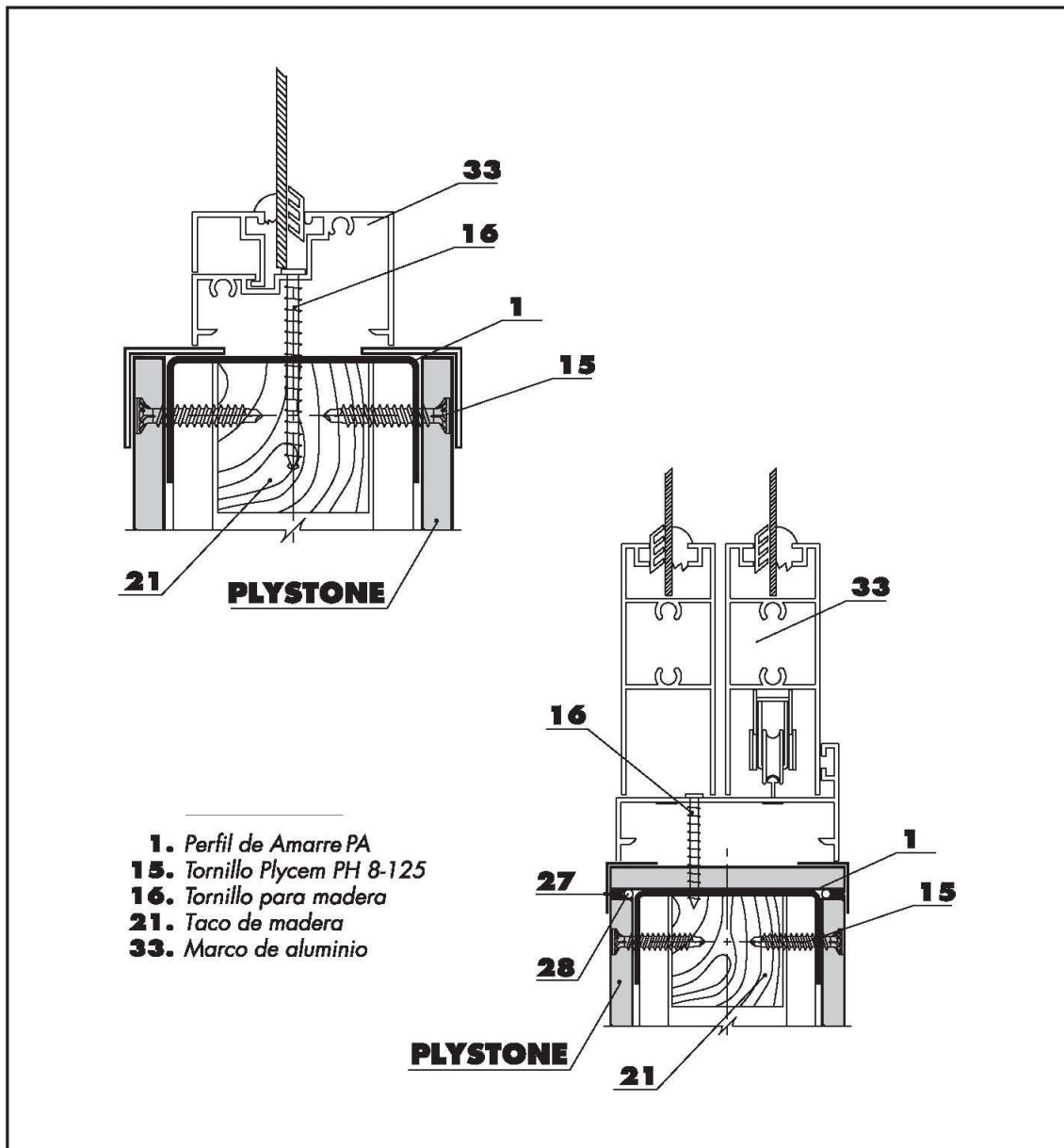


Figura 115. Detalle 14. Paredes exteriores. Vanos de ventanas. Colocación de marcos [87].

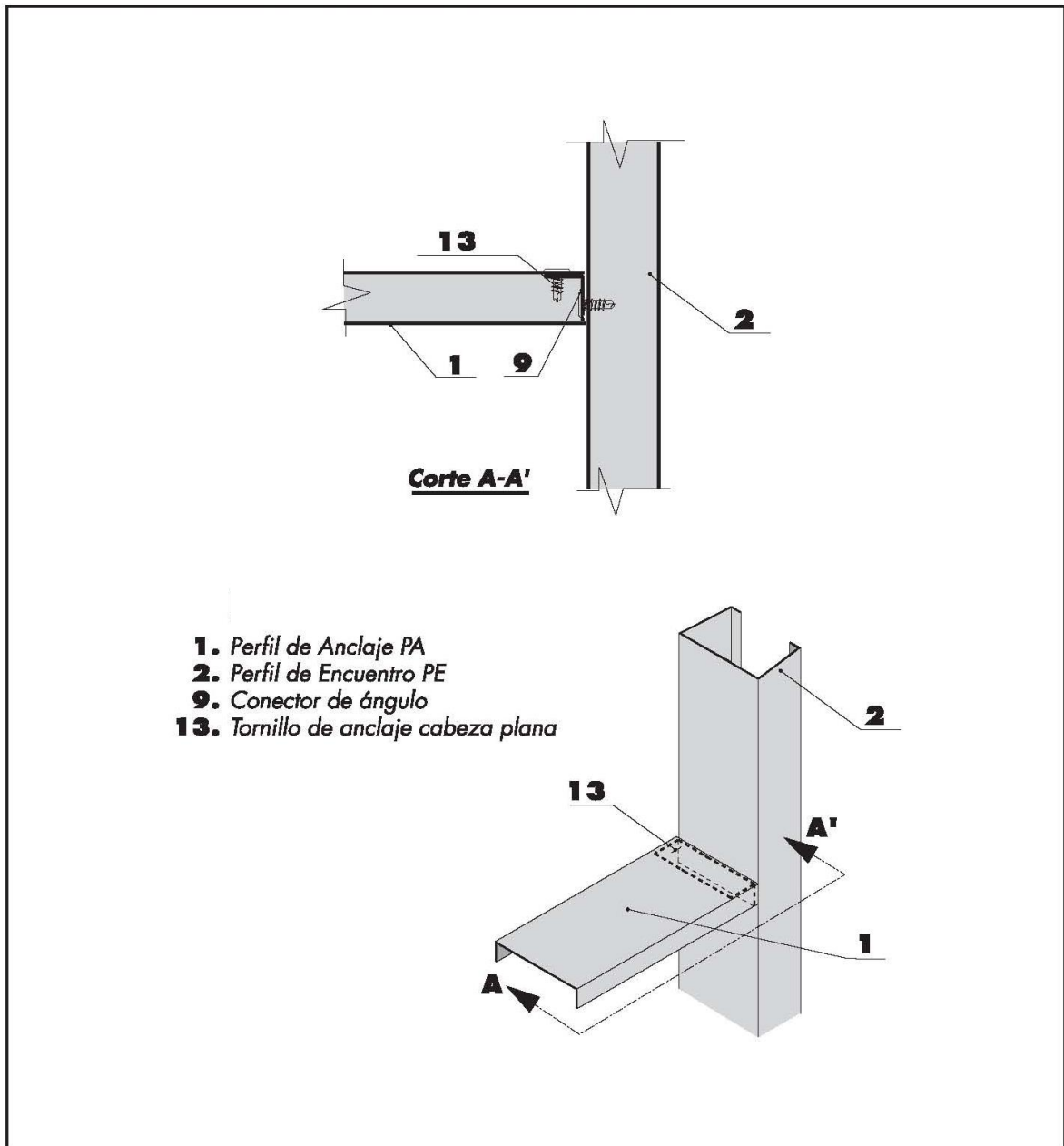


Figura 116. Detalle 15. Paredes exteriores. Vanos de ventanas. Dinteles y antepechos [87].

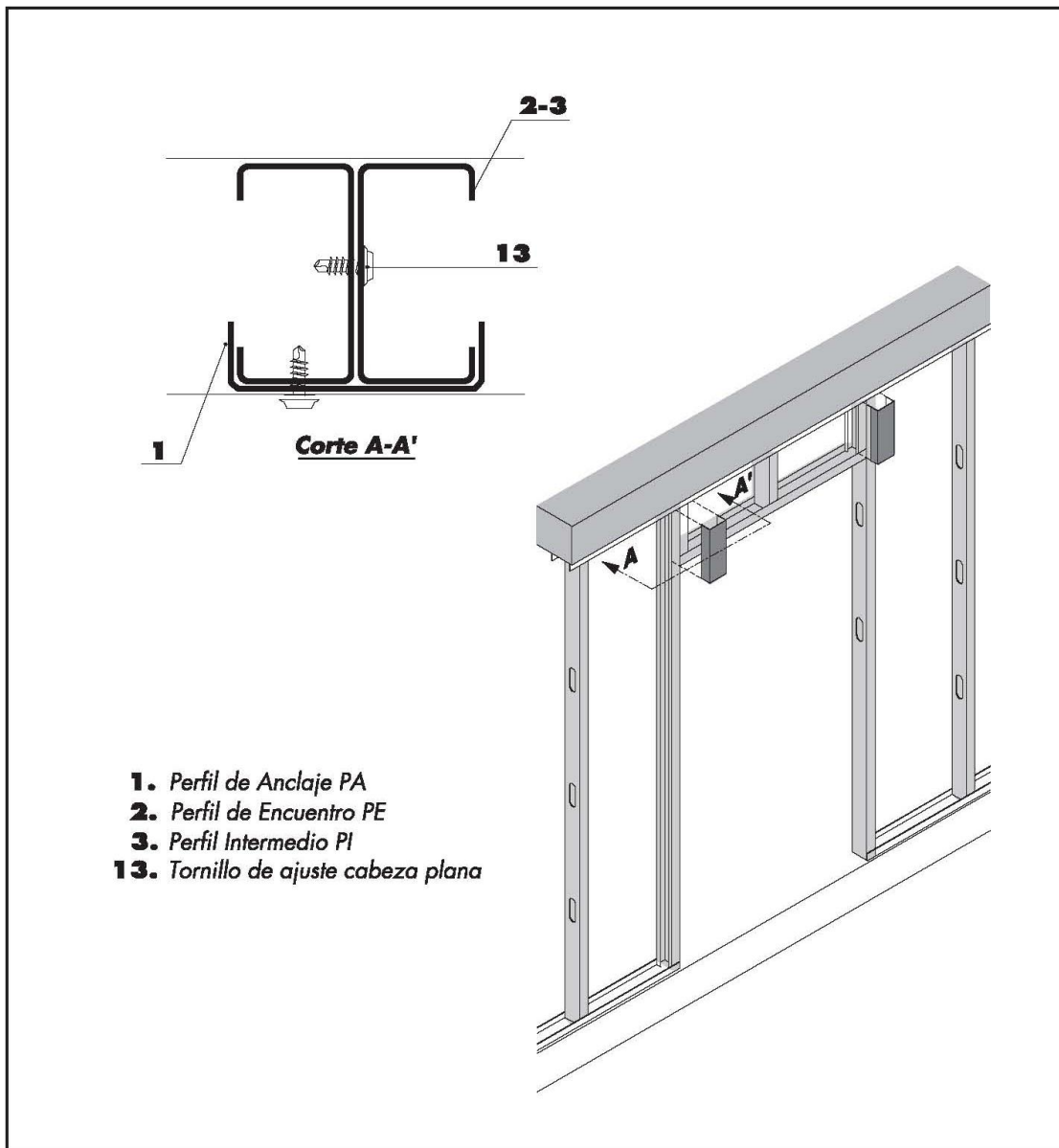


Figura 117. Detalle 16. Paredes exteriores. Vanos de puertas. [87].

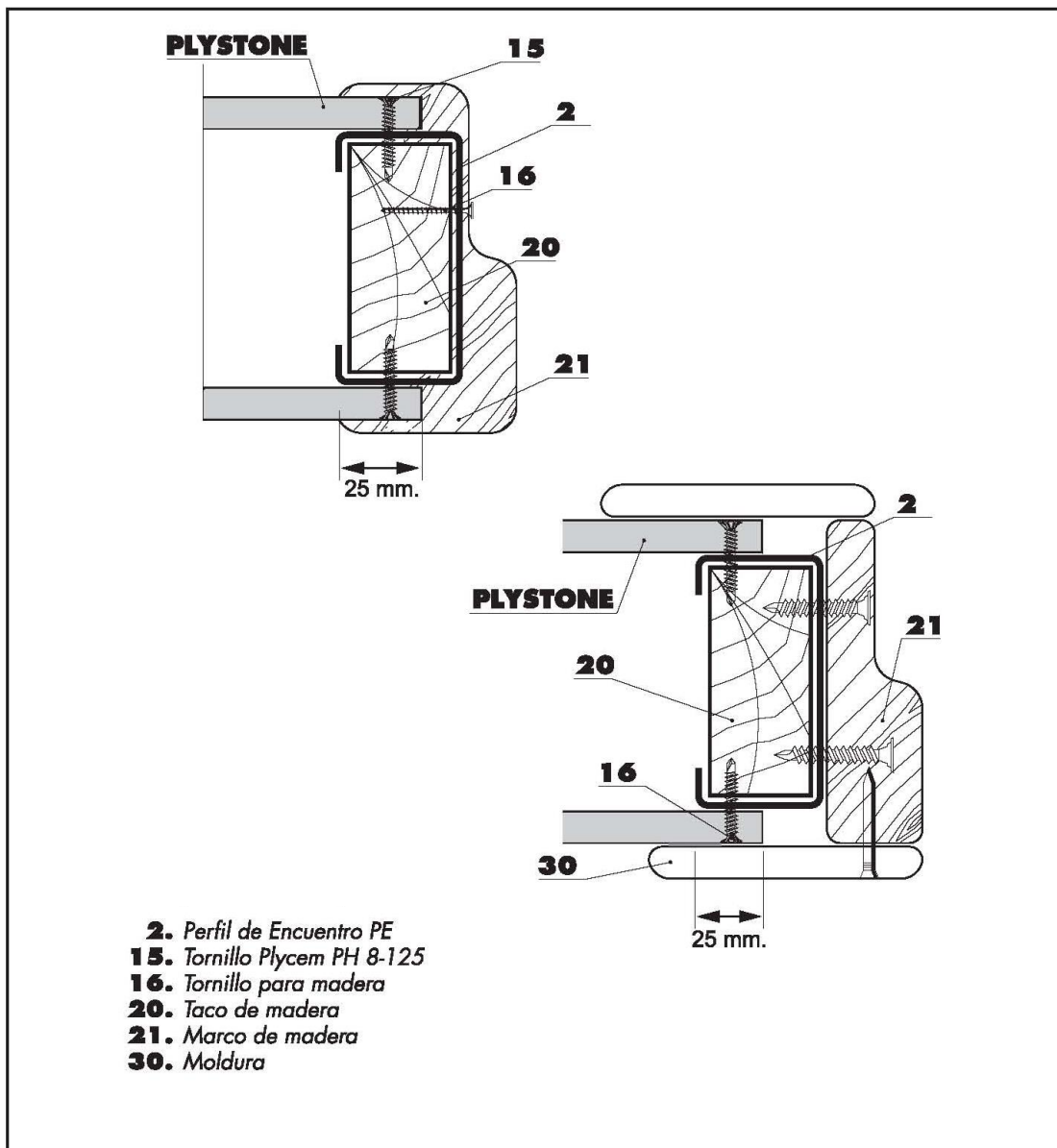


Figura 118. Detalle 17. Paredes exteriores. Vanos de puertas. Colocación de marcos [87].

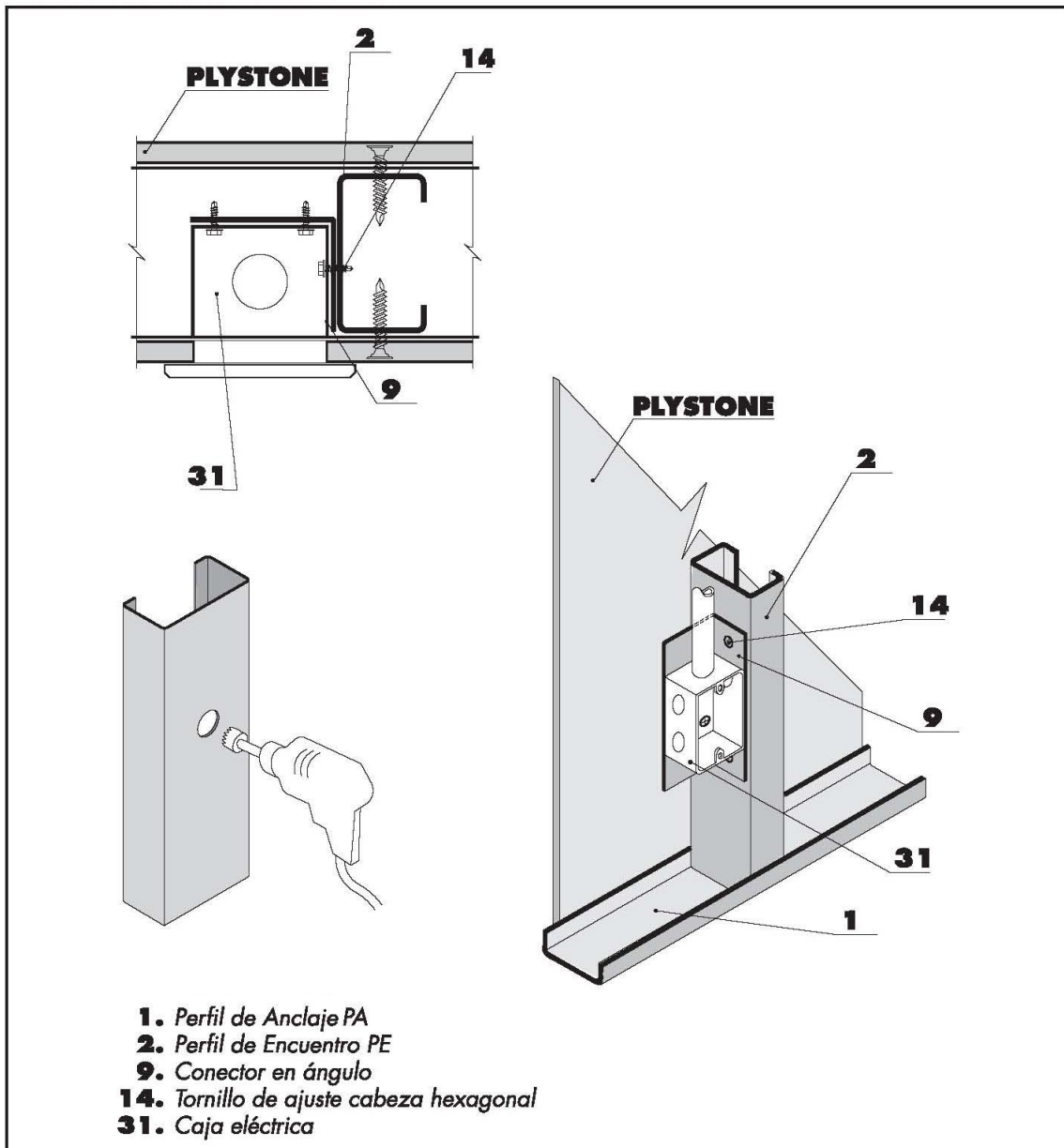


Figura 119. Detalle 18. Paredes exteriores. Instalaciones eléctricas [87].



2.4.3 PROPUESTA DE NEGOCIO. DISEÑO DE PLANCHAS DE GAS EFICIENTE.

La propuesta de vivienda de emergencia desarrollada en esta tesis está relacionada con la idea de creación de negocio como parte de la ejecución de la misma, para permitir el sustento económico de los propietarios. En El Salvador los negocios de comida ocupan un lugar muy importante dentro de la economía y la sociedad, ya que los alimentos tradicionales, como las pupusas y las tortillas, los podemos encontrar desde las esquinas de las viviendas hasta en los grandes centros comerciales, estos negocios tienen un alto consumo de cilindros de gas propano y en su mayoría tienen planchas de construcción artesanal las cuales no han sido diseñadas bajo ningún tipo de estudio de ingeniería y por lo tanto la eficiencia de las mismas no es conocida y se presume muy baja.

En la Universidad José Simeón Cañas se presenta un estudio realizado a estas planchas mediante el diseño asistido por computadora y el análisis dinámico de fluidos computacional, para obtener un modelo de plancha a gas eficiente, que reduzca los costos de operación, el consumo de gas propano y las enfermedades de personas que operan las planchas a gas. [96]

Debido a la falta de información sobre el diseño de planchas a gas se realizó un sondeo en una muestra representativa de pupuserías para conocer los parámetros de operación de las planchas.

Se realizó una serie de visitas en la Pupusería Rosy ubicada en la Colonia Santa Mónica, Santa Tecla, La Libertad, para poder obtener los datos necesarios que luego se ocuparían para la simulación de la plancha en el software de análisis de elementos finitos. Para el desarrollo de este análisis computacional se seleccionó la versión 2013 del software Simulation CFD distribuido por Autodesk Inc. que es obtenido en versión de estudiante de forma gratuita. (Véase Figura 120Figura 90).

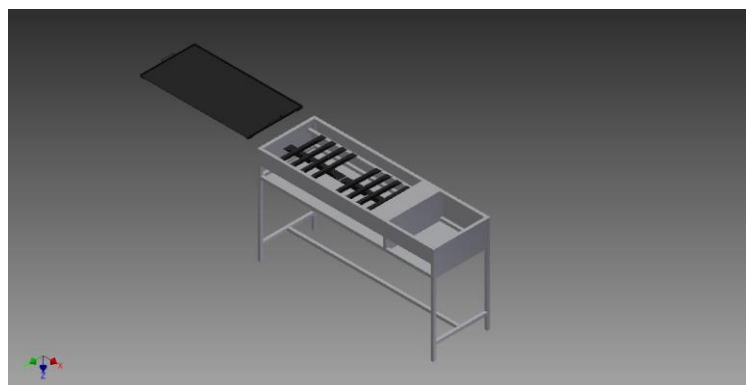


Figura 120. Modelo de plancha a gas elaborado para iniciar el proceso de simulación. [96]



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Se realizan cambios en el modelo original relativos al diseño de la plancha, diseño de cámara de combustión y diseño de quemadores, para mejorar el rendimiento de la inicial. (Véase Figura 121).

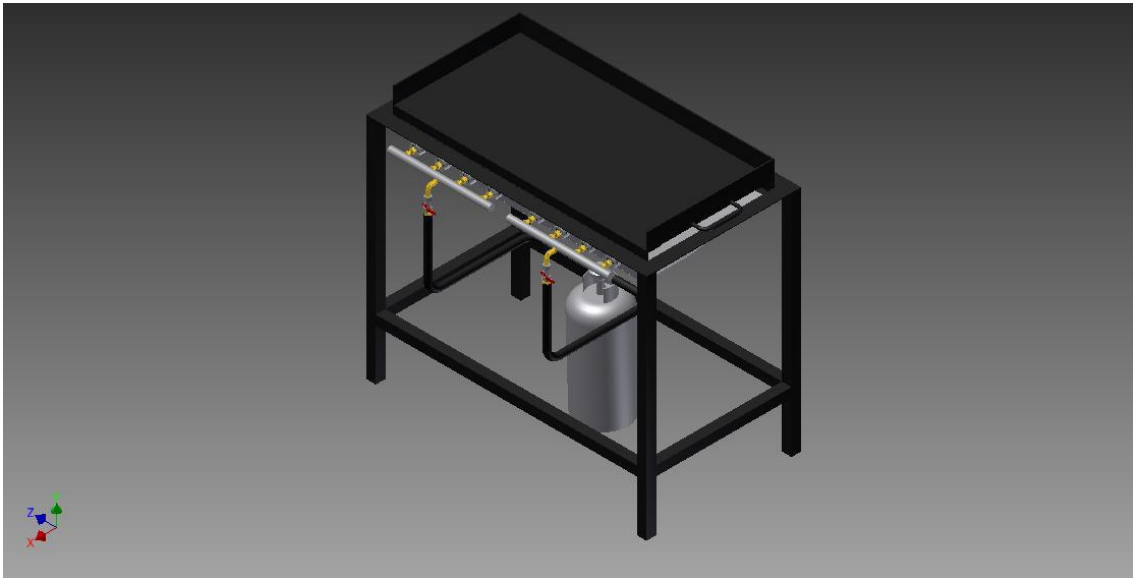


Figura 121. Diseño final de plancha a gas eficiente. [96]

Algunas de las conclusiones obtenidas en este estudio son:

- Muchas de ideas generadas en los estudios de planchas que funcionan con leña son aplicables al diseño de las planchas a gas, como por ejemplo, el aprovechamiento del calor de los gases de escape, mantener caliente la cámara de combustión, disminuir la convección superficial en la plancha, entre otras.
- La radiación de la llama generada en el proceso de combustión es la característica más importante a tomar en cuenta en el diseño de las cámaras de combustión de las planchas a gas, ya que como se observó en las simulaciones y con el experimento práctico, genera un aporte aproximadamente de un 50% más energía en el proceso de transferencia de calor.
- La distribución de los gases calientes dentro de la cámara de combustión genera un aporte significativo en el proceso de transferencia de calor. Dirigir los gases calientes por toda la superficie inferior de la plancha ayuda a mantener una temperatura alta con un porcentaje inferior de combustible.
- La cercanía de los quemadores a la plancha mejora su eficiencia general, siempre y cuando la llama generada tenga una mezcla adecuada de propano y oxígeno.
- La pre-mezcla del gas y el aire aumenta la temperatura de la llama generada por la combustión del propano.
- Disminuir la radiación en la carcasa de la plancha disminuye la probabilidad de enfermedades en los riñones de las personas que operan las planchas a gas.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

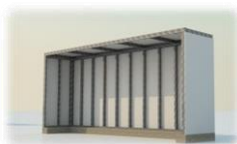
2.4.5 PRESUPUESTO.

El presupuesto de la estructura suministrado por la compañía Plycem para realizar el modelo experimental fue de \$ 395,93, para una superficie de 7,45 m2, por lo que se calcula un promedio de 53,15 \$/m2, impuestos no incluidos. Sin considerar la mano de obra ni acabados de pintura, puertas, ventanas, instalaciones... En ese presupuesto no se incluyó el suelo del mismo tipo de estructura que tendría un valor de 14,00 \$/m2. Por lo que sumando el costo del suelo se obtendría un **valor total de la estructura de 67,13 \$/m2.** (Véase Figura 122).

CODIGO		DESCRIPCION	CANTIDAD	UM	PRECIO UNITARIO	NO SUJETAS	VAL EXENTAS	TOTAL BRUTO	FORMA DE PAGO
960530		PERFIL HQ PE CAL 20 5 0x10x244 cm	21.00 UN		5.79			121.39	
960502		PERFIL HQ PA CAL 20 3 2x10x10cm 090	3.00 UN		13.59			40.77	
960541		TORN PLYCEM PH8-125 PUNTA TEK #6x1-14	300.00 UN		0.54			162.00	
960504		TORN PLYCEM LH850 PBRCCA #6x12 5mm	200.00 UN		0.01			2.00	
960102		PLYSTONE 14mm 1219x2438mm	5.00 UN		36.63			183.15	
SUB TOTAL								469.31	
DESCUENTO								73.26	
MONTO ANTES IVA								395.93	
IVA PERCIBIDO								51.47	
VALOR HO DIRECTAS									
VENTAS EXENTAS									
VALOR TOTAL								447.40	

Figura 122. Albarán suministrado por Plycem para la ejecución del modelo experimental.

Se calcula el costo de los materiales que van a formar parte de la vivienda mínima de emergencia para cuatro personas con una superficie construida de 57,70 m2, teniendo en cuenta los precios utilizados por otros estudios de viviendas sociales en el Salvador. [41] (Véase Tabla 16). Y se calcula el presupuesto total de dicha vivienda, considerando que no habrá costo de la mano de obra, ya que se trata de una vivienda autoconstruida al 100%.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Tabla 16. Materiales utilizados en la vivienda de emergencia.

MATERIALES PARA VIVIENDA DE EMERGENCIA			
DESCRIPCIÓN	TIPO	CARACTERÍSTICAS	PRECIO
CIMENTACIÓN	Zapata corrida y Vigas de cimentación.	Elementos de cemento, arena, grava y agua. (concreto) Vigas de cimentación de 30x30.	\$1.009,93
ESTRUCTURA	Sistema Plycem	Perfiles de acero conformado en frío, con una separación de 61 cm y revestidos con láminas de fibrocemento. Incluida tabiquería.	\$3.873,49
TECHO	Lamina Zincaleum. Polín c 4'	Lamina troquelada G-80 E-25 ancho útil de 1.05m y ancho total de 1.08m largos de 0.50m hasta 12.0m. Polín c de 4' chapa 14, de 2'x4' y largo de 6.0m,	\$750,10
PUERTAS	Metálicas y madera	1 puertas de metal, marco de metal, para exteriores de 2.0x0.72m. Chapa de parche. 5 puertas de madera, chapa de pomo, 2.0x0.72.	\$718,80
VENTANAS	Metálicas de aluminio	4 ventanas de aluminio, anodizado natural, abisagrada practicable de apertura hacia el interior, de 114x120 cm, serie básica, formada por dos hojas y con premarco. Compacto incorporado (monoblock), persiana de lamas de PVC, con accionamiento manual mediante cinta y recogedor. Doble acristalamiento estándar, 4/6/4, con calzos y sellado continuo.	\$884,00
HIDRÁULICO	Tubería de PVC, canal y cajas de agua lluvia.	Agua potable: PVC 1/2', codo, TEE, cheque, grifo, válvula de paso de 1/2' Accesorios. Ducha, llave para ducha, lavamanos, inodoro y pozeta para cocina. Agua negra y grises: PVC 4' y 2', curva, codo, YEETEE y sifón de 4' y 2' Agua lluvia: PVC 4', codo y YEETEE de 4' canal de PVC de 6'.	\$436,14
ELÉCTRICO	Tecno ducto, cable, tomas, interruptores, cajas metálicas, etc.	Tecno ducto de 1/2', interruptor doble y sencillo, receptáculo, foco de 40w, caja térmica de 4, cajas metálicas rectangulares y ortogonales, placas para tomas e interruptores, cable de conexión de 12 y 14.	\$212,97
TOTAL COSTOS DIRECTOS			\$7.885,43
COSTE INDIRECTOS 15%			\$1.182,81
subtotal			\$9.068,24
IVA 13%			\$1.178,87
TOTAL OFERTA			\$10.247,11



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

2.5 ANÁLISIS COMPARATIVO.

Si comparamos la propuesta de vivienda de interés social con otras propuestas, tenemos el resultado de la siguiente Tabla 17:

Tabla 17. Cuadro comparativo de costos de vivienda de interés social construidas en El Salvador.

PROPUESTA	SISTEMA CONSTRUCTIVO	AREA m2	FORMA DE ADQUISICIÓN	COSTO			TOTAL	COSTO POR m2
				CD	CI	IVA		
Diseño propuesto (CI 15%)	Sistema Plycem	57,70	Donación y Ayuda Mutua	\$7.885,43	\$1.182,81	\$1.178,87	\$10.247,11	\$177,59
Propuesta de estudio. (CI 15%) [41]	Bloque panel	41,00	Donación y SubContrato	\$4.749,40	\$712,41	\$710,04	\$6.171,83	\$150,53
Propuesta FUNDASAL (CI 3.5%) [97]	Bloque panel y madera	32,00	Donación y Ayuda Mutua	\$3.048,73	\$106,71	\$410,21	\$3.565,65	\$111,43
Propuesta FUSAI [97] (CI 15%)	Bloque de concreto y Plycem en tabiquería	28,00	Donación y SubContrato	\$3.430,00	\$514,50	\$512,79	\$4.457,29	\$159,19
Propuesta VMVDU (CI 7%)	Molde prefabricado y Plycem en tabiquería	42,50	Donación	\$5.500,00			\$5.500,00	\$129,41
Propuesta Taishim	Sistema Adobe-resistente	88,77	-	\$5.871,32	\$880,70	\$877,76	\$7.629,78	\$85,95
Propuesta Taishim	Sistema Suelo-Cemento	79,32	-	\$5.270,36	\$790,55	\$787,91	\$6.848,83	\$86,34
Propuesta Taishim	Sistema bloque concreto con refuerzo	93,51	-	\$6.375,87	\$956,38	\$953,19	\$8.285,44	\$88,60

NOTA: Los costos de las viviendas de FUNDASAL y FUSAI se obtuvieron del documento presentado por el SIDA (Swedish International Development Cooperation Agency) en Agosto del 2006. Las propuestas de del programa Taishim se obtuvieron en 2007. La propuesta de estudio utilizó precios del 2010 y la propuesta de esta tesis se basa en los precios de dicho estudio.

Los costos por m2 de la vivienda de emergencia propuesta para la modalidad de ayuda mutua, es comparable con la vivienda propuesta por FUSAI en valor monetario a pesar de ser un costo correspondiente al 2010. Aunque el coste es un 10% superior, la dotación estructural, bioclimática, aislamiento térmico, confort y calidades de la vivienda diseñada supera a cualquiera de ellas. El factor de seguridad propuesto en la vivienda objeto de este trabajo, en el que se presentan paredes de perfiles de acero conformado en frio y lámina de fibrocemento con resistencias al sismo y viento muy superiores a las demás, con cubierta ventilada, estructura de suelo elevada sobre la rasante (forjado antihumedad) aislamiento y estanqueidad en la cubierta y carpinterías aislantes y estancas, representan cualidades que favorecen a la propuesta sobre otras opciones presentadas y que añaden unas condiciones que no poseían las viviendas de emergencia construidas en El Salvador hasta el momento.



2.6 MÉTODOS DE DIFUSIÓN DEL SISTEMA.

2.6.1 MARKETING DIGITAL [REDES SOCIALES, CATÁLOGOS...]

Será muy importante la difusión y publicidad de esta propuesta arquitectónica, ya que garantizará el éxito o fracaso de la misma. Uno de los mayores problemas a los que se enfrentan este tipo de soluciones de pared delgada es la falta de confianza entre la población, que las considera soluciones temporales a corto plazo. La única manera de cambiar el concepto y la mentalidad de la población respecto a este sistema, es realizando campañas publicitarias que lleguen principalmente a jóvenes que comienza a construir su futuro y necesitan la creación de un hogar como punto de partida. Estrategias de última generación como el marketing digital dirige sus programas de difusión a través de las redes sociales, medio fundamental para el conocimiento personal entre personas y productos comerciales.

En el proyecto Taishim se emplearon como métodos de difusión una serie de manuales de la construcción de los sistemas constructivos. Hoy en día los formatos en papel y en CDs se han quedado obsoletos, frente a las últimas tecnologías que aprovechan internet y las redes sociales como sistemas de difusión.

Los programas de formación podrían ser impartidos de forma on-line, para abaratar costes. De esta manera se capacitaría a la población en el manejo de las últimas tecnologías de información y comunicación.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamiento de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

CAPÍTULO 3. PROGRAMA EXPERIMENTAL UCA-JA. PROYECTO DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL PARA EL DESARROLLO DE CASA AUTOSUFICIENTE Y SOSTENIBLE PARA REGIONES AISLADAS EN SOLUCIÓN DE ESTRUCTURA METÁLICA.



3.1 INTRODUCCIÓN.

La Convocatoria Propia de Cooperación Internacional para el Desarrollo de la Universidad de Jaén (Curso 2011-2012) propició la realización de un convenio entre dicha universidad y la Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas” de El Salvador, para desarrollar el “Proyecto de Casa Autosuficiente y Sostenible para Regiones Aisladas en Solución de Estructura Metálica Ligera”, proyecto dirigido por el Dr. Juan de Dios Carazo Álvarez de la Universidad de Jaén.

Parte importante de este proyecto lo constituye el programa experimental realizado a un sistema de paredes construidas a base de láminas de fibrocemento y perfiles formados en frío de lámina delgada, y el presente documento se constituye en un informe de la investigación correspondiente realizada. A continuación se presentan los antecedentes, justificación y objetivos del proyecto.

3.1.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.

El Salvador, localizado en América Central y con una población de 6.194.000 habitantes (censo 2010), es uno de los países más afectados por catástrofes naturales. Debido a su extensión territorial (20.742 km²) tiene la densidad poblacional más alta de América continental. Aproximadamente el 37% de la población salvadoreña vive en zonas rurales. Actualmente, 6 de cada 10 personas que trabajan en la agricultura son pobres y 1 de cada 4 viven en extrema pobreza. De media, un hogar tiene 4.34 miembros.

Los terremotos ocurridos en enero y febrero de 2001 causaron pérdidas de vidas debido al colapso de viviendas y deslizamientos de tierras. Según el Ministerio de Obras Públicas, 163.866 viviendas (11,68% del número total de viviendas) colapsaron y alrededor de 107.787 (7,68%) quedaron seriamente dañadas (véanse las figuras 1.1 y 1.2). La suma total de los daños y pérdidas materiales fue estimada en 1.603,9 millones de dólares. El déficit habitacional se incrementó de 525,521 viviendas en Diciembre de 2000 a 802,115 después de los terremotos. Véase Figura 123 y Figura 124.

Las pérdidas humanas se debieron en su mayoría a fallos en las estructuras de adobe en las zonas rurales y en pueblos de la zona paracentral del país. El porcentaje de viviendas construidas con materiales de poca resistencia ante sismos (adobe y bahareque) constituyen un 31% del total de viviendas en El Salvador [6].

Como respuesta a esta problemática, el gobierno de El Salvador solicitó al gobierno de Japón asistencia técnica para investigar materiales y sistemas constructivos de vivienda popular, mejorados en su comportamiento sísmico. En diciembre de 2003, se firma el Acuerdo de Entendimiento Bilateral para la ejecución de proyecto de cooperación técnica “Mejoramiento de la Tecnología para la Construcción y Difusión de la Vivienda Popular Sismorresistente (TAISHIN)” [1], proyecto en el que participan las siguientes instituciones: la Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas” (UCA), el Viceministerio de Vivienda y Desarrollo Urbano (VMVDU), la Universidad de El Salvador (UES), la Fundación Salvadoreña de Desarrollo y Vivienda Mínima (FUNDASAL) y la Agencia Internacional de Cooperación Japonesa (JICA).



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamiento de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]



Figura 123. Colapso de vivienda de adobe, El Carmen, Cojutepeque, depto. de Cuscatlán, terremoto del 13 de febrero de 2001. Cortesía de Dr. Manuel López. [1]



Figura 124. Colapso de vivienda de mampostería confinada, Armenia, depto. de Sonsonate, terremoto del 13 de enero de 2001. Cortesía de Dr. Manuel López. [1]



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

El proyecto finalizó exitosamente el 30 de noviembre de 2008, logrando su principal objetivo, que es mejorar la resistencia sísmica de cuatro sistemas constructivos de vivienda popular y difundirlos a la población. La descripción de estos sistemas aparece a continuación.

a. Sistema Constructivo Bloque Panel.

Este sistema está formado por columnas prefabricadas de concreto reforzado y por paneles prefabricados de concreto que se insertan entre columnas para constituirse en el material de cerramiento. Las columnas son de diferente altura y los bloques (aunque de igual altura) poseen diferentes longitudes para acomodarse a las necesidades de modulación particulares (Véanse la Figura 125 y Figura 126).



Figura 125. Casas modelo, Juayúa, Sonsonate. Sist. Bloque Panel. Taishim [1].



Figura 126. Ensayo en Laboratorio Estructuras Grandes, UCA. Sist. Bloque Panel. Taishim [1].

b. Sistema Constructivo Adobe Sismorresistente.

Al sistema constructivo tradicional de mampostería no reforzada, se le incorporan una serie de mejoras como la selección de tierra adecuada para hacer adobe; la elaboración de ladrillos en moldes con dimensiones concretas y de una mezcla adecuada para pegarlos, y la preparación del terreno para una buena cimentación.



Figura 127. Prototipo adobe reforzado. Taishim [1].



Figura 128. Ensayo en mesa inclinable, UES, [1].

Además de lo anterior, se incluyen detalles constructivos para mejorar el desempeño sismorresistente de la estructura de la vivienda, como la colocación de



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

refuerzos verticales y horizontales con varas de castilla en el aparejo de los ladrillos de adobe; la inclusión de contrafuertes verticales con los mismos ladrillos y la colocación de una solera de coronamiento. (Véanse la Figura 127 y Figura 128).

c. Sistema Constructivo Mampostería de Suelo Cemento Confinada.

Este sistema aparece como una alternativa ecológica al denominado Sistema Mixto de construcción, en el que elementos de concreto reforzado verticales y horizontales (denominados nervios y soleras, respectivamente) confinan ladrillos de arcilla cocidos con leña o con materiales de desperdicio que contaminan el medio ambiente. Así, en este sistema, bloques de suelo cemento, con dosificaciones eficientemente diseñadas, sustituyen a los bloques de arcilla. (Véanse la Figura 129 y Figura 130).



Figura 129. Prototipo suelo cemento, San Julián, Sonsonate [1].



Figura 130 Modelos de suelo cemento [1].

d. Sistema Constructivo. Bloque Hueco de Concreto con Refuerzo Integral.

En este sistema constructivo los bloques de concreto reforzado se pegan entre sí con mortero, el refuerzo vertical y horizontal se coloca dentro de las celdas huecas de los bloques y su integración se logra a través del uso de un concreto fluido (de alto revenimiento) con agregado grueso de tamaño relativamente pequeño, denominado mortero expansivo. (Véanse la Figura 131 y Figura 132).



Figura 131. Prototipo mampostería bloque de concreto [1].



Figura 132. Modelo ensayado [1].

Al final del proyecto se detallaron los resultados obtenidos durante los 5 años de duración del proyecto y se cotejaron contra los alcances esperados al inicio del mismo sobre la base de un formato que consideró criterios específicos de evaluación como relevancia, eficacia, impacto y sostenibilidad.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

A raíz de los resultados positivos obtenidos en este proyecto, se desarrolla otro proyecto entre mayo de 2009 y diciembre de 2012, que aparece como una segunda fase del primero y cuya finalidad es complementar ciertos aspectos de la investigación de cada sistema constructivo a la luz de los resultados obtenidos en la primera fase. En esta nueva fase participa el Instituto Salvadoreño de la Construcción (ISC), que es una Fundación sin fines de lucro que agrupa gremiales profesionales, empresariales, ONG's y fundaciones del sector construcción, así como universidades que imparten las carreras de ingeniería civil y arquitectura.

A pesar de los resultados satisfactorios obtenidos durante el desarrollo de estos proyectos, todos estos sistemas constructivos populares no presentan condiciones favorables para satisfacer uno de los requerimientos más importantes para atender situaciones de emergencia; los tiempos necesarios de ejecución o de construcción de las viviendas [2].

Por otro lado, al margen del mejoramiento conseguido en estos sistemas a través de los proyectos de investigación anteriores, los sistemas constructivos anteriores presentan una serie de desventajas, dentro de las que se destacan las siguientes:

- Algunos sistemas constructivos presentan parámetros de resistencia limitados o inciertos, que no permiten conocer con precisión el nivel de vulnerabilidad ante un determinado escenario sísmico,
- En general, algunos de los sistemas constructivos requieren un nivel considerable de especialización en la mano de obra, debido a la utilización de materiales, útiles y técnicas que requieren de conocimientos y supervisión técnica, lo que hace complicada su autoconstrucción y propicia vicios constructivos.
- Tanto los tiempos como los costos de ejecución suelen ser elevados ya sea por falta de desarrollo tecnológico, por falta de estandarización de materiales de construcción o por la necesidad de sistemas de transporte especializados.
- La mayoría de los sistemas constructivos poseen escasa versatilidad para adaptarse a necesidades de ampliación, o de montajes y desmontajes.

3.1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.

El objetivo fundamental del proyecto de cooperación comprende el desarrollo de una solución constructiva sostenible para viviendas unifamiliares ubicadas en regiones aisladas y sin acceso a servicios básicos en El Salvador.

Más específicamente, con este proyecto de investigación se pretende evaluar la factibilidad de utilizar paneles formados a base de láminas de fibrocemento y perfiles de acero de lámina delgada como estructura principal de las viviendas, con vistas a aprovechar las siguientes ventajas:

- Fácil transporte de materiales; rápida y relativamente sencilla instalación de los paneles que conforman las paredes, características ideales en las fases de atención de la emergencia.
- Altas posibilidades de industrialización del proceso junto con la consiguiente disminución en los costos de la vivienda.
- El particular proceso constructivo (las láminas de fibrocemento y los perfiles de acero se unen entre sí a través de tornillos) posibilita la reutilización de los materiales de construcción.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamiento de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

- El tipo de cerramiento ofrece un acabado con apariencia agradable y que proporciona buenas condiciones para mantener la higiene de las viviendas.

Otros objetivos importantes que persigue el proyecto de investigación son los siguientes:

- Caracterizar el comportamiento del sistema de paredes conformadas por este sistema constructivo obteniendo de los ensayos a escala natural, parámetros de resistencia, rigidez y ductilidad.
- Verificar que el sistema constructivo satisfaga los requerimientos de demanda sísmica y de viento conforme a las normas técnicas de El Salvador.



3.2 SISTEMA CONSTRUCTIVO.

El sistema constructivo empleado en la alternativa de vivienda evaluada consiste en un sistema de paredes conformadas por un entramado de perfiles de acero de lámina delgada formados en frío que sirven de soporte a un cerramiento constituido por láminas de fibrocemento, que se unen a los perfiles de acero mediante una serie de tornillos de diferentes características.

Este sistema constructivo, denominado Steel Framing (Entramados de Acero) se concibe como el heredero de otro sistema, denominado Wood Framing (Entramados de Madera), originalmente utilizado por inmigrantes en Estados Unidos, basado en el empleo de montantes o elementos verticales de madera colocados a distancias reducidas y rematados en sus extremos por soleras o elementos horizontales también de madera, que utilizaban distintos tipos de cerramientos. El sistema incluía la construcción de entresijos formados por viguetas de madera.

El sistema constructivo original fue adaptado a la construcción con acero desde hace algunas décadas al crearse el sistema Steel Framing a base de perfiles galvanizados de lámina delgada, con los cuales pueden construirse (bajo ciertas condiciones) edificaciones de varios pisos. El sistema posee una divulgación cada vez mayor por las ventajas de ser un material reciclable y en muchos países es utilizado como una alternativa de construcción de viviendas de una y dos plantas.

En El Salvador, este sistema constructivo ha sido utilizado principalmente como divisiones interiores o como material de cerramiento o de relleno en distintos tipos de edificaciones, siendo muy escasas las ocasiones donde ha sido utilizado como estructura principal de pequeñas edificaciones. El objetivo del proyecto de investigación pretende ser que este sistema se convierta en estructura principal y secundaria (divisiones interiores) al mismo tiempo, desarrollado en la vivienda social que se plantea.

A continuación, con la ayuda de la Figura 133 y Figura 134, se describen los distintos componentes del sistema constructivo utilizado en la construcción del modelo a escala natural que fue ensayado, y que se constituye en el prototipo para el diseño estructural de la alternativa de vivienda. Alguna de esta información fue extraída del manual de construcción para paredes exteriores proporcionadas por la empresa proveedora local de este sistema constructivo [87], y otra ha sido obtenida a partir de mediciones directas en especímenes utilizados en la construcción del modelo ensayado.

a. Entramado de acero.

Son perfiles de acero de lámina delgada, galvanizados y formados en frío. En la construcción de paredes exteriores, se utilizan los tres tipos de perfiles que se describen a continuación. (Véanse la Figura 133 y Figura 134).



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

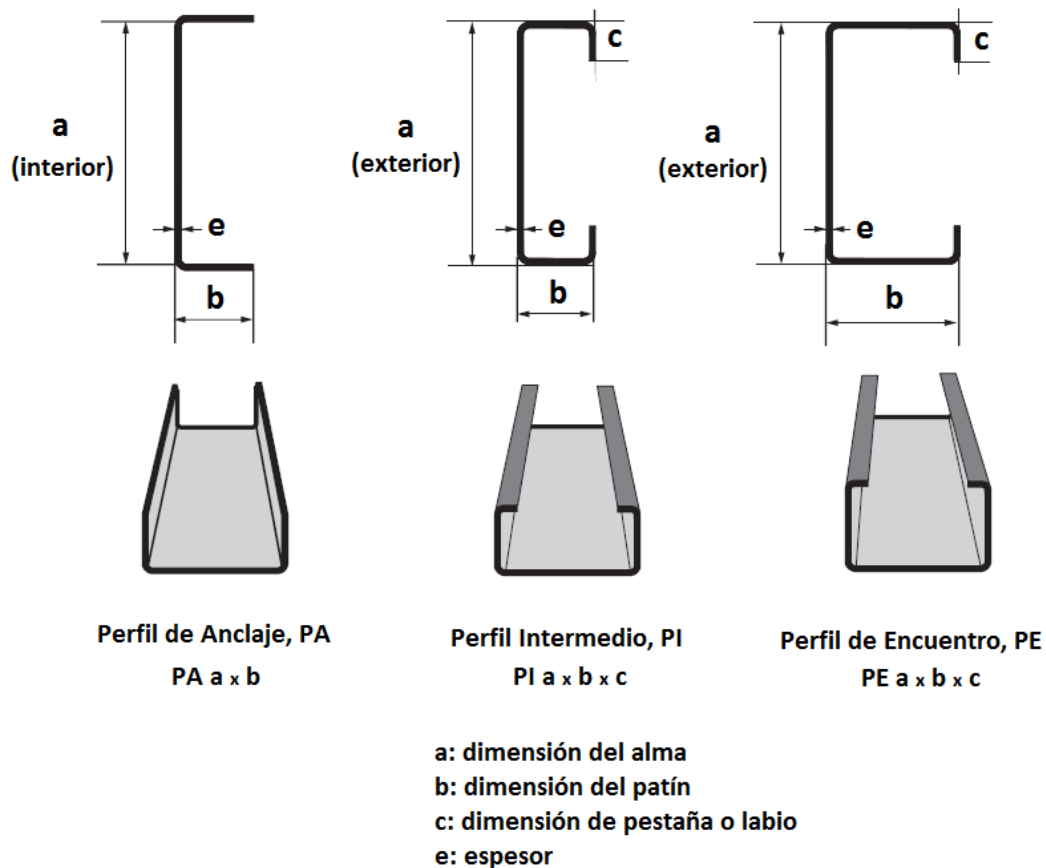


Figura 133. Perfiles de acero de lámina delgada del sistema constructivo. [87]

- Perfil de Anclaje, PA.

Es un perfil con forma de U utilizado como solera de amarre inferior y superior de los perfiles verticales.

- Perfil de Encuentro, PE.

Es un perfil con forma de C dispuesto verticalmente sobre la línea de intersección de dos láminas de fibrocemento.

- Perfil Intermedio, PI.

Es un perfil con forma de C que se dispone en dirección paralela a los perfiles PE para brindar un soporte intermedio adicional a las láminas de cerramiento.

Se diferencia del perfil PE en que el ancho de la sección en contacto con la lámina es menor.

Para el caso de paredes exteriores, el fabricante presenta en el manual perfiles de acero que poseen **0.8 mm** de espesor, identificado como Calibre 20.

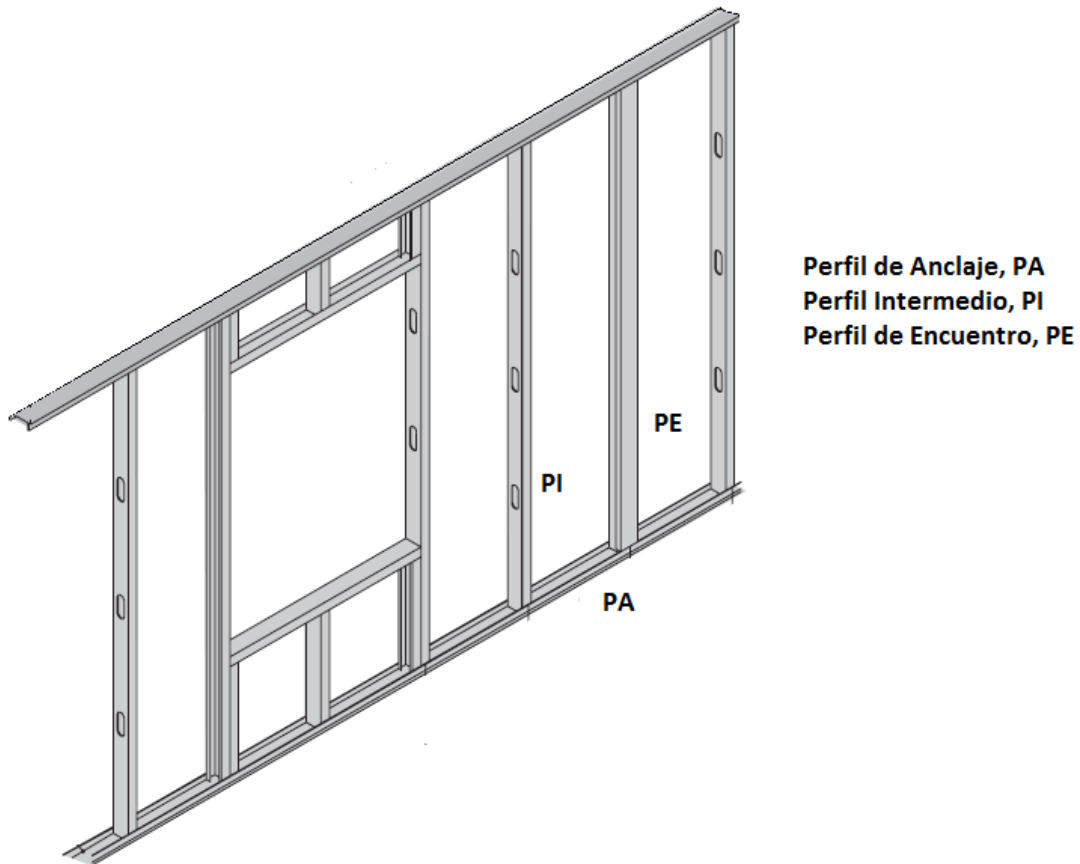


Figura 134. Disposición de los elementos de acero en el entramado. [87]

b. Material de Cerramiento.

Son láminas de fibrocemento con medidas nominales de **1.22 m × 2.44 m (4'×8')** y de **1.22 m × 3.05 m (4'×10')**, con diferentes espesores, que se fijan al entramado de acero a través de tornillos. Para el caso de paredes expuestas directamente a la intemperie el fabricante recomienda un espesor mínimo de **14 mm**.

c. Fijaciones y Anclajes.

El buen desempeño de este sistema constructivo depende en gran medida de la adecuada fijación de las láminas de fibrocemento al entramado de acero, y del anclaje de este entramado a las cimentaciones y/o a la estructura primaria de una edificación. (Véase la Figura 135).

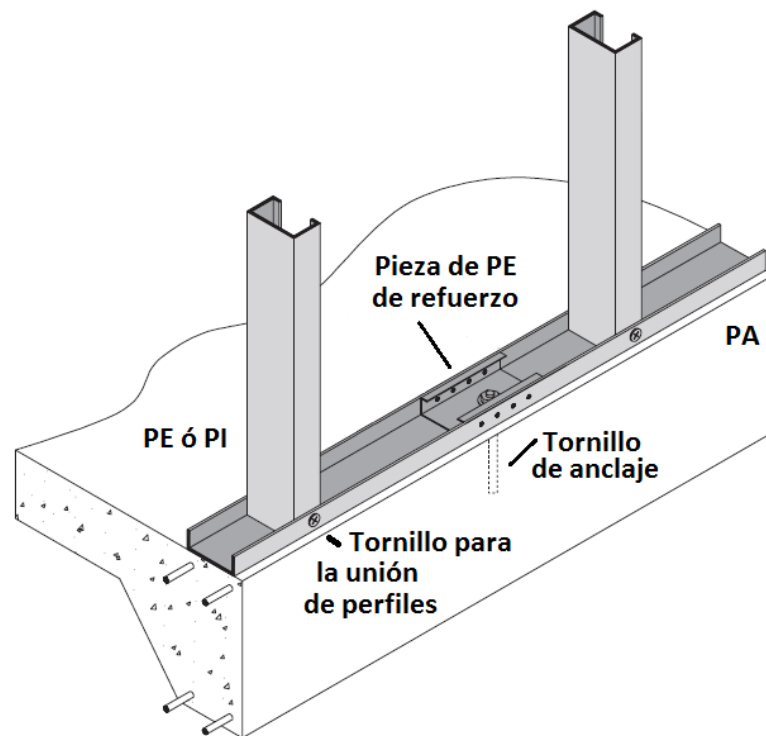


Figura 135. Fijaciones y anclajes del sistema constructivo. [87]

- Fijación de los elementos que conforman el entramado de acero.

Se utilizan tornillos de acero galvanizado con longitudes, tipos de cabeza y tipos de rosca que dependen del espesor de los elementos de acero que se unen.

Para el caso de perfiles con espesor hasta de **0.8 mm**, puede utilizarse un tornillo de cabeza plana de **50 mm** de longitud.

- Fijación de la lámina con el entramado de acero.

Se utilizan tornillos de acero galvanizado con longitudes, tipos de cabeza y tipos de rosca que dependen tanto del espesor de las láminas de fibrocemento como del espesor de los elementos del entramado de acero.

Para el caso de perfiles con espesor hasta de **2.0 mm** y láminas con espesor hasta de **14 mm**, pueden utilizarse tornillos con cabeza de trompeta de **125 mm** de longitud.

- Anclaje a la Cimentación.

Para el caso de paredes exteriores fijadas a una base de concreto reforzado (denominadas “empotradas” en el manual), se suelen utilizar tornillos de expansión. Estos tornillos atraviesan los perfiles de anclaje, PA, y se anclan a la cimentación de concreto a distancias modulares. (Véase nuevamente la Figura 135). Obviamente, el diámetro y longitud de anclaje de los tornillos deberían ser definidos a través de un proceso de análisis y diseño estructural.



3.3 MODELO EXPERIMENTAL.

3.3.1 INTRODUCCIÓN.

El modelo experimental llevado a cabo en el Laboratorio de Estructuras Grandes de la Universidad Centroamericana José Simeón Cañas de San Salvador, se plantea con el objetivo de comprobar la resistencia que debe soportar una estructura de acero liviano conformado en frío, revestida de paneles de fibrocemento tipo Plycem, sometida a la demanda máxima de viento y sismo, calculada a partir de la normativa vigente en El Salvador.

Una vez realizado el cálculo de la demanda máxima, descrito en el apartado 3.3.4, se comprueba que los mayores valores corresponden a la demanda por viento, por lo que dicho valor será el que se considere de aplicación al modelo experimental. Debido a las limitaciones existentes en el laboratorio, la carga de viento será simulada mediante la colocación de una serie de almohadillas, con dimensiones suficientes para repartir y transmitir la carga sobre la mayor superficie posible. Será precisamente, la colocación de dichas almohadillas, las que determinen el fallo anticipado o prematuro del sistema, ya que algunas de ellas se colocan en el vano de la lámina de fibrocemento sin el refuerzo interior del perfil. Aun así, el fallo de la lámina se produce una vez superada la demanda máxima estimada.

Hubiese sido necesario repetir el ensayo colocando dichas almohadillas sobre el conjunto lámina-perfil, es decir, sobre la lámina reforzada interiormente con el perfil de acero, para determinar exactamente el valor de la rigidez del conjunto. No obstante, se obtiene un coeficiente de seguridad seguro en el momento de extrapolar los valores al modelo analítico.

3.3.2 ASPECTOS RELEVANTES EN LA DEFINICIÓN DEL MODELO EXPERIMENTAL.

La definición del modelo experimental estuvo condicionada por varios factores. Aparte de aquéllos relacionados con limitaciones de recursos y de tiempo, los más relevantes se resumen a continuación:

- Debido a que se trata de una alternativa de viviendas de bajo costo, las paredes fueron construidas a base de paneles con un solo forro de láminas de fibrocemento. Sin embargo, debido a que las paredes pueden encontrarse expuestas a la intemperie, se utilizaron láminas de fibrocemento de **14 mm**, que es el espesor recomendado por la empresa que las fabrica.
- Dado que la alternativa factible de vivienda es de un solo nivel con un sistema de techo que se constituye en un diafragma flexible, las solicitaciones críticas sobre las paredes son perpendiculares a su plano mayor, y por esa razón las cargas fueron aplicadas precisamente en esa dirección.
- En el proceso de determinación de las dimensiones del modelo se tomaron en cuenta lineamientos arquitectónicos de la alternativa de vivienda; modulaciones del sistema constructivo; limitaciones de infraestructura y equipo del Laboratorio de Estructuras Grandes y limitaciones económicas.



- El aspecto más relevante de este proceso fue la determinación de la longitud de la pared que recibiría la carga, pues con tal dimensión se definió también la distancia entre soportes perpendiculares de la pared. Dicha longitud se definió de tal forma que fuese una condición más desfavorable que la que presentara cualquier pared en la alternativa arquitectónica de la vivienda; que fuese un múltiplo de la dimensión de la lámina completa, y que no hubiese inconvenientes con la separación de los agujeros existentes en las vigas de cimentación, y por tanto con los anclajes a la losa de piso.
- En una primera fase de decisión, se propuso un modelo formado tan solo por tres paredes: la que recibiría la carga y las dos paredes perpendiculares en sus extremos. A través de un proceso preliminar de análisis se previó que el modelo así formado resultaría excesivamente flexible. Tanto por recomendaciones de personas con experiencia práctica en la construcción con este sistema, como por otro proceso preliminar de análisis, se decidió agregar una estructura de techo construida a base del mismo sistema.

3.3.3 GEOMETRÍA Y CONSTRUCCIÓN DEL MODELO.

Sobre la base de los aspectos mencionados en el apartado anterior, los componentes del modelo a escala natural que fue ensayado quedaron identificados y definidos de la siguiente manera (véase el esquema general en la Figura 136 y las vistas en tres dimensiones de la Figura 137):

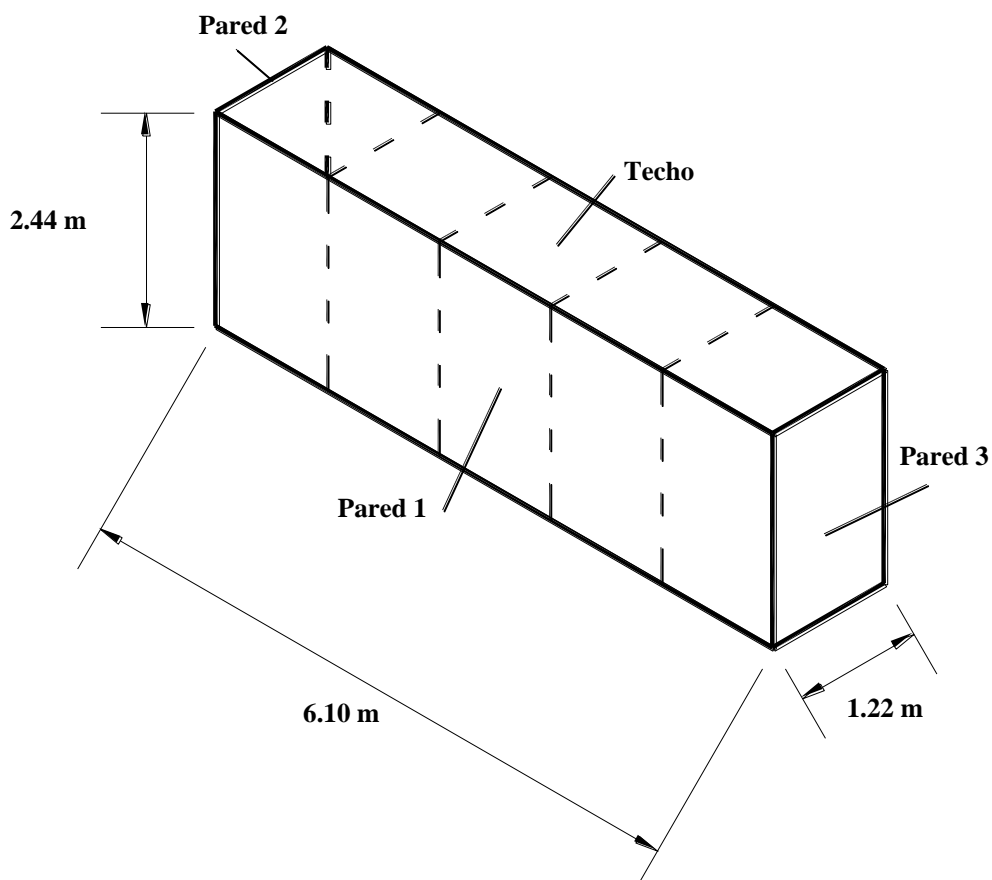


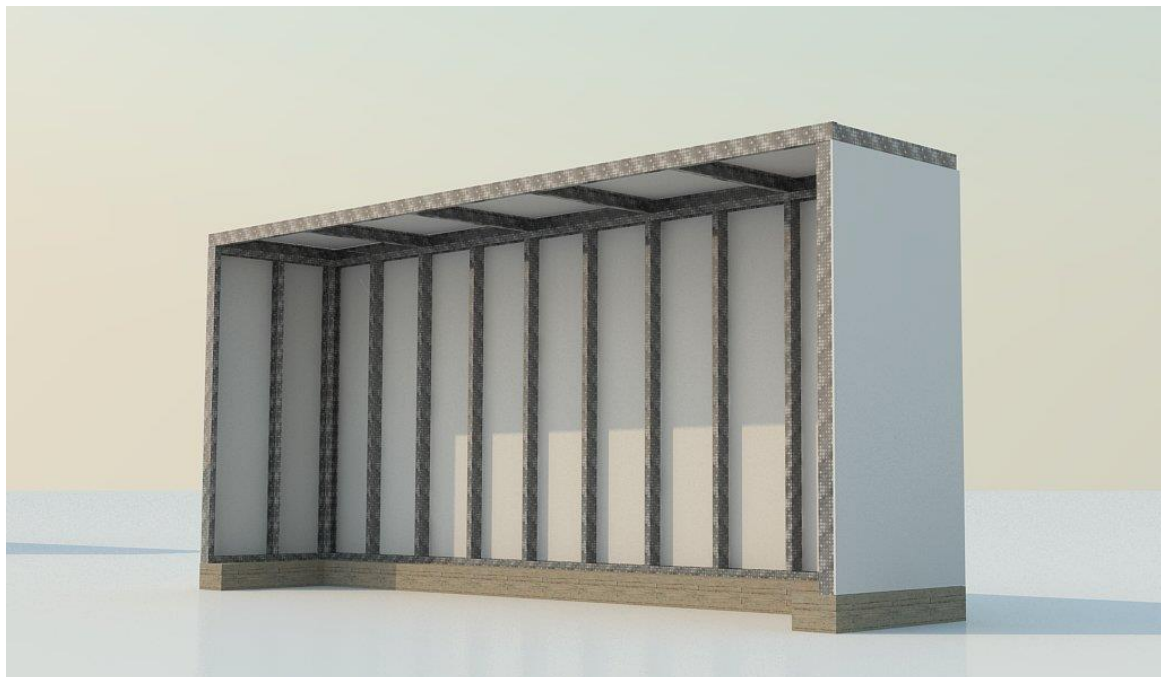
Figura 136. Esquema general del modelo a escala natural ensayado.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]



a. Vista en 3d del acoplamiento de las láminas a los perfiles.



b. Modelo experimental con perfiles y láminas.

Figura 137. Vistas en 3d del modelo a escala natural ensayado.

- Pared 1.

Panel de **6.10 m** de longitud y **2.44 m** de altura, construida con **5** láminas de **1.22 m × 2.44 m** y **14 mm** de espesor, con perfiles verticales de soporte a cada **0.61 m**, orientada en la dirección norte-sur. (Véase la Figura 139).



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

- Pared 2.
Panel de **1.22 m** de longitud y **2.44 m** de altura, construida con **1** lámina de **1.22 m × 2.44 m** y **14 mm** de espesor, con perfiles verticales de soporte a cada **0.61 m**, unido a la pared 1 en su extremo norte. (Véase la Figura 140).
- Pared 3.
Panel de **1.22m** de longitud y **2.44 m** de altura, construida con **1** lámina de **1.22 m × 2.44 m** y **14 mm** de espesor, con perfiles verticales de soporte a cada **0.61 m**, unido a la pared 1 en su extremo sur. (Véase nuevamente la Figura 140).
- Techo.
Panel de **6.10 m** de longitud y **1.22 m** de ancho, construida con **2 ½** láminas de **1.22 m × 2.44 m** y **14 mm** de espesor, con perfiles horizontales de soporte a cada **1.22 m**, unido al perímetro superior conformado por las paredes 1, 2 y 3. (Véase la Figura 140).

El material correspondiente a las paredes 1, 2 y 3, fue donado por la empresa proveedora local, aunque todos los perfiles verticales de soporte, incluyendo los que brindan soporte intermedio a las láminas (que pueden ser del tipo PI), fueron del tipo PE. El material del techo no fue previsto con la suficiente antelación como para poderlo incluir dentro de la donación.

Por otra parte, debido a que el ensayo no contempló la aplicación de cargas verticales sobre la estructura del techo, sus soportes horizontales se dispusieron a una distancia de **2.44 m** (esto es, sin soportes intermedios), aunque fue necesario proporcionar un par de soportes intermedios en la longitud de **6.10 m** no soportada directamente por las paredes para evitar una deflexión excesiva de este panel. (Véase la Figura 138). Aquí es importante también mencionar que estos soportes externos se dispusieron para evitar ensayar una muy desfavorable condición de apoyo de la estructura de techo que definitivamente no se presenta en la alternativa de vivienda evaluada.

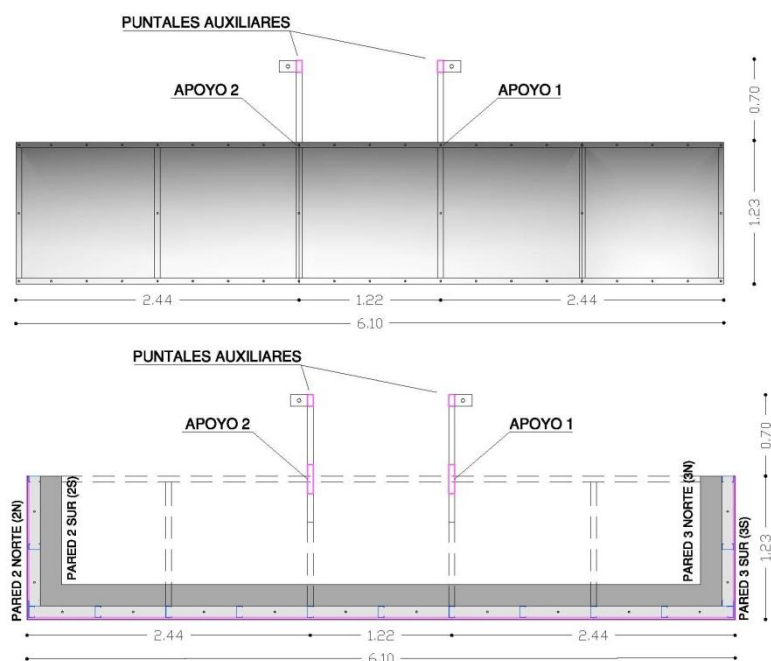


Figura 138. Estructura auxiliar de apoyo de techo del modelo experimental de vivienda.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

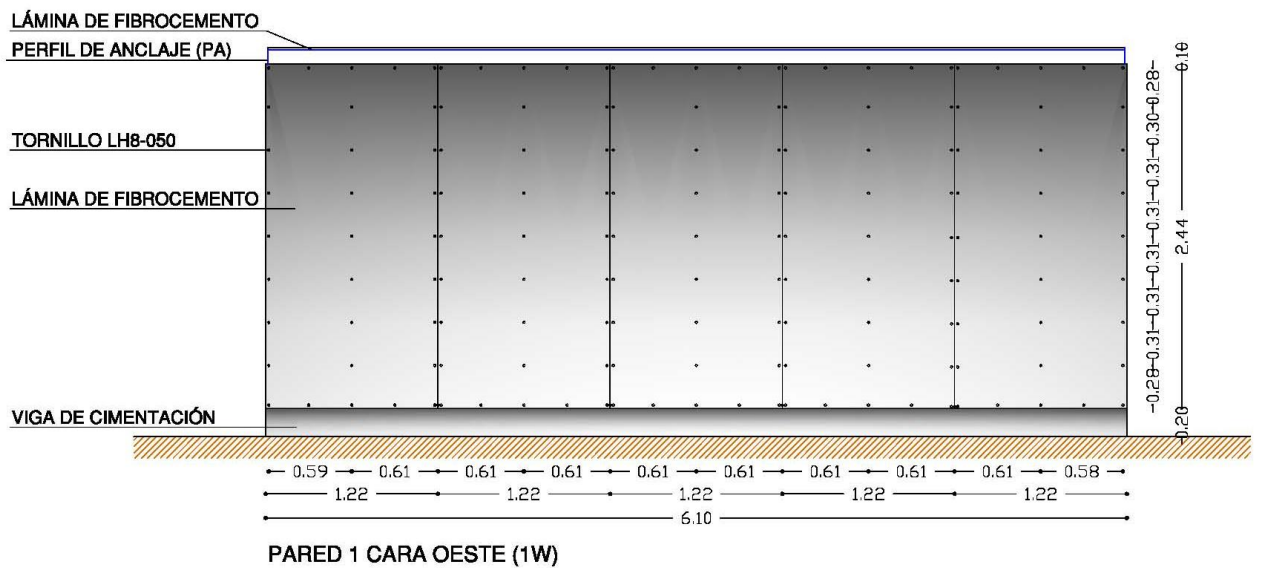
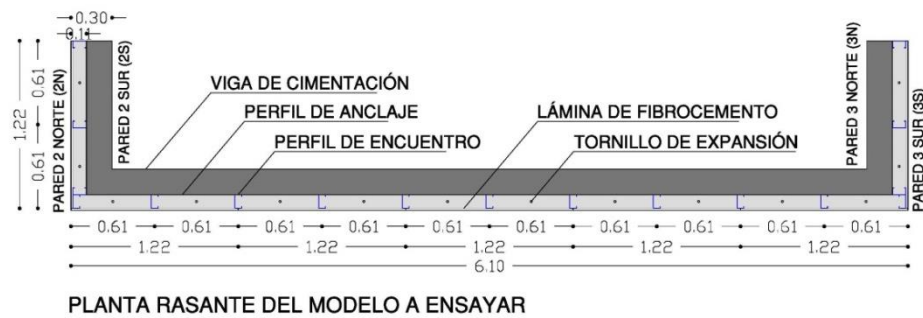
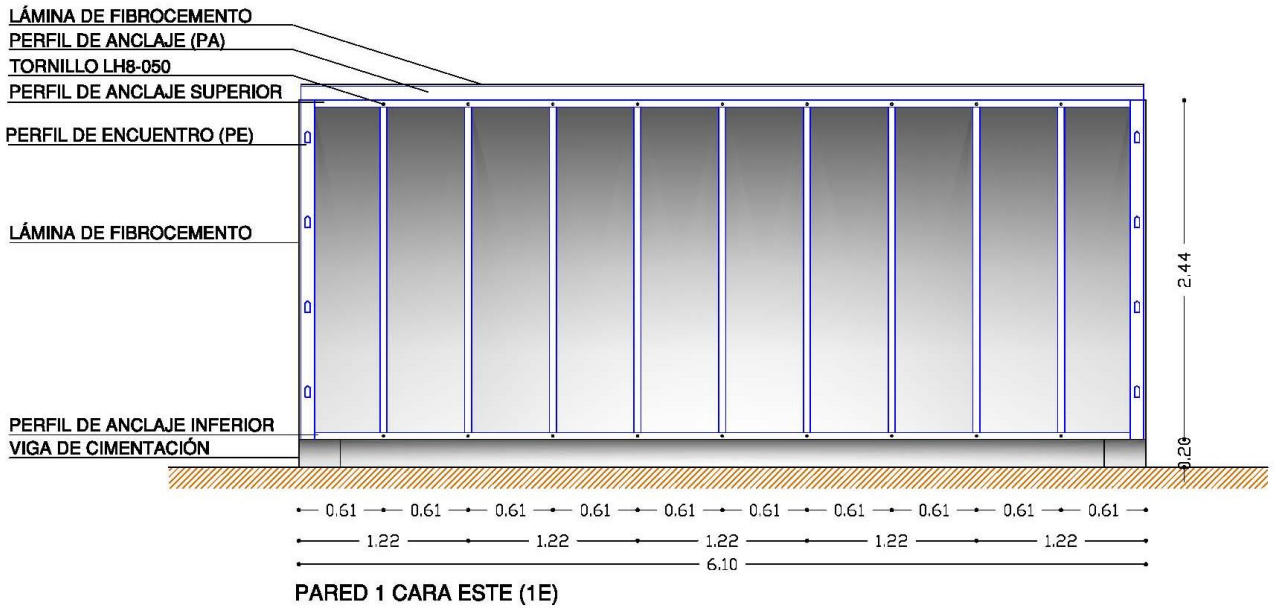


Figura 139. Pared 1 del modelo a escala natural ensayado.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

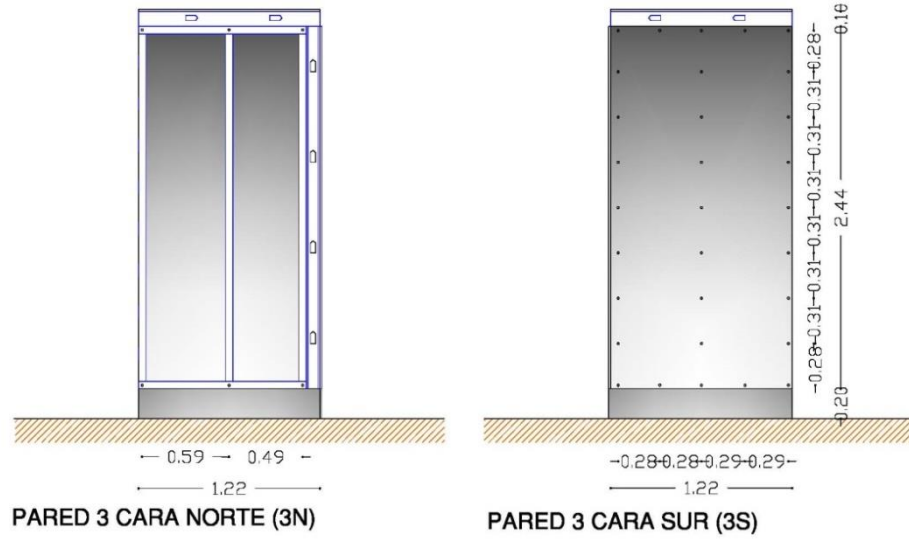
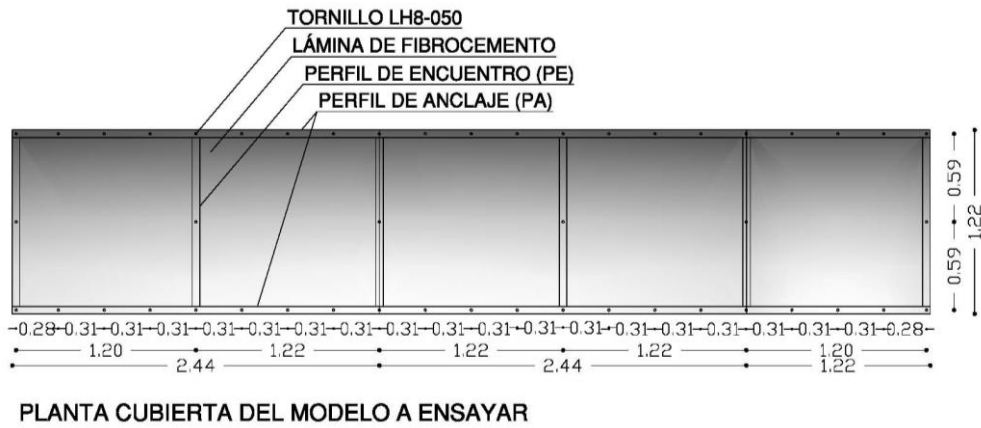
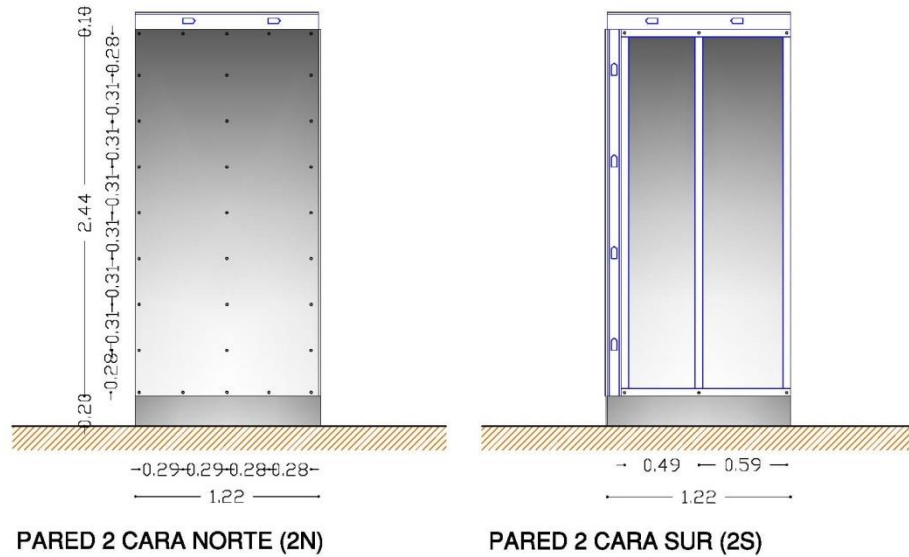


Figura 140. Paredes 2 y 3 y planta de cubierta de techo del modelo a escala natural ensayado.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Las tres paredes del modelo fueron fijadas a una solera de fundación previamente construida y fijada a la losa de reacción. La fijación de las paredes a la solera de fundación fue realizada a través de anclas espaciadas a distancias modulares de **0.61 m**, tal y como lo recomienda el manual del fabricante.

El detalle de los materiales utilizados en la construcción del modelo a escala natural se presenta a continuación.

- Láminas de Fibrocemento.

Tamaño: 1.22 m x 2.44 m
Espesor: 14 mm
- Perfiles de Anclaje PA.

Sección: 100 mm x 50 mm
Espesor: 0.80 mm (Calibre 20).
- Perfiles de encuentro PE (utilizados en este caso también como perfiles intermedios).

Sección: 98.4 mm x 50 mm x 12 mm.
Espesor: 0.80 mm (Calibre 20).
- Tornillos para la fijación del entramado de acero.

Designación: #8 x 1/2", cabeza extraplana antideslizante, rosca tipo "S", punta de broca autoperforante, LH 8-050.
- Tornillos para la fijación de la lámina con el entramado de acero.

Designación: #8 x 1 1/4", cabeza de trompeta, con estrías autoavellanantes, rosca tipo S12, punta de broca autoperforante, PH 8-125.
- Tornillos de anclaje a la cimentación.

Tornillos de 3/8" de diámetro.



3.3.4 DETERMINACIÓN DE LAS DEMANDAS SOBRE EL MODELO EXPERIMENTAL.

Demanda de sismo.

Conforme a la Norma Técnica de Diseño por Sismo de El Salvador (NTDSES) [38], el coeficiente sísmico, C_s , se calcula con la siguiente expresión:

$$C_s = \frac{A I C_0}{R} \left(\frac{T_0}{T} \right)^{2/3} \quad (\text{Ec.1})$$

en donde:

- A Factor de Zonificación Sísmica. Dependiendo de la ubicación de la estructura puede tomar un valor de **0.3** o de **0.4**.
- I Factor de Importancia. Dependiendo del tipo de ocupación o de la función de la estructura puede tomar tres valores.
- C_0, T_0 Coeficientes de Sitio. Dependiendo del perfil de suelo que se encuentre en lugar de emplazamiento de la estructura, se le asigna el tipo de suelo **S₁**, **S₂**, **S₃** ó **S₄**.

Se especifica que en sitios donde las propiedades del suelo no se conocen con detalle, se utilice el Tipo de Suelo **S₃**, para el cual **C₀ = 3.0** y **T₀ = 0.6**.
- R Factor de Modificación de la Respuesta. Este factor depende del tipo de sistema estructural que resiste las fuerzas laterales.
- T Período Fundamental de Vibración de la estructura en la dirección considerada. En el cálculo del coeficiente sísmico, este valor no debe tomarse menor que **T₀**.

Para el caso considerado, los valores que fueron adoptados son los siguientes:

A = 0.40 Desfavorablemente se consideran las zonas de mayor actividad sísmica.

I = 1.0 Valor que corresponde al caso específico de viviendas.

$C_0 = 3.0$; $T_0 = 0.6$ Las características del suelo no se conocen con detalle.

R = 4. Para sistemas aislados con masa esencialmente distribuida en su altura.

T = 0.6 El período fundamental es obviamente inferior a **0.6 s**.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Con ello, el coeficiente sísmico resulta:

$$C_s = \frac{0.4 \times 1.0 \times 3}{4} = 0.30$$

La demanda de sismo sobre la pared a ensayar, fue estimada considerando este coeficiente sísmico y calculando el peso sísmico tributario correspondiente, el cual incluyó el peso propio de la pared y un peso adicional, definido conservadoramente, para tomar en cuenta el peso del techo.

La información básica que se utilizó para la determinación del peso sísmico fue la siguiente:

Peso unitario de la lámina de fibrocemento: **1.15 kg/m²/mm**

Peso por unidad de longitud de los perfiles de acero: **2.35 kg/m**

Peso por unidad de superficie del techo: **40.0 kg/m²**.

Longitud tributaria correspondiente: $\frac{1}{2}$ (**3.05 m**)

Con esta información, el peso sísmico **W**, fue estimado en **500 kg**, y el cortante en la base por efecto de sismo, **V_s**, en **150 kg**.

Demanda de viento.

Conforme a la Norma Técnica de Diseño por Viento de El Salvador (NTDVES) [39], las estructuras de período natural corto, como las viviendas, deben revisarse para que resistan los efectos de las denominadas presiones y succiones estáticas.

La presión estática de diseño, **P**, se determina con la siguiente expresión:

$$P = C_p C_z K P_0 \quad (\text{Ec. 2})$$

en donde:

C_p: Factor de presión que depende de la forma de la construcción y de la posición de la superficie expuesta.

C_z; K: Factor correctivo por altura y por condiciones de exposición, respectivamente, y que dependen de la denominada **Zona de Exposición** de la estructura.

P₀: Presión básica de diseño: **30 kg/m²**.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Para el caso considerado, los valores que fueron adoptados son los siguientes:

$C_p = 0.8$ Pared de barlovento (pared sobre la que directamente incide el viento).

$C_z = 1.0$ Para alturas sobre el nivel del terreno inferiores a **10.0 m**.

$K = 1.6$ Considerando desfavorablemente una zona de exposición que corresponde a un terreno abierto con poca obstrucción al flujo del viento.

Con estas consideraciones, la presión estática de diseño resulta:

$$P = 0.8 \times 1.0 \times 1.6 \times 30 = 38.4 \frac{kg}{m^2}$$

La fuerza total del viento sobre la pared larga del modelo, V_w , se estimó multiplicando este valor por el área de exposición correspondiente:

$$V_w = 38.4 \frac{kg}{m^2} \times 6.10 m \times 2.44 m \cong 570 kg$$

Definición de la demanda sobre el modelo experimental.

Tomando en cuenta que la demanda por viento resulta muy superior a la demanda por sismo, la fuerza de diseño sobre el modelo experimental fue definida en base a la primera, esto es, **570 kg**. Por esta misma razón, se decidió realizar el ensayo de manera cíclica, pero no reversible, atendiendo precisamente a la naturaleza de la carga de viento.

La combinación de cargas empleada fue la que considera las normas de dicho país:

$$U = 0.75 (1.4 D + L + 1.87 (0.91) W) \quad (\text{Ec.3})$$

Tomando en cuenta que el efecto de la carga muerta D y de la carga viva L no es apreciable, simplificaríamos quedando un factor de aproximadamente 1,3 para los efectos del viento, W .



3.4 MODELO NUMÉRICO.

3.4.1 INTRODUCCIÓN

Antes de definir el programa experimental fue necesario elaborar un modelo numérico bastante más riguroso y preciso que el anteriormente utilizado en la fase de definición del modelo experimental, para predecir el comportamiento estructural esperado y la resistencia o la capacidad estructural del mismo. Los resultados obtenidos con este modelo numérico proporcionaron criterios para la fase de instrumentación del modelo experimental, ayudando a definir la ubicación y la precisión necesaria de algunos de los instrumentos de medición disponibles en el laboratorio.

El modelo numérico fue realizado con la ayuda del Programa SAP 2000 [12], desarrollado por Computers and Structures, Inc. Este programa lleva a cabo el análisis de las estructuras utilizando el Método de los Elementos Finitos. Este método considera que dado un sólido, sometido a un sistema de cargas y coaccionado por unas ligaduras, se subdivide en pequeñas partes (elementos) interconectadas entre sí a través de los nudos de los elementos, de manera que se supone que, el campo de desplazamientos en el interior de cada elemento, puede expresarse en función de los desplazamientos que sufren los nudos del elemento (desplazamientos nodales); posteriormente, se podrá determinar la matriz de rigidez de cada elemento, las cuales una vez ensambladas (siguiendo los pasos del análisis matricial de estructuras), permitirán la obtención de los desplazamientos en los nudos de cada elemento. De esa manera, una vez conocidos dichos desplazamientos, se podría determinar, de una forma aproximada, las tensiones y las deformaciones en el interior del elemento. [98]

Se expone a continuación, de manera sucinta, la base teórica del Método de Elementos Finitos, adjuntando las ecuaciones básicas que el programa informático implementa en sus cálculos internos.

Para ello se tomará un ejemplo sencillo de análisis es el de una rebanada delgada sometida a tensión plana. Se divide la región en elementos triangulares y se describen las siguientes funciones:

1. Función de desplazamientos. Un elemento finito, e , se define por sus nodos i, j, m , etc., y por su contorno formado por líneas rectas. Aproximaremos los desplazamientos u de cualquier punto del elemento mediante un vector columna, u' :

$$u \sim u' = \sum N_i a_i^e = [N_i, N_j, \dots] \begin{Bmatrix} a_i \\ a_j \\ \cdot \\ \cdot \end{Bmatrix} = N a^e \quad (\text{Ec.4})$$

Donde las componentes de N son en general funciones de posición dadas y a^e es un vector formado por los desplazamientos nodales del elemento considerado. En el caso particular de tensión plana,

$$u = \begin{Bmatrix} u(x, y) \\ v(x, y) \end{Bmatrix}$$



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Representa los movimientos verticales y horizontales de un punto cualquier del elemento, y

$$a_i = \begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \end{Bmatrix}$$

los correspondientes desplazamientos de un nodo i.

Las funciones N_i, N_j, N_m han de escogerse de manera que al sustituir en la ecuación 4 las coordenadas de los nodos se obtengan los correspondientes desplazamientos nodales. En general,

$$N_i(x_i, y_i) = I \text{ (Matriz unidad)}$$

Mientras que,

$$N_i(x_i, y_i) = N_i(x_m, y_m) = 0$$

Si las dos componentes del desplazamiento se interpolan de la misma manera, se podrá escribir

$$N_i = N_i I$$

Y obtener la N_i de la ecuación 1, teniendo en cuenta que $N_i = 1$ para x_i, y_i y 0 en los otros vértices.

La funciones de prueba N se llamarán funciones de forma.

2. Deformaciones. Una vez conocidos los desplazamientos para todos los puntos del elemento, pueden determinarse las deformaciones en cualquier punto. Éstas darán siempre por resultado una relación que podrá escribirse en forma matricial,

$$\varepsilon = Su \quad (\text{Ec.5})$$

Donde S es un operador lineal apropiado. Mediante la ecuación 4, la expresión anterior puede aproximarse como,

$$\varepsilon = Ba \quad (\text{Ec.6})$$

Con

$$B = SN \quad (\text{Ec.7})$$

En el caso de tensión plana las deformaciones más importantes son las que se producen en el plano y se expresan en función de los desplazamientos mediante las conocidas relaciones que definen el operador S .

$$\varepsilon = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \\ \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} \\ \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u \\ v \end{Bmatrix}$$



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Determinadas las funciones de forma N_i , N_j , N_m es fácil obtener la matriz B. Si adoptamos una expresión lineal para dichas funciones, las deformaciones serán constantes en todo el elemento.

3. Tensiones. Si se considera ε_0 como las deformaciones iniciales, las tensiones se deberán a la diferencia entre las deformaciones reales y las iniciales. Podrían existir también tensiones residuales σ_0 , que pueden añadirse a la ecuación general. Suponiendo un comportamiento elástico lineal, la relación entre magnitudes sería,

$$\sigma = D (\varepsilon - \varepsilon_0) + \sigma_0 \quad (\text{Ec.8})$$

Donde D es la matriz de la elasticidad que contiene las propiedades del material. Además en tensión plana se consideran tres componentes de tensión,

$$\sigma = \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix}$$

Y la matriz D se obtendrá de la relación entre tensiones y deformaciones para un medio isótropo.

$$\varepsilon_x - (\varepsilon_x)_0 = \frac{1}{E} \sigma_x - \frac{\nu}{E} \sigma_y$$

$$\varepsilon_y - (\varepsilon_y)_0 = \frac{1}{E} \sigma_y - \frac{\nu}{E} \sigma_x$$

$$\tau_{xy} - (\tau_{xy})_0 = \frac{2(1 + \nu)}{E} \tau_{xy}$$

Y resolviendo el sistema,

$$D = \frac{E}{1 - \nu^2} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & (1 - \nu)/2 \end{bmatrix}$$

4. Fuerzas nodales equivalentes. Se define,

$$q^e = \begin{Bmatrix} q_i^e \\ q_j^e \\ \vdots \end{Bmatrix}$$

Como las fuerzas que actúan en los nodos, siendo equivalentes a las tensiones en el entorno y a las fuerzas distribuidas que actúan sobre el elemento. Las fuerzas distribuidas b son las que actúan por unidad de volumen en direcciones correspondientes a la de los desplazamientos u de ese punto.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

En el caso de tensión plana, las fuerzas nodales son,

$$q_i^e = \begin{Bmatrix} U_i \\ V_i \end{Bmatrix}$$

Con las componentes U y V en correspondencia con las direcciones de los desplazamientos u y v, y la carga repartida es,

$$b = \begin{Bmatrix} b_x \\ b_y \end{Bmatrix}$$

Donde b_x y b_y son las componentes de la “fuerza másica”.

Sea δa^e un desplazamiento virtual de los nodos. Éste origina, según las ecuaciones 1 y 2, desplazamientos y deformaciones dentro del elemento iguales, respectivamente, a

$$\delta u = N\delta a^e \quad \text{y} \quad \delta \varepsilon = B\delta a^e \quad (\text{Ec.9})$$

El trabajo efectuado por las fuerzas nodales es igual a la suma de los productos de las componentes de cada una de las fuerzas por sus correspondientes desplazamientos, es decir, en lenguaje matricial,

$$\delta a^{eT} q^e \quad (\text{Ec.10})$$

Análogamente, el trabajo interno por unidad de volumen efectuado por las tensiones y fuerzas distribuidas es

$$\delta \varepsilon^T \sigma - \delta u^T b \quad (\text{Ec.11})$$

$$\delta a^T (B^T \sigma - N^T b) \quad (\text{Ec.12})$$

Igualando el trabajo externo con el trabajo interno total obtenido al integrar sobre el volumen del elemento, V^e , se obtiene

$$\delta a^{eT} q^e = \delta a^{eT} \left(\int_{V^e} B^T \sigma \, d(\text{vol}) - \int_{V^e} N^T b \, d(\text{vol}) \right) \quad (\text{Ec.13})$$

Como esta relación es válida para cualquier desplazamiento virtual, podemos igualar los multiplicandos. Así pues,

$$q^e = \left(\int_{V^e} B^T \sigma \, d(\text{vol}) - \int_{V^e} N^T b \, d(\text{vol}) \right) \quad (\text{Ec.14})$$

Siendo esta expresión válida para cualesquiera que sean las tensiones y deformaciones. En el caso de la ley lineal expresada por la ecuación 8 se puede escribir la ecuación 14 como

$$q^e = K^e a^e + f^e \quad (\text{Ec.15})$$

donde

$$K^e = \int_{V^e} B^T D B \, d(\text{vol}) \quad (\text{Ec.16a})$$



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

y

$$f^e = \int_{V_e} N^T b \, d(vol) - \int_{V_e} B^T D \varepsilon_0 \, d(vol) + \int_{V_e} B^T \sigma_0 \, d(vol) \quad (\text{Ec.16b})$$

Por otra parte, y teniendo en cuenta los elementos considerados para este modelo numérico, la matriz de rigidez para las vigas tipo Timoshenko [99] en tres dimensiones vendría dada por K_e de la siguiente forma,

$$K_e = \begin{bmatrix} \frac{EA}{l} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{-EA}{l} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & K_{11}^Z & 0 & 0 & 0 & K_{12}^Z & 0 & K_{13}^Z & 0 & 0 & 0 & K_{14}^Z \\ 0 & 0 & K_{11}^Y & 0 & K_{12}^Y & 0 & 0 & 0 & K_{13}^Y & 0 & K_{14}^Y & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{GK}{l} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{-GK}{l} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & K_{12}^Y & 0 & K_{22}^Y & 0 & 0 & 0 & K_{23}^Y & 0 & K_{24}^Y & 0 \\ 0 & K_{12}^Z & 0 & 0 & 0 & K_{22}^Z & 0 & K_{23}^Z & 0 & 0 & 0 & K_{24}^Z \\ \frac{-EA}{l} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{EA}{l} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & K_{13}^Z & 0 & 0 & 0 & K_{23}^Z & 0 & K_{33}^Z & 0 & 0 & 0 & K_{34}^Z \\ 0 & 0 & K_{13}^Y & 0 & K_{23}^Y & 0 & 0 & 0 & K_{33}^Y & 0 & K_{34}^Y & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{-GK}{l} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{GK}{l} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & K_{14}^Y & 0 & K_{24}^Y & 0 & 0 & 0 & K_{34}^Y & 0 & K_{44}^Y & 0 \\ 0 & K_{14}^Z & 0 & 0 & 0 & K_{24}^Z & 0 & K_{34}^Z & 0 & 0 & 0 & K_{44}^Z \end{bmatrix} \quad (\text{Ec.17})$$

Donde

$$\begin{bmatrix} K_{11}^Z & K_{12}^Z & K_{13}^Z & K_{14}^Z \\ & K_{22}^Z & K_{23}^Z & K_{24}^Z \\ & & K_{33}^Z & K_{34}^Z \\ & & & K_{44}^Z \end{bmatrix} = \frac{EI_z}{(1+\varphi_y)l^2} \begin{bmatrix} 12 & 6l & -12 & 6l \\ & (4+\varphi_y)l^2 & -6l & (2-\varphi_y)l^2 \\ & & 12 & -6l \\ & & & (4+\varphi_y)l^2 \end{bmatrix} \quad (\text{Ec.18})$$

$$\begin{bmatrix} K_{11}^Y & K_{12}^Y & K_{13}^Y & K_{14}^Y \\ & K_{22}^Y & K_{23}^Y & K_{24}^Y \\ & & K_{33}^Y & K_{34}^Y \\ & & & K_{44}^Y \end{bmatrix} = \frac{EI_y}{(1+\varphi_z)l^2} \begin{bmatrix} 12 & 6l & -12 & 6l \\ & (4+\varphi_z)l^2 & -6l & (2-\varphi_z)l^2 \\ & & 12 & -6l \\ & & & (4+\varphi_z)l^2 \end{bmatrix} \quad (\text{Ec.19})$$

Para los elementos Shell [100] en tres dimensiones, K es una matriz simétrica que expresa las relaciones entre las fuerzas nodales y desplazamientos. Las matrices K_m , K_b y K_s son conocidas como matrices de rigidez del elemento, siendo

$$K = K_m + K_b + K_s \quad (\text{Ec.20})$$

donde

$$K_m = \int_V E^{ijkl} \bar{\gamma}_{ij} \frac{\partial \bar{\gamma}_{kl}}{\partial u_{n\alpha}} \, dV \quad (\text{Ec.21})$$

$$K_b = \int_V E^{ijkl} \bar{\gamma}_{ij} \frac{\partial \bar{\gamma}_{kl}}{\partial w_N} \, dV \quad (\text{Ec.22})$$

$$K_s = \int_V E^{ijkl} \bar{\gamma}_{ij} \frac{\partial \bar{\gamma}_{kl}}{\partial \theta_N^\alpha} \, dV \quad (\text{Ec.23})$$



3.4.2 ASPECTOS RELEVANTES EN LA DEFINICIÓN DEL MODELO NUMÉRICO.

El modelo numérico fue desarrollado con la ayuda del Programa SAP 2000, preparado por Computers and Structures, Inc., un sofisticado programa de computadora para el análisis y diseño; lineal y no lineal; estático y dinámico; de estructuras tridimensionales. Este programa lleva a cabo el análisis de las estructuras utilizando el Método de los Elementos Finitos.

El programa analiza y diseña estructuras a través de la denominada Interfaz Gráfica del Usuario (Graphical User Interface). A continuación se presenta la información más importante considerada en su elaboración.

- a. Los perfiles de acero fueron modelados como **Elementos de Marco**. Tanto las dimensiones de la sección transversal como las propiedades físicas del material constituyente, fueron definidos utilizando valores nominales. El detalle se presenta a continuación.

Propiedades nominales del Acero Formado en Frío.

Módulo de Elasticidad.	$E_s = 2.074 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$.
Esfuerzo de Fluencia.	$F_y = 2,310 \text{ kg/cm}^2$ (33.0 ksi).
Módulo de Poisson.	$\mu = 0.30$.
Peso volumétrico.	$\gamma_s = 7.849 \text{ kg/cm}^3$.

Propiedades de la sección transversal de los perfiles de acero formados en frío.

Perfil de anclaje, PA.

Altura exterior.	$d = 10.00 \text{ cm}$
Ancho exterior.	$b = 3.20 \text{ cm}$
Espesor.	$t = 0.80 \text{ cm}$

Perfil de encuentro, PE.

Altura exterior.	$d = 9.84 \text{ cm}$
Ancho exterior.	$b = 5.00 \text{ cm}$
Espesor.	$t = 0.80 \text{ cm}$

- b. Las láminas de fibrocemento fueron modeladas como **Elementos Cáscara**, que combinan el comportamiento de placa y el de membrana. El espesor fue definido sobre la base de su valor nominal, y las propiedades físicas del material se definieron tomando valores medios de los rangos especificados por el fabricante.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Propiedades de la lámina de fibrocemento.

Módulo de Elasticidad.	$E_{fc} = 33,130 \text{ kg/cm}^2$.
Módulo de Poisson.	$\mu = 0.20$.
Peso volumétrico.	$\gamma_{fc} = 1.100 \text{ kg/cm}^3$.

Propiedades de la sección transversal de las láminas de fibrocemento.

Espesor para comportamiento de placa	$t_{pl} = 1.40 \text{ cm}$
Espesor para comportamiento de membrana.	$t_m = 1.40 \text{ cm}$

Perfil de anclaje, PA.

Altura exterior.	$d = 10.00 \text{ cm}$
Ancho exterior.	$b = 3.20 \text{ cm}$
Espesor.	$t = 0.80 \text{ cm}$

En el programa se modelan 304 elementos de área.

Previamente a la introducción de datos en el programa se tuvo en cuenta una serie de consideraciones:

- En consistencia con la forma en cómo se unen entre sí los perfiles de acero, se consideró que tales conexiones no transmiten flexión.
- Se consideró de la mayor importancia modelar la acción compuesta entre los perfiles de acero y las láminas de fibrocemento. Tal acción fue modelada considerando que en los lugares donde los perfiles y las láminas se unen por medio de tornillos, existen eslabones rígidos que unen el eje centroidal de los perfiles con el eje centroidal de las láminas. Estos eslabones o tornillos se modelan en el programa mediante los denominados **Pins**, barras de acero de 1 pulgada (25,4 mm), hasta un total de 241.

Mientras no exista deslizamiento relativo o deterioro de esta unión, se supone que son estos eslabones los que se encargan de transmitir acciones equivalentes a las que transmiten los tornillos en la interfase de los dos componentes estructurales.

- La carga de viento fue aplicada como una carga uniforme de **38.4 kg/m²** sobre los elementos cáscara de la pared frontal. Dado que el área total de estos elementos es igual a **2.44 m x 6.10 m**, la carga total aplicada fue de **571.55 kg**.

La Figura 141 presenta una imagen del modelo SAP desarrollado y a continuación se presentan algunos de los resultados más relevantes que con él se obtuvieron.

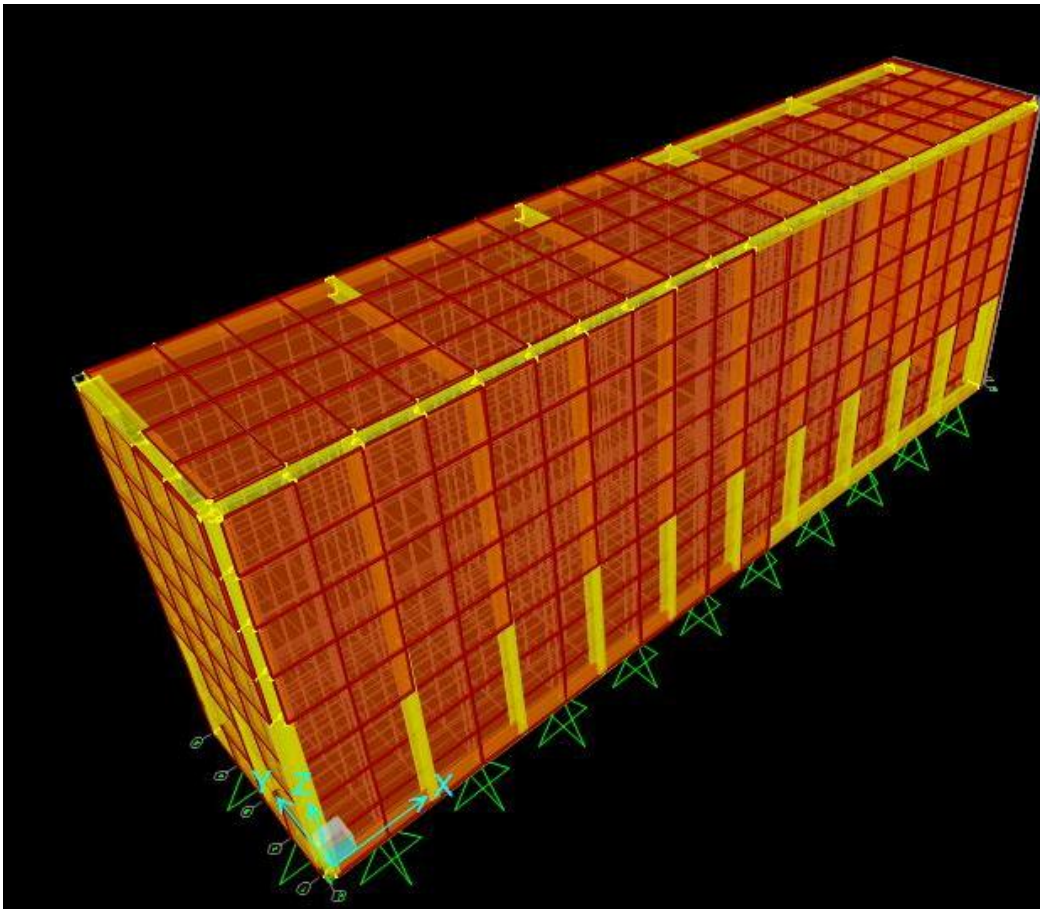


Figura 141. Modelo SAP del Modelo Experimental.

- La máxima deformación experimentada por el sistema se presentó, obviamente, al centro de la pared frontal en su extremo superior, en el nudo **N417**, y resultó ser igual a **0.897 cm**.
- La rigidez del sistema, definida en este caso particular como la carga total aplicada (**571.55 kg**) y la máxima deformación experimentada por el sistema (**0.897 cm**), es igual a **637 kg/cm**.
- Los Perfiles PE rotan con respecto a la base pero se deforman de manera análoga al de una viga simplemente apoyada. La Figura 142 ilustra la deformación magnificada del perfil PE central.

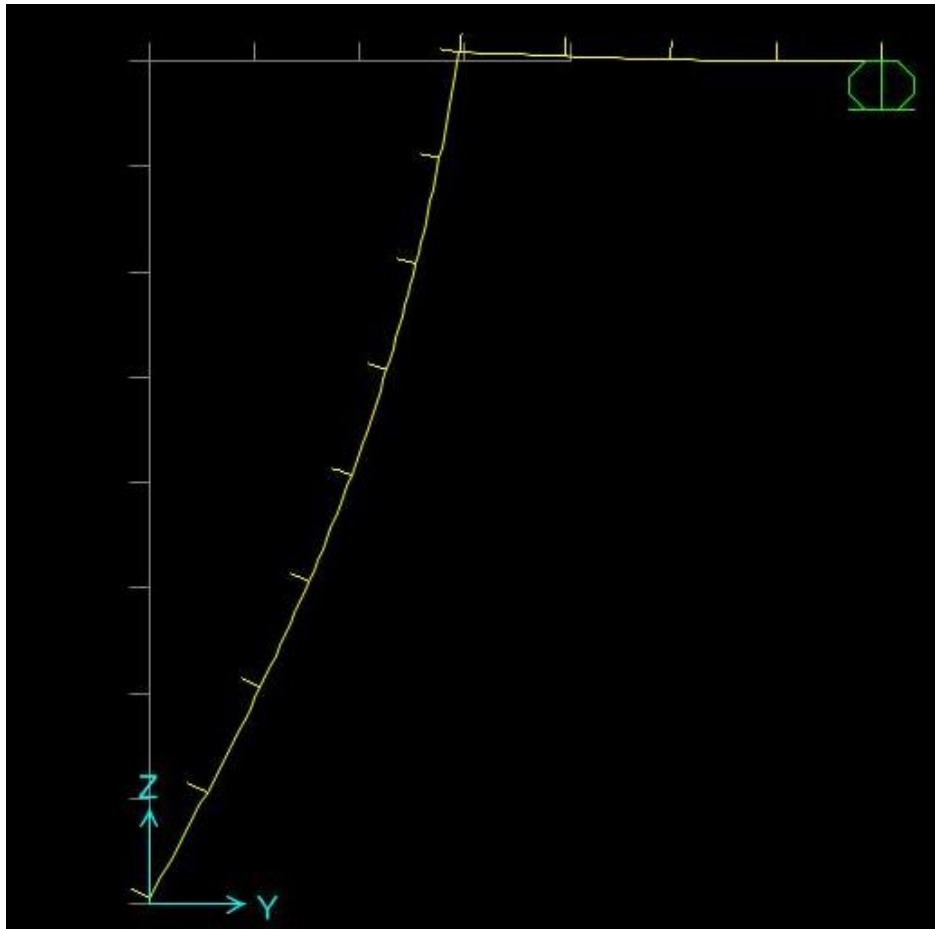


Figura 142. Deformación del perfil PE central.

- El perfil PA superior sufre prácticamente el mismo desplazamiento a lo largo de toda su longitud, y sus deformaciones, aunque muy pequeñas, también se asemejan al que experimenta una viga simplemente apoyada. La Figura 143 ilustra la deformación magnificada de este perfil.

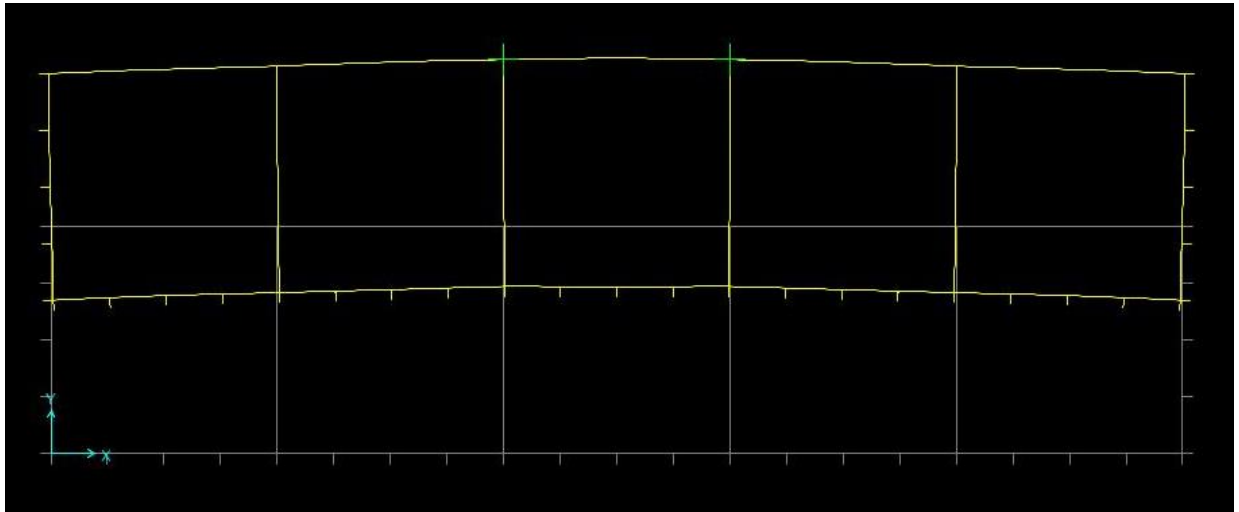


Figura 143. Deformación del perfil PA superior.

- Las láminas transmiten las cargas a los perfiles verticales PE funcionando de manera parecida a la de una losa de concreto reforzado que carga en una dirección. La Figura 144 presenta las variaciones de los momentos flexionantes en la dirección en la que transmiten la carga a los perfiles PE, esto es, en la dirección horizontal.

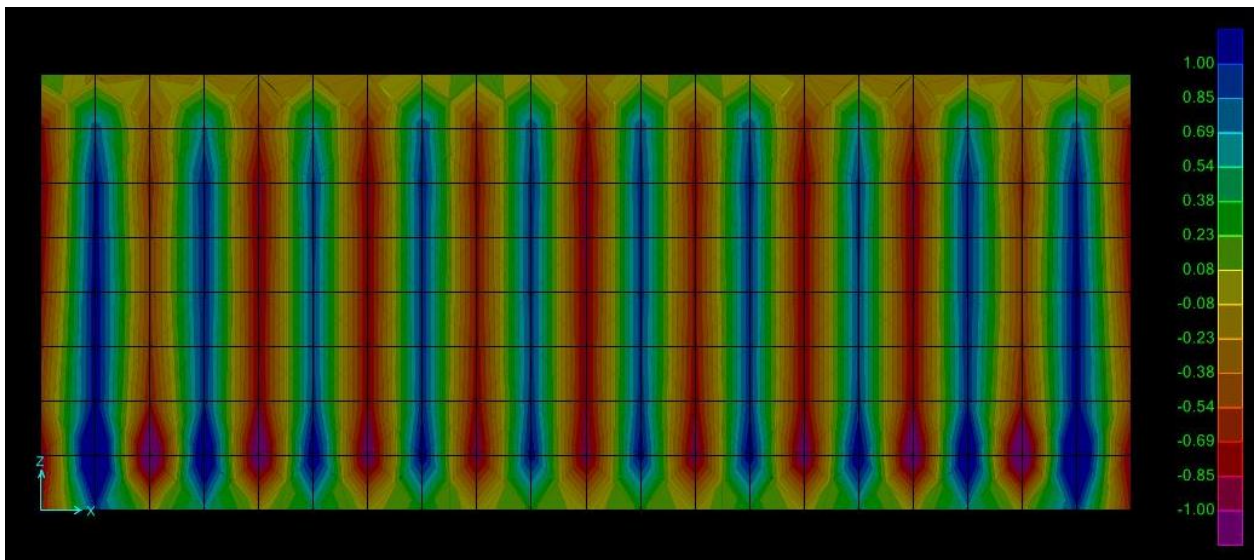


Figura 144. Variación de momentos flectores en las láminas en la dirección horizontal.



3.5 PROGRAMA EXPERIMENTAL.

En este apartado se presenta la información más relevante relacionada con el programa experimental, y que abarca el ensayo a materiales constituyentes del modelo a escala natural; el proceso de construcción e instrumentación del mismo, y el establecimiento de criterios para la aplicación de cargas al modelo y de lineamientos para la realización de su ensayo.

3.5.1 ENSAYO A MATERIALES.

El propósito fundamental de estos ensayos es verificar algunas de las propiedades mecánicas de los materiales constituyentes del modelo a escala natural que influyen considerablemente en el comportamiento estructural o en la resistencia esperada de dicho modelo.

3.5.1.1 Perfil de acero formado en frío.

Para evaluar las características de resistencia y rigidez a la tensión del material de los perfiles de acero laminados en frío fue necesario elaborar probetas bajo la norma ASTM A-370, Ensayos de Tracción y Flexión para Varillas de Alta Resistencia (barras reforzadas) [101].

En esta norma se indican los procedimientos para las pruebas mecánicas de aceros y aleaciones relacionadas, los cuales se utilizan para determinar las propiedades requeridas en la especificación del producto. La Figura 145 presenta un esquema de las probetas ensayadas, y la Tabla 18 detalla las dimensiones correspondientes.

Tabla 18. Dimensiones de probeta de acero.

Descripción	Nomenclatura	Valor	Unidad
Longitud inicial de probeta	L	30.45	cm
Longitud tramo reducido	A	7.66	cm
Longitud promedio extremos de sujeción	B	10.74	cm
Ancho promedio de sujeción	C	1.94	cm
Ancho promedio en sección reducida	W	1.27	cm
Espesor promedio en sección reducida	T	0.08	cm

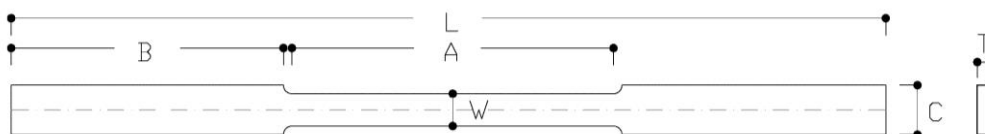


Figura 145. Esquema de probeta de acero para ensayo de tensión.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

La Tabla 19 presenta los resultados obtenidos en el ensayo de dos probetas provenientes de los perfiles con los que se construyó el modelo. En ella se registran los valores del esfuerzo de fluencia, del esfuerzo último y del porcentaje de elongación para cada una de las probetas y los valores promedio correspondientes.

Los estándares utilizados en nuestro medio para definir las propiedades del esfuerzo de fluencia y del esfuerzo último son 2320 kg/cm² y 3150 kg/cm², respectivamente, y los valores promedio superan, también respectivamente, en 1.4 y 1.2 veces a dichos estándares. Por otra parte, el tipo de falla observado en las probetas fue del tipo cono y cráter, típica de materiales dúctiles que presentan porcentajes de elongación altos, como se reportaron en los ensayos.

Sobre la base del tipo de falla observado y de los resultados de resistencia, se considera satisfactoria la calidad de los perfiles.

Tabla 19. Resultado de ensayo a tensión en acero.

Probeta	Esfuerzo de fluencia, f_y	Esfuerzo máximo, f_u	Elongación
	kg/cm ²	kg/cm ²	%
1	3164	3895	36
2	3276	3768	32
Promedio	3220	3832	34
Desv. Est.	79	90	3
C.V. (%)	2.5	2.3	8.6

3.5.1.2 Lámina de fibrocemento.

El objetivo principal de realizar el ensayo a flexión del material de la lámina de fibrocemento fue obtener el módulo de elasticidad y el módulo de ruptura del material para compararlos con los valores indicados por el fabricante.

El ensayo a flexión fue realizado a dos probetas extraídas de una de las láminas utilizadas para construir el modelo, las cuales se apoyaron en sus extremos y fueron sometidas a una carga concentrada al centro de su longitud. (Véase la Figura 146).

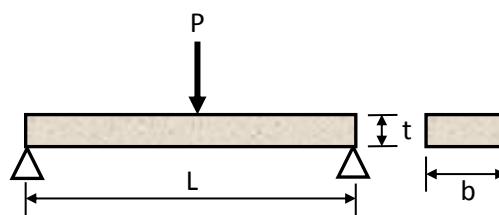


Figura 146. Esquema de probeta de fibrocemento para ensayo de flexión.



En la Figura 147 se muestra el montaje y equipo utilizado en el ensayo: marco de carga, anillo de carga, celda de presión, sistema de apoyos, sistema para transmitir carga concentrada y un medidor de deformación unitaria eléctrico.

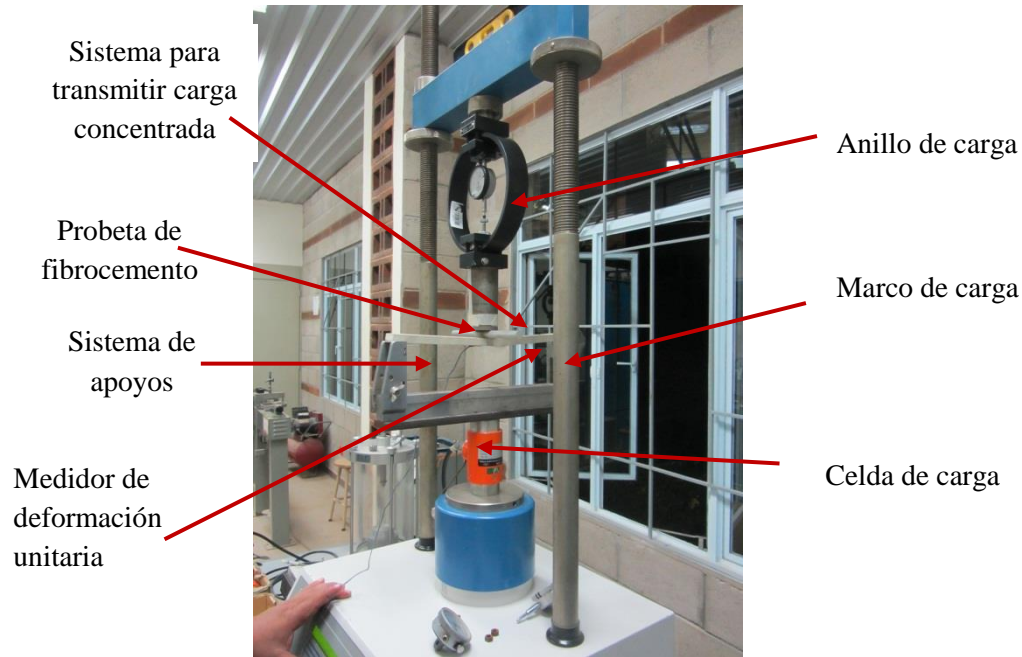


Figura 147. Montaje del ensayo a flexión en fibrocemento.

Debido a que las cargas máximas que las probetas serían capaces de resistir se estimaron en unos **11 kg**, se utilizó el anillo de carga con la capacidad más baja que contaba el laboratorio, el cual posee una precisión aproximada del 1% de la carga máxima estimada.

El módulo de ruptura, σ_r , se calculó evaluando el máximo esfuerzo de flexión en la sección de máximo momento para la carga de falla, a través de la siguiente expresión, en la que $P_{m\acute{a}x}$ es la carga de falla y **b**, **L** y **t**, son, respectivamente, el ancho, la longitud y el espesor de la probeta:

$$\sigma_r = \left(\frac{My}{I} \right)_{m\acute{a}x} = \frac{\left(\frac{P_{m\acute{a}x}L}{4} \right) * t/2}{bt^3/12} = \frac{3P_{m\acute{a}x}L}{2bt^2} \quad (\text{Ec.24})$$



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Tal y como era de preverse, la falla se produjo en la parte inferior de la zona central de la probeta (véase la Figura 148). Los resultados obtenidos para el módulo de ruptura de las probetas se presentan en la Tabla 20.



Figura 148. Falla a flexión de probeta de fibrocemento.

Tabla 20. Módulo de ruptura, σ_r , del fibrocemento.

Probeta	L (mm)	b (mm)	t (mm)	$P_{m\acute{a}x}$ (kgf)	$M_{m\acute{a}x}$ (kgf-cm)	I (cm ⁴)	σ_r (kgf/cm ²)	σ_r^{prom} (kgf/cm ²)
1	312	27.9	13.60	10.216	79.69	0.58484	92.65	93.36
2	315	28.6	13.53	10.424	82.09	0.59031	94.07	

Asimismo, para evaluar el módulo de elasticidad se adhirió en la zona central inferior de la probeta, una galga extensométrica (strain gauge), con el objeto de poder relacionar el esfuerzo de flexión con la deformación unitaria. (Véase la Figura 149).



Figura 149. Proceso de instalación de medidor de deformación unitaria en probeta de flexión de fibrocemento.

El medidor de deformación unitaria y la celda de carga fueron conectados a un recolector de datos (Data Logger) que a su vez conectado a una computadora, permitió capturar los datos de carga y deformación. Las cargas medidas con la celda de carga fueron utilizadas para corroborar las lecturas del anillo de carga que como se mencionó antes poseían mayor precisión. Véase la Figura 150 y Figura 151.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

De acuerdo a la información proporcionada por el fabricante, se especifica un valor mínimo de módulo de ruptura de unos **70 kg/cm²**, y valores de módulos de elasticidad comprendidos entre **25,000 kg/cm²** y **40,000 kg/cm²**. Como puede observarse, los valores obtenidos para el módulo de ruptura son superiores a **70 kg/cm²** (véase nuevamente la Tabla 20) y los valores obtenidos para el módulo de elasticidad se encuentran dentro del rango especificado (véase la Tabla 21).

3.5.1.3 Hormigón de solera de fundación.

El modelo a escala natural fue construido sobre una solera de fundación de hormigón reforzado que posteriormente fue fijada a la losa de reacción del laboratorio a través del procedimiento que se describe en el siguiente apartado.

El requisito indispensable del hormigón de la solera de fundación era que tuviese una resistencia y rigidez suficientes como para considerar que el modelo se apoyaba sobre una base rígida, para lo cual se especificó una resistencia mínima a la compresión a los 28 días, f'_c , de **210 kg/cm²**. Sin embargo, con el fin de garantizar que el hormigón cumpliría con el requisito de resistencia especificado, la mezcla fue diseñada muy desfavorablemente.



Figura 152. Inicio del ensayo del hormigón.



Figura 153. Rotura probeta de hormigón.

La solera de fundación fue colada una semana antes de que se construyese el modelo, y se tomaron muestras de hormigón fresco que fueron ensayados a la edad de 7 y 28 días, y cuyos resultados se presentan en la Tabla 22. Dicho ensayo se realizó siguiendo la norma ASTM C 617-12, Método de Ensayo para Esfuerzo de Compresión de Morteros de Cemento Hidráulico (Usando Especímenes Cúbicos de 2 pulg. o 50 mm) [102]. De acuerdo a la información registrada en esta tabla, puede observarse que a la edad de 7 días el hormigón había alcanzado y superado la resistencia mínima a la compresión requerida. (Véase la Figura 152 y Figura 153).



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Tabla 22. Resistencia a compresión de hormigón de solera de fundación.

IDENTIFICACIÓN SEGÚN LABORATORIO		14LEG-CC001	14LEG-CC002	14LEG-CC003	14LEG-CC004
IDENTIFICACIÓN SEGÚN INTERESADO		1	4	2	3
FECHA DE ELABORACION ESPECIMEN		20/01/2014	20/01/2014	20/01/2014	20/01/2014
Área de cilindro	cm ²	174.9	177.0	177.6	177.4
Esfuerzo compresión	kgf/cm ²	280	266	340	351
Peso volumétrico	kgf/m ³	2234	2231	2205	2207
Edad de prueba	días	7	7	28	28
Revenimiento	cm	12.1	14.0	12.1	14.0
Esfuerzo compresión especificado	kgf/cm ²	210	210	210	210
Descripción		Área intermedia de SF. Entre 2.80 y 3.50	Área de contrafuerte sur	Área intermedia de SF. Entre 2.80 y 3.50	Área de contrafuerte sur

Al hormigón de la solera de fundación también se le determinó el módulo de Poisson y módulo de elasticidad, reportando el ensayo, 0.23 y 204,319 kgf/cm², respectivamente. (Véase la Figura 154 y Figura 155).

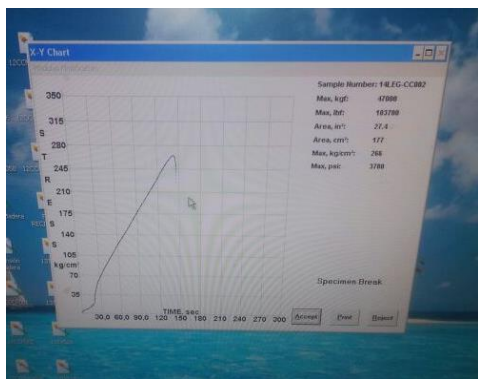


Figura 154. Gráfica de resistencia adquirida por el hormigón.



Figura 155. Recogida de datos durante el ensayo de hormigón.



3.5.2 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO (SECUENCIA CONSTRUCTIVA).

En este apartado se presenta una descripción del proceso de construcción del modelo a escala natural que fue posteriormente ensayado en el Laboratorio de Estructuras Grandes.

- a. El modelo a escala natural fue construido sobre una Solera de Fundación de concreto reforzado de 30 cm de ancho y 20 cm de altura, reforzada con 4 varillas # 3 (9.5 mm de diámetro) y con refuerzo transversal # 2 (6.4 mm de diámetro) a cada 15 cm.

Esta Solera de Fundación fue colada sobre unos elementos estructurales de hormigón reforzado prefabricados denominados Vigas de Cimentación los cuales se anclan rígidamente a la Losa de Reacción del laboratorio por medio de anclajes preforzados.

Las Vigas de Cimentación poseen a lo largo de su longitud una serie de huecos verticales convenientemente dispuestos, y fue precisamente a través de unos anclajes que se introducen en ellos (denominados llaves de cortante) y a los que se amarró el refuerzo de la Solera de Fundación, que en el proceso de colado fue posible unir rígidamente la Solera de Fundación con las Vigas de Cimentación. Véanse las Figura 156 y Figura 157.

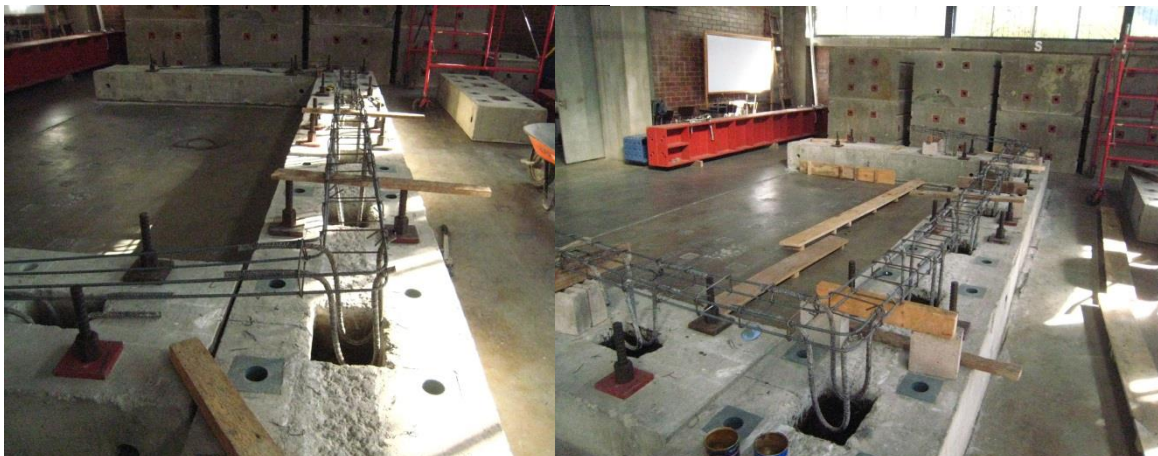


Figura 156. Colocación del refuerzo de la Solera de Fundación.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamiento de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]



Figura 157. Proceso de colado de la Solera de Fundación.

- b. Cuando la Solera de Fundación adquirió resistencia suficiente (se consideró satisfactorio esperar 7 días después del colado), se inició el proceso de montaje de la pared 1 del modelo. Se colocaron primero los tornillos de anclaje a distancias modulares de 61 cm, y posteriormente se insertó en ellos el perfil de anclaje PA que había sido previamente agujerado. A continuación, se colocaron las tuercas para asegurar el anclaje. Véase la Figura 158.



Figura 158. Colocación del Perfil de Anclaje de la Pared 1 sobre la Solera de Fundación.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

- c. Después de haber fijado el perfil de anclaje inferior se procedió a colocar los perfiles verticales intermedios, PI, y de encuentro, PE, a distancias modulares de 61 cm. Estos perfiles verticales se encajaban dentro de los perfiles de anclaje y la unión se practicaba a través de dos tornillos que unían los patines del perfil vertical con los patines del perfil de anclaje. Véase la Figura 159.



Figura 159. Fijación de los perfiles verticales de la Pared 1 al Perfil de Anclaje.

- d. Se colocó el perfil de anclaje superior de la pared 1 con la finalidad de brindarle estabilidad a la retícula de esta pared mientras se construían las paredes 2 y 3 del modelo. Véase la Figura 160.



Figura 160. Colocación del perfil de anclaje superior de la Pared 1.

- e. Se construyeron las retículas de las paredes 2 y 3 del modelo en forma análoga a la descrita anteriormente. Véase la Figura 161).



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamiento de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]



Figura 161. Construcción de retículas de paredes laterales y detalles de esquina superior.

- f. Se colocaron las láminas de fibrocemento sobre la superficie exterior de las retículas de las paredes, uniéndolas a través de tornillos a distancias de aproximadamente 30.5 cm a lo largo de los perfiles horizontales y verticales que les daban soporte. Véanse la Figura 162 y Figura 163.



Figura 162. Fijación de las láminas de fibrocemento a las retículas de las paredes.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]



Figura 163. Modelo sin cubierta de techo.

- g. La retícula de la estructura de techo fue construida aparte sobre el piso del laboratorio (véanse la Figura 164), y posteriormente fue colocada en su lugar de emplazamiento (véanse la Figura 165) uniéndolas con los perfiles de anclaje superiores de las paredes. Posteriormente, se fijaron las láminas de fibrocemento a la retícula del techo siguiendo un patrón muy similar al descrito para las paredes (véase la Figura 166).



Figura 164. Construcción de la retícula de la estructura del techo.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]



Figura 165. Colocación de la retícula de la estructura del techo.



Figura 166. Colocación de las láminas de fibrocemento de la estructura del techo y vista del modelo completo.



3.5.3 INSTRUMENTACIÓN DEL MODELO A ESCALA NATURAL.

3.5.3.1 Ubicación de transductores de desplazamiento y desplazamiento de control.

En consistencia con el comportamiento estructural que se observó en el modelo analítico desarrollado, se seleccionó como desplazamiento para el control del ensayo aquél que corresponde al centro del borde superior de la pared 1. Además de ser el máximo desplazamiento esperado en cualquier etapa de carga, es el desplazamiento que fue utilizado para caracterizar la rigidez del modelo.

De acuerdo con el modelo analítico desarrollado, el desplazamiento correspondiente a la demanda del modelo fue estimado en **9 mm**. Se decidió colocar, lo más cerca que fue posible del desplazamiento de control, tres transductores de desplazamiento capaces de registrar valores hasta de **10 mm, 25 mm y 200 mm**, y así registrar desplazamientos en diferentes fases de comportamiento del modelo: elástica o de servicio, inelástica y de resistencia última.

La Figura 167 presenta un esquema de la colocación de los distintos transductores de desplazamiento colocados a la pared 1 en su cara oeste. Nótese que además de los 3 transductores antes mencionados, se colocaron otros 6 con capacidades de medición de **100 mm** y otros 5 con capacidades de medición de **50 mm**.

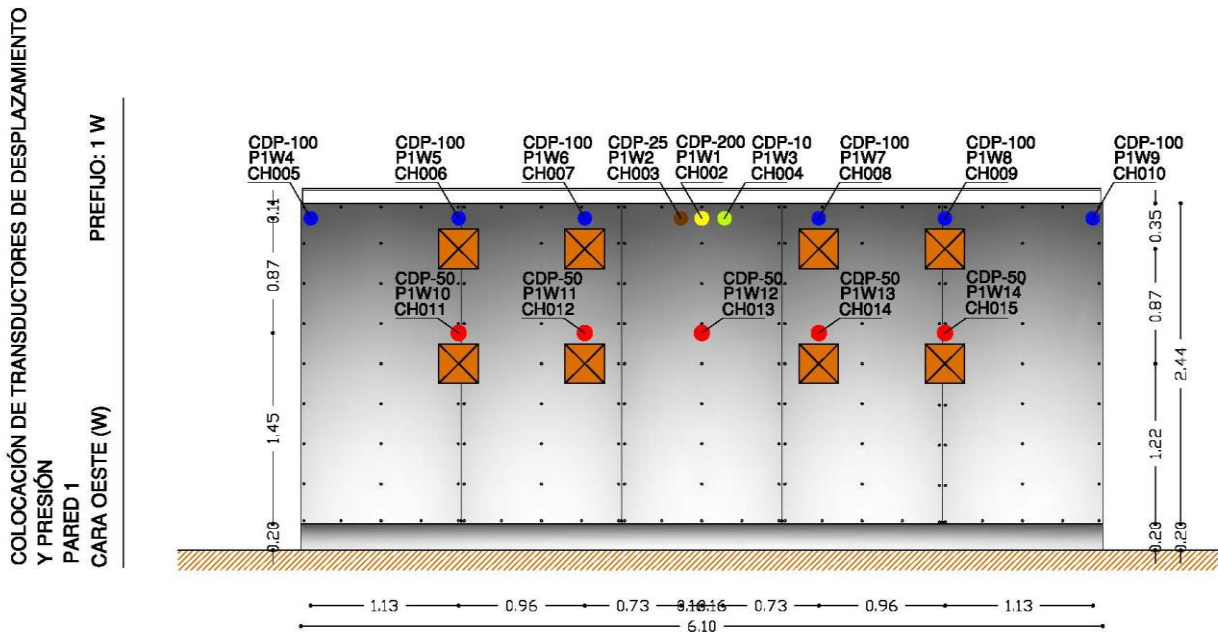


Figura 167. Ubicación y capacidades de medición de Transductores de Desplazamiento.



Con la finalidad de corroborar que no existiesen deslizamientos relativos entre los anclajes del modelo y la viga de cimentación, fueron colocados otros dos transductores de desplazamiento con capacidades de medición de **10 mm** haciendo contacto con los dos anclajes centrales de la pared 1. Véase la Figura 168.

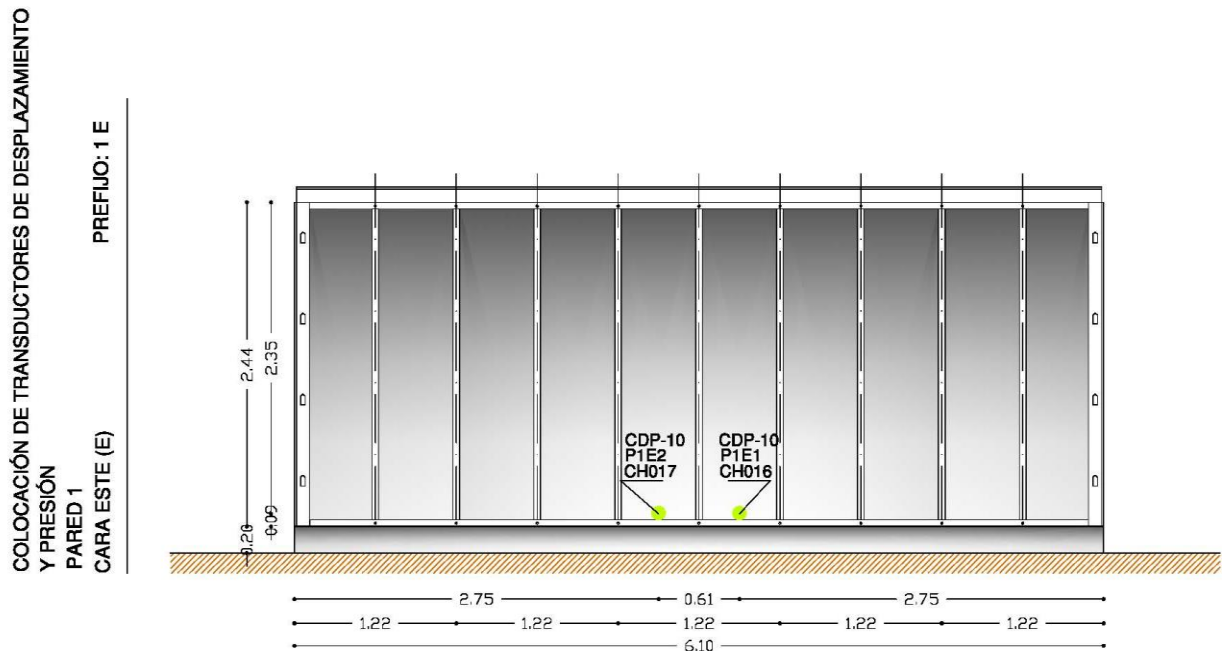


Figura 168. Transductores de Desplazamiento en anclajes a la cimentación.

3.4.3.2 Ubicación de las galgas extensométricas.

Tomando en cuenta que por limitaciones de tiempo y recursos solo iba a ser posible ensayar un modelo, se decidió colocar el mayor número de galgas extensométricas que permitía el Colector de Datos (*Data Logger*).

Las galgas extensométricas se colocaron tratando de distribuirlos uniformemente en los perfiles de acero y en las láminas de fibrocemento para tratar de capturar el comportamiento previsto por el modelo analítico y que fuera descrito en el apartado 3.4: el comportamiento de los PE entre la base y la estructura de techo; el comportamiento del PA ubicado en el borde superior de la pared 1 entre las paredes 2 y 3, y el comportamiento de las láminas de fibrocemento entre los PE.

Debido a las limitaciones en la forma de aplicación de las cargas (la carga distribuida se modela como 8 cargas concentradas), estaba previsto que las galgas extensométricas colocadas al centro de las láminas difícilmente recogerían el comportamiento de placa. Sin embargo, se decidió mantener la disposición de las galgas pensando en la posibilidad de capturar cambios de comportamiento abruptos en caso de fallas locales, como por ejemplo, desprendimientos de los tornillos o deformaciones excesivas.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Para la adecuada identificación de las galgas extensométricas se adoptó un código que permitió registrar simultáneamente el número de la pared (1,2 ó 3); la cara de la pared en la que se colocó (norte, sur, este u oeste); la orientación en la que la galga extensométricas realizó la medición y un número correlativo. Toda esta información aparece resumida en la Figura 169, Figura 170, Figura 171 y Figura 172.

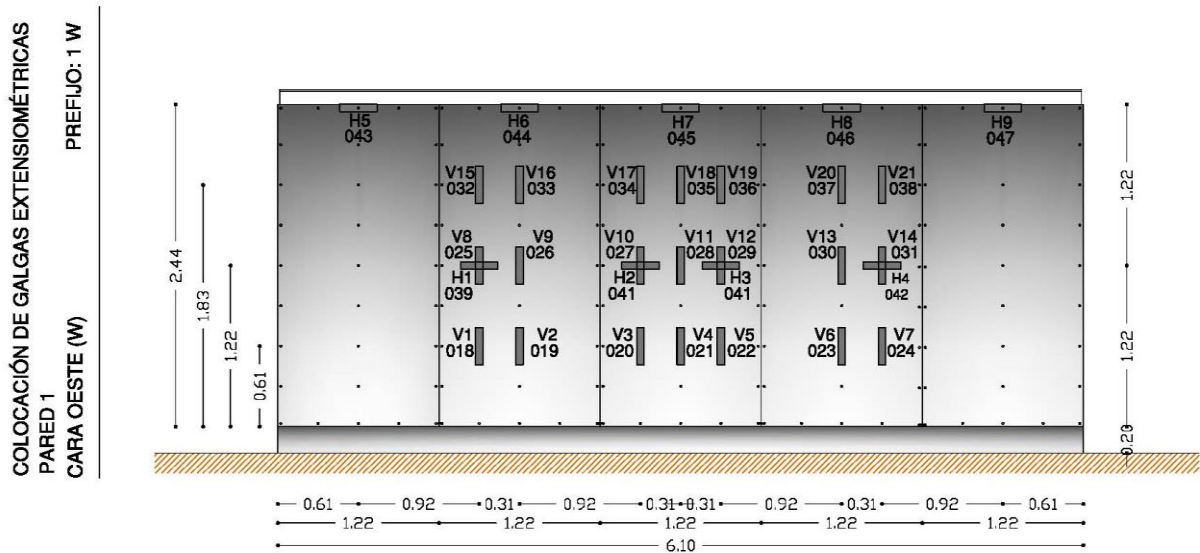


Figura 169. Identificación de las galgas extensométricas en la Pared 1, Cara Oeste.

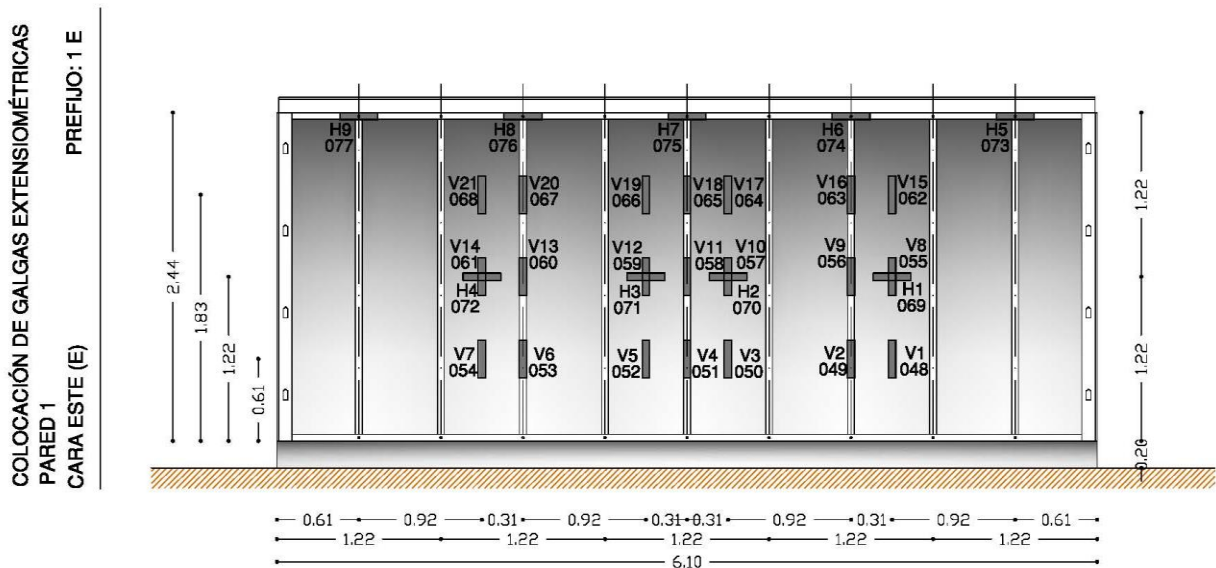


Figura 170. Identificación de las galgas extensométricas en la Pared 1, Cara Este.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

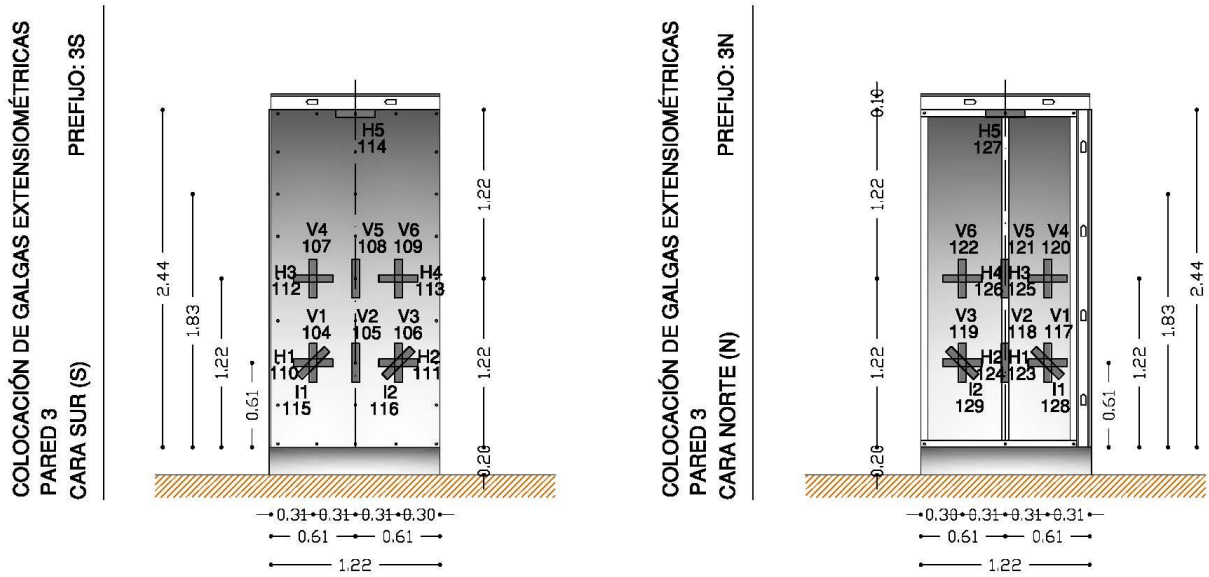


Figura 171. Identificación de las galgas extensométricas en la Pared 2, Caras Norte y Sur.

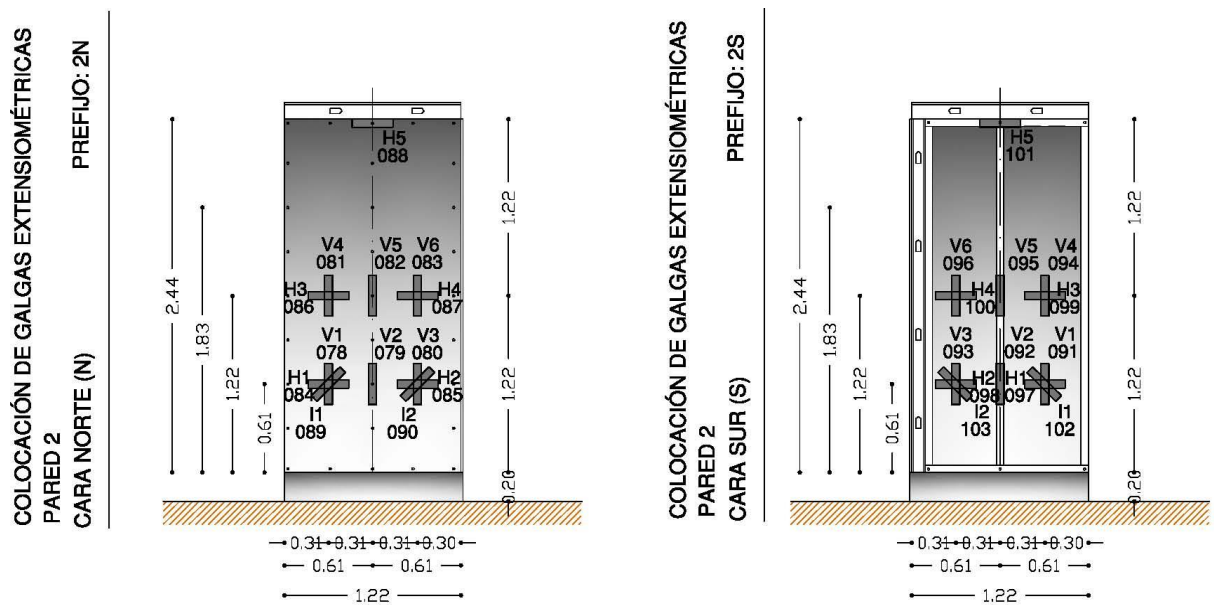


Figura 172. Identificación de las galgas extensométricas en la Pared 3, Caras Sur y Norte.



3.5.4 SISTEMA DE CARGA.

Crterios y consideraciones relacionados con la aplicación de la carga.

En el Laboratorio de Estructuras Grandes (LEG), el sistema de carga que se utiliza en ensayos que requieren aplicar la carga perpendicular al plano mayor de una pared, no permite distribuirla uniformemente en toda la superficie de la misma, y la mejor forma en la que puede aplicarse es a través de un sistema de pistones hidráulicos fijados a marcos que distribuyen la carga a través de unas almohadillas de neopreno que se colocan en uno de los extremos de los pistones (véase la Figura 173). Los pistones son capaces de aplicar hasta 5,000 kg de fuerza, y las almohadillas de neopreno tienen una superficie de contacto de 30.0 cm x 30.0 cm.

Los pistones, en el otro extremo, se conectan a mangueras hidráulicas a través de las cuales se aplica la presión por medio de una bomba que se acciona manualmente, y la presión aplicada se mide a través de celdas de presión (véanse la Figura 173 y Figura 174). Sin embargo, es importante mencionar aquí que la precisión con la que puede medirse la carga aplicada es función del número de pistones hidráulicos utilizados y de la capacidad de la celda de presión.



a) Vista general de marco de carga

b) Vista en detalle del sistema de carga.

Figura 173. Sistema de carga actuando sobre el modelo.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

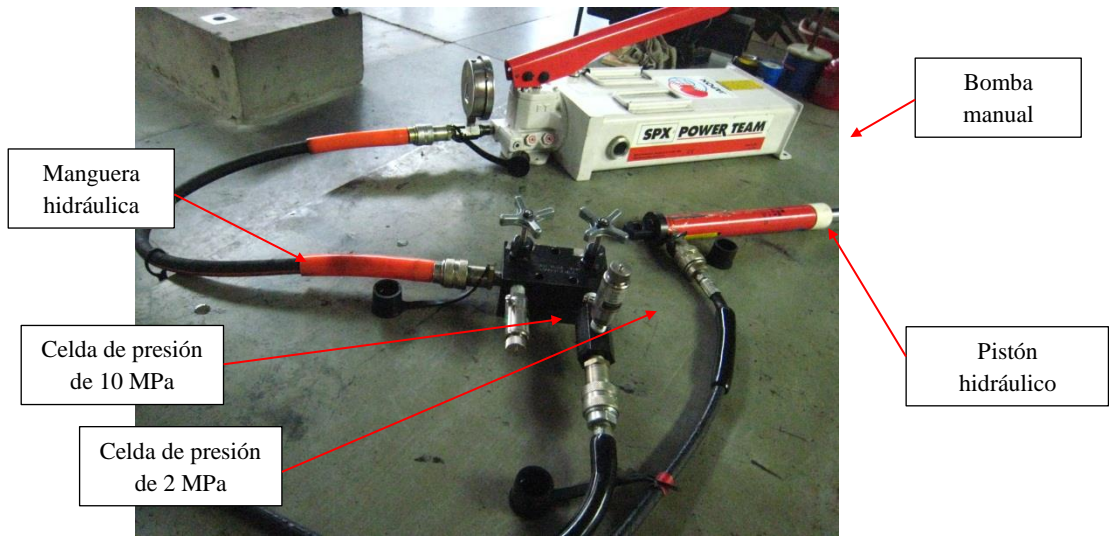


Figura 174. Bomba hidráulica, mangueras y celdas de presión.

El sistema de carga se diseñó para acomodar 8 pistones hidráulicos de tal forma que la distribución de la carga aplicada sobre la pared 1 obedeció al patrón que esquematiza la Figura 175.

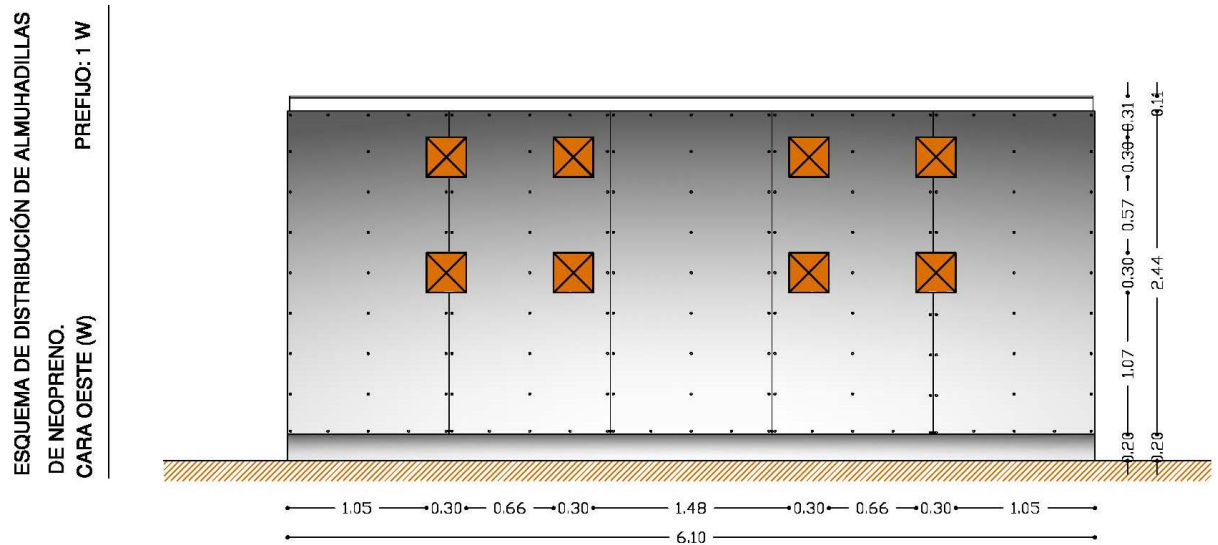


Figura 175. Esquema de la distribución de la carga aplicada sobre la pared 1.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Uno de los aspectos más importantes considerados en la planificación del ensayo a escala natural fue la posibilidad de aplicar y registrar con precisión cargas relativamente pequeñas (y las deformaciones correspondientes) comparadas con la demanda del mismo, pues uno de los objetivos del proyecto de investigación es la caracterización del comportamiento estructural del sistema constructivo especialmente ante cargas de servicio.

Tal y como se mencionó en el apartado 3.3.3, la demanda sobre el modelo experimental fue fijada en 570 kg, carga que demandaba una precisión que no era posible obtener con la capacidad de las celdas de presión existentes en el LEG (la de menor capacidad, 10 MPa) y con el número de pistones hidráulicos necesarios para distribuir la carga aplicada en la forma prevista (8). Así, se estimó que la precisión de las mediciones en estas circunstancias se encontraba por encima de los 500 kg.

Debido a lo anterior, fue necesario adquirir una celda de presión de 2 MPa de capacidad, con la cual la precisión de las mediciones se encontraba por encima de los 20 kg. Esta celda de carga permitió medir cargas hasta de 188 kg, y resultó de muchísima utilidad para tener datos precisos de carga en las primeras fases del ensayo. Para la aplicación de cargas superiores, se utilizó la celda de presión de 10 MPa con la cual podían medirse cargas hasta de 4,700 kg.

Tanto las celdas de presión como los transductores de desplazamiento y los medidores de deformación unitaria, fueron conectados a un recolector de datos (ver Figura 176) y éste a una computadora, registrándose datos de manera continua durante todo el ensayo.

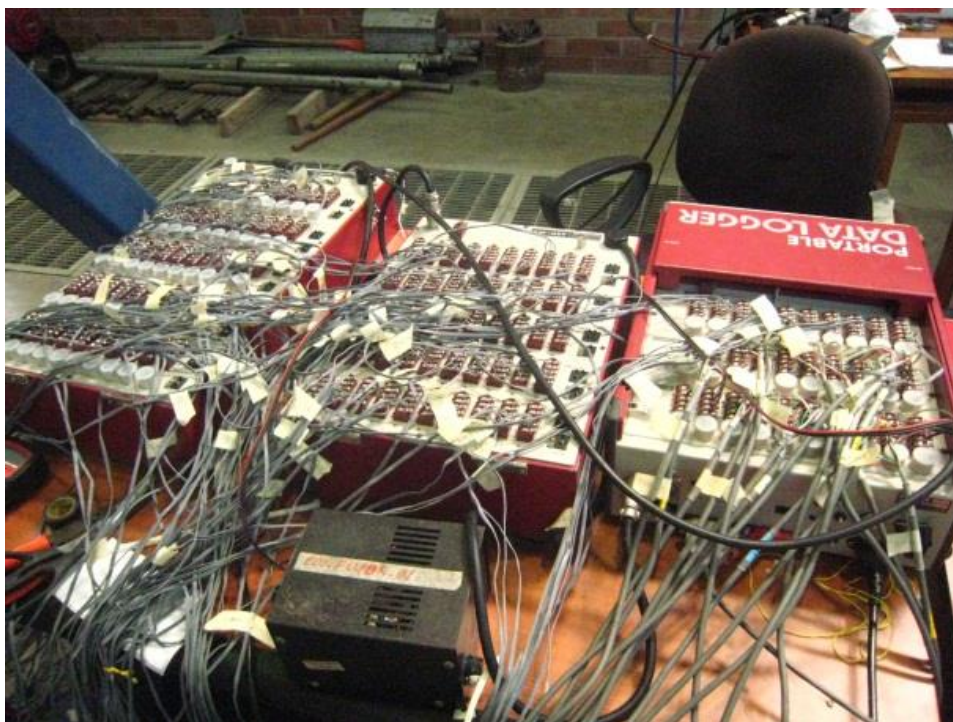


Figura 176. Recolector de datos (*Data Logger*).



3.5.5 HISTORIA DE DESPLAZAMIENTOS PROYECTADA.

Ante la incertidumbre del comportamiento real que tendría el modelo a escala natural, se decidió llevar la prueba de la manera más gradual que resultara posible, teniendo en consideración la naturaleza de la demanda que resultó crítica (carga de viento); la magnitud de la carga correspondiente a la demanda (**570 kg**) y el desplazamiento correspondiente a tal demanda obtenido con el modelo analítico (**8.97 mm**).

Cada ciclo de carga fue identificado como aquella etapa del ensayo que estaba compuesto por dos fases: la primera en la que se aplicaba la carga hasta llegar lo más cerca posible al desplazamiento nominal previsto, identificada como **fase de carga**, y la segunda en la que el modelo se descargaba por completo, identificada como **fase de descarga**. Antes de la elaboración del ensayo se proyectó realizar inicialmente 12 ciclos de carga, 2 por cada desplazamiento nominal de **10 mm, 20 mm, 40 mm, 60 mm, 80 mm y 100 mm**, y sobre la base del comportamiento exhibido en ellos, decidir acerca de los subsiguientes ciclos.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

3.6 RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO DEL MODELO A ESCALA NATURAL.

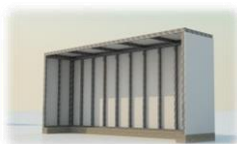
3.6.1 HISTORIA DE DESPLAZAMIENTOS Y CARGAS CORRESPONDIENTES.

La Tabla 23 resume la información más relevante relacionada con la historia de los desplazamientos y cargas correspondientes registradas en el desarrollo de la prueba (ver Figura 177), en donde los desplazamientos corresponden al desplazamiento de control, esto es, al centro del borde superior de la pared 1, y las cargas a la fuerza externa total ejercida por el sistema de los ocho pistones. En esta tabla:

- δ_{ni} . Incremento de desplazamiento nominal propuesto para el ciclo de carga actual.
- Δ_{ni} Desplazamiento nominal propuesto para el ciclo de carga actual.
- Δ_{oi} Deformación permanente en el ciclo de carga anterior, y que se constituye en la deformación inicial del ciclo de carga actual.
- P_{oi} Carga correspondiente a Δ_{oi} .
- Δ_i Deformación correspondiente al final de la fase de carga del ciclo actual.
- P_i Carga correspondiente a Δ_i .

Tal y como se presenta en esta tabla, una de las características más notables del comportamiento estructural del modelo fue el apareamiento de deformaciones permanentes crecientes con el incremento de los desplazamientos nominales propuestos. Esta característica es lógica y predecible tomando en cuenta que el tipo de conexiones practicadas en la base permiten el giro y se deforman con mucha facilidad.

Figura 177. Hojas de toma de datos en el ensayo a escala natural.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Ciclo de Carga	δ_{ni} (mm)	Δ_{ni} (mm)	Δ_{oi} (mm)	P_{oi} (kg)	Δ_i (mm)	P_i (kg)	Observaciones o notas
1	1.000	1.000	-	-	1.201	75.73	
2	1.000	1.000	-0.082	0.58	1.048	74.97	
3	2.000	2.000	-0.115	0.93	1.881	99.49	
4	2.000	2.000	0.207	0.16	3.088	129.30	
5	4.000	4.000	0.981	1.87	3.950	152.26	
6	4.000	5.500	1.126	-5.92	5.405	188.18	
7	6.000	7.200	1.188	2.55	7.399	240.79	
8	6.000	7.900	1.873	7.42	7.747	247.16	
9	8.000	9.950	1.962	5.88	8.355	295.01	Se retira CDP 10
10	8.000	11.000	2.972	25.50	11.196	329.03	Medidas con CDP 25
11	10.00	13.300	3.248	23.20	13.272	367.85	
12	10.00	14.000	3.928	6.17	14.060	390.30	
13	20.00	20.000	4.426	5.19	20.436	533.05	
14	20.00	20.000	6.794	8.80	19.998	505.92	
15	25.00	25.000	7.044	0.13	23.390	609.28	Se retira CDP 25
16	25.00	25.000	8.800	16.32	24.820	908.00	Medidas con CDP 200
17	30.00	30.000	9.060	30.09	30.140	1054.70	
18	30.00	30.000	11.260	31.62	29.960	1037.87	
19	40.00	40.000	9.380	41.82	39.320	1361.22	
20	40.00	40.000	15.360	22.44	40.100	1292.37	
21	50.00	50.000	16.520	27.54	50.060	1592.76	
22	50.00	50.000	19.860	0.00	50.040	1502.49	
23	60.00	60.000	21.720	29.07	55.020	1660.08	Falla de lámina

Tabla 23. Historia de desplazamientos y cargas correspondientes en el desarrollo del ensayo.

En los ciclos 6 al 12, cuando los desplazamientos nominales propuestos estaban por encima y por debajo de los **9,0 mm**, (esto es, del desplazamiento correspondiente a la demanda crítica obtenido con el modelo analítico) el desplazamiento al que se procuraba llegar en un determinado ciclo de carga se estimaba como el incremento de desplazamiento nominal más la deformación permanente sufrida hasta el ciclo anterior, (por eso, $\delta_{ni} \neq \Delta_{ni}$). Esta práctica se abandonó a partir del ciclo de carga 13, a partir del cual los incrementos de los desplazamientos nominales eran ya considerables, (esto es, a partir de allí, nuevamente, $\delta_{ni} = \Delta_{ni}$).

Se realizaron un total de 22 ciclos de carga completos, llegando a imponer desplazamientos cercanos a los **5,0 cm** con cargas superiores a los **1.500 kg**, y la falla del modelo se presentó en la fase de carga correspondiente al ciclo 23, ante un desplazamiento cercano a los **5,5 cm** y una carga de aproximadamente **1.660 kg**.



3.5.2 DESCRIPCIÓN DE LA EVOLUCIÓN DEL DAÑO Y DE LA FALLA DEL MODELO.

En este apartado se presenta una descripción de los daños que se fueron observando en el modelo a medida se desarrollaba el ensayo y se describe además la falla que se presentó en el mismo.

- a. Hasta el ciclo de carga 6, no se observó daño alguno en el modelo.
- b. Al final de la fase de carga del ciclo 7, en la base de la pared 1, se aprecia la rotación de los perfiles verticales y la torcedura del perfil de anclaje (ver Figura 178). Se observa además una ligera separación entre los perfiles de acero verticales intermedios y las láminas de fibrocemento (ver Figura 179).



Figura 178. Rotación perfil de anclaje.



Figura 179. Separación lámina-perfil.

- c. Al final de la fase de carga del ciclo 12, se aprecia una torsión del perfil de anclaje PA superior de la pared 1, que es mucho más evidente en el tramo central (ver Figura 180).



Figura 180. Torsión perfil de anclaje PA.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

- d. Al final de la fase de carga del ciclo 18, ante una carga ligeramente superior a los **1.000 kg**, en la pared 1 se hace evidente un levantamiento de unos **6,0 mm**, prácticamente uniforme en toda su longitud (Véanse las Figura 181 y Figura 182). Las paredes 2 y 3 presentan levantamientos variables, cercanos a los **6.0 mm** en los extremos que se unían a la pared 1, y disminuyendo hacia sus otros extremos (Véanse las Figura 183 y Figura 184).

Este patrón de levantamiento general de todo el modelo fue incrementándose en ciclos posteriores debido al incremento de las cargas aplicadas. Al final de la fase de carga del ciclo 22, ante una carga muy cercana a los **1,500 kg**, se registró un levantamiento en la pared 1 de unos **8.0 mm**. (Véanse nuevamente la Figura 181 y Figura 183).

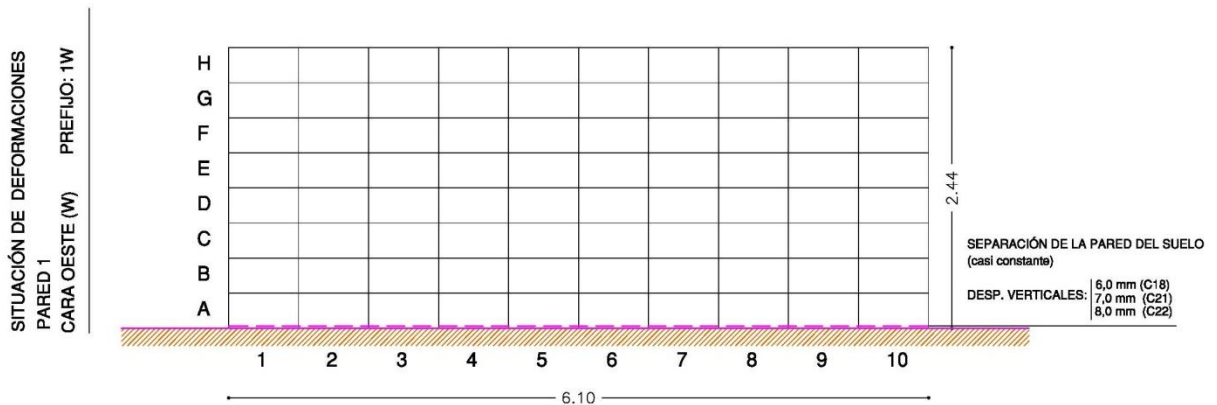


Figura 181. Patrón del levantamiento de la pared 1.



- a) Levantamiento de Pared 1 con carga. b) Desplazamiento remanente Pared 1.

Figura 182. Sistema de carga actuando sobre la Pared 1. Ciclo 18.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

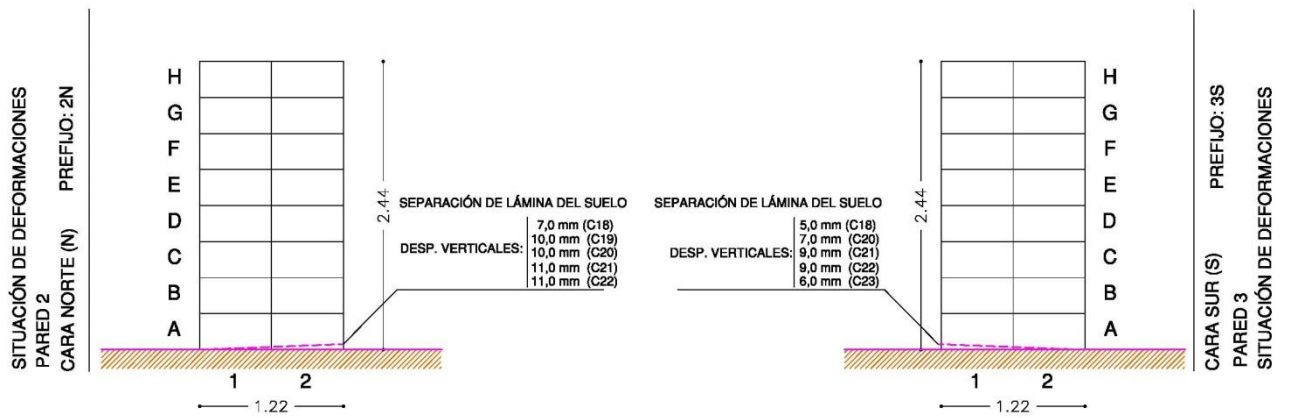


Figura 183. Patrón de los levantamientos de las paredes 2 y 3.

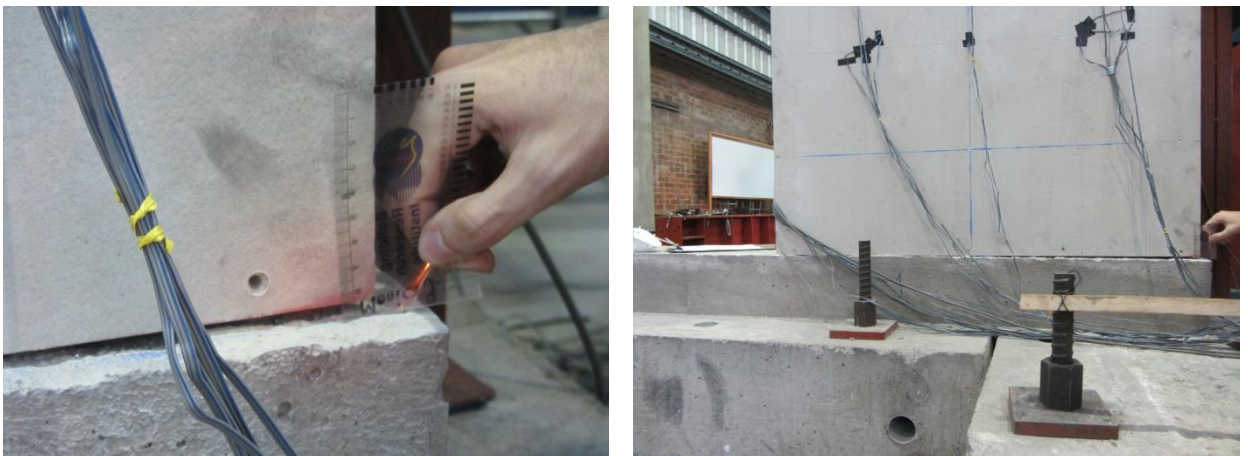


Figura 184. Sistema de carga actuando sobre la Pared 2. Ciclo 18.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

- e. Al final de la fase de carga del ciclo 19, se presenta la primera fisura en una de las láminas de fibrocemento en la cara este de la pared 1, identificada como grieta G1, y que en ciclos posteriores se propaga y se ensancha (Véanse la Figura 185 y Figura 186). Esta grieta aparece alejada a una de las almohadillas de los gatos, pero muy cerca de donde se encontraba uno de los perfiles de acero verticales.

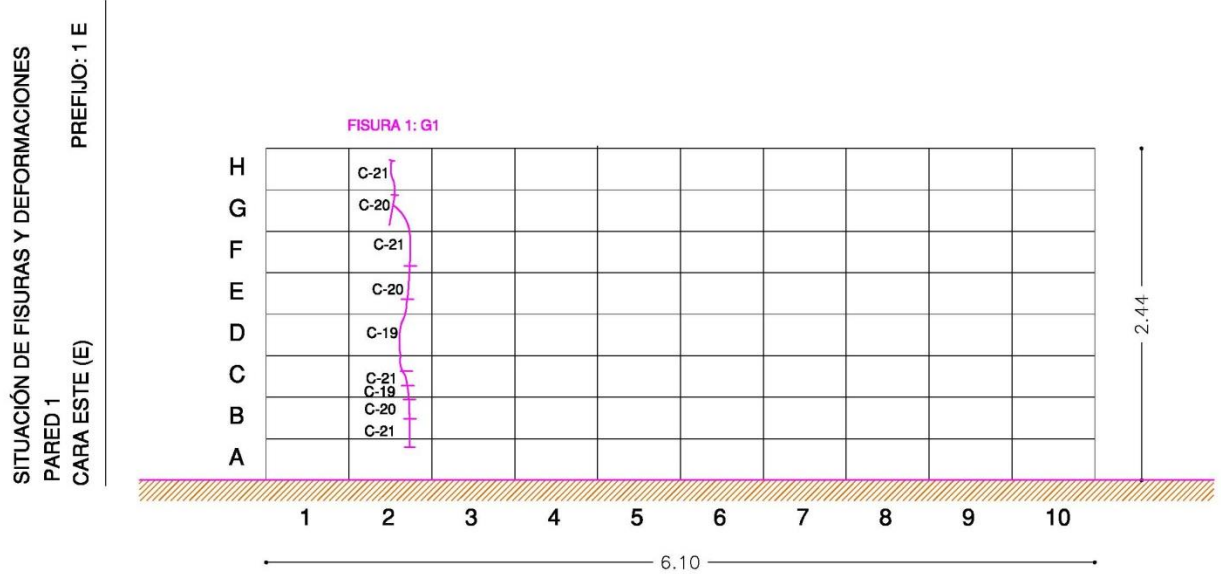


Figura 185. Agrietamientos identificados en la cara este de la pared 1.

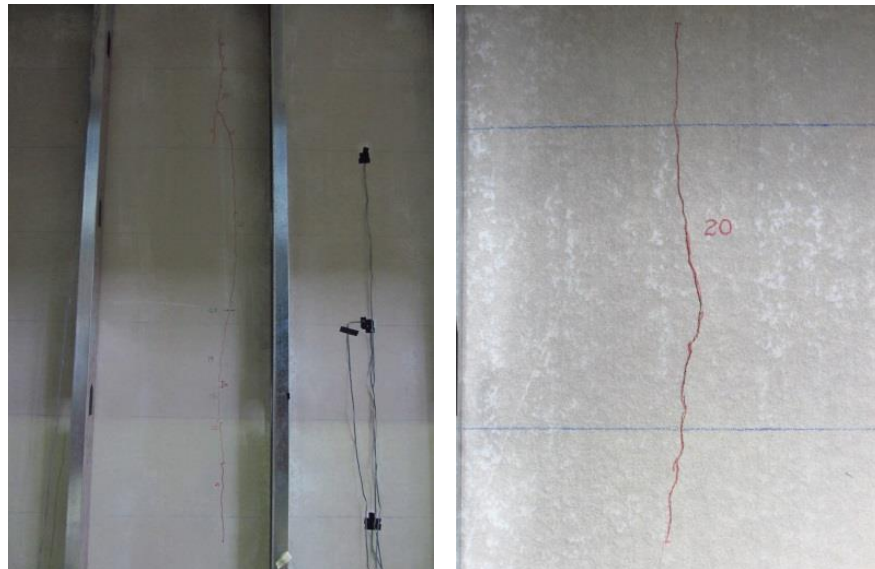


Figura 186. Fisura G1 en la cara este de la pared 1.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

En esta misma etapa, la estructura de techo se flexiona hacia arriba de tal forma que pierde el contacto con los dos soportes verticales proporcionados. Este comportamiento se hace más evidente en ciclos posteriores debido al incremento de las cargas, y al final del ciclo de carga 22 se registran deflexiones o flechas hacia arriba cercanas a los **20 mm** en los puntos de soporte. (Véanse la Figura 187 y Figura 188).

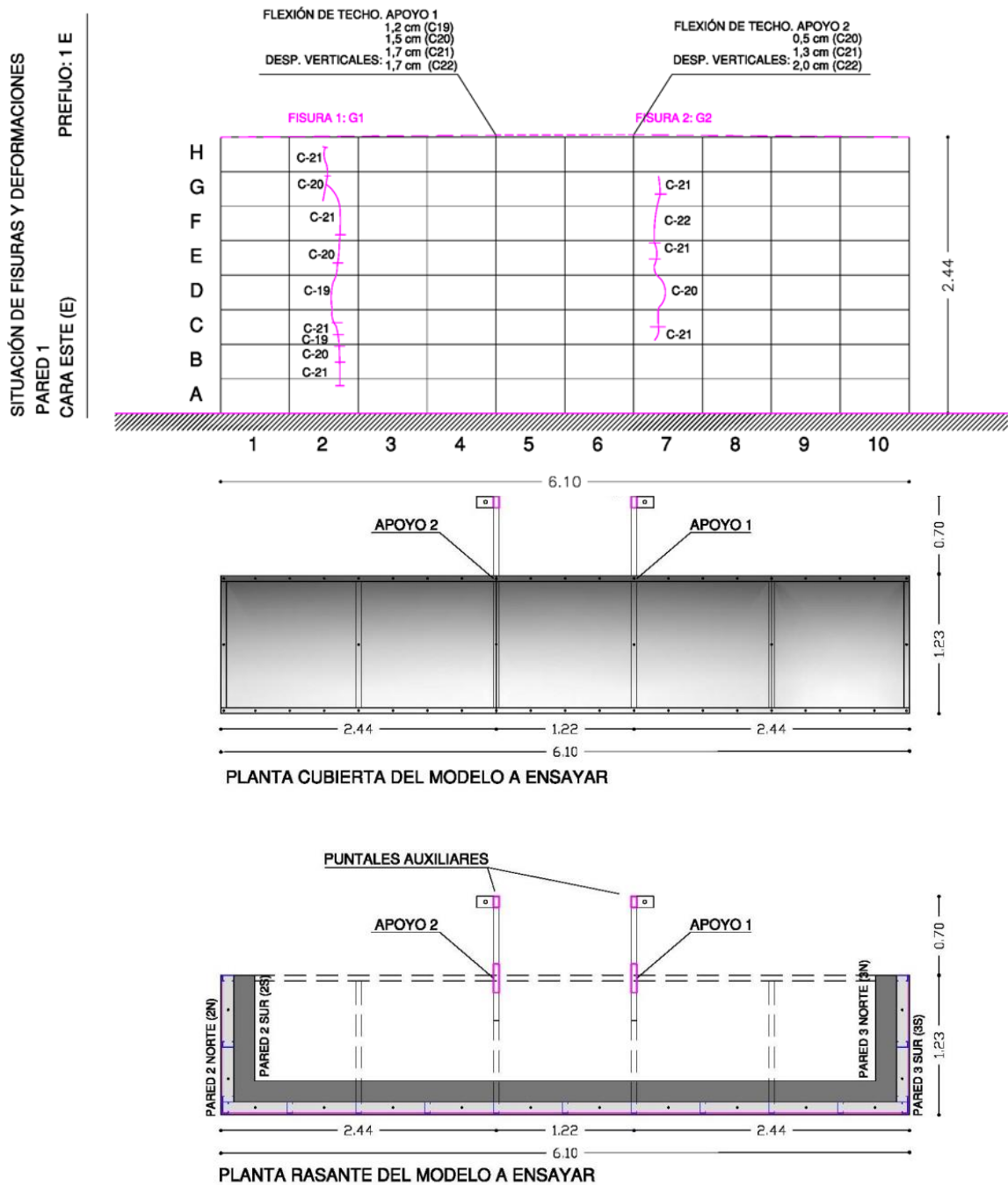


Figura 187. Patrón de deflexión de la estructura de techo.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]



Figura 188. Levantamiento de perfil de anclaje en pared 1 cara este.

También en esta etapa del ensayo empiezan a producirse separaciones entre los perfiles de acero y las láminas de fibrocemento en las intersecciones de la Pared 1 con las paredes transversales, separaciones que fueron incrementándose en ciclos de carga posteriores (Véanse la Figura 189 y Figura 191).



Figura 189. Separación del perfil y lámina en la intersección de las paredes 1 y 3.

- f. Al final de la fase de carga del ciclo 20, se presenta otra fisura en otra de las láminas de fibrocemento en la cara este de la pared 1, identificada como grieta G2, y que en ciclos posteriores se extiende y ensancha (véase nuevamente la Figura 187 y la Figura 190). Esta grieta aparece también aledaña a una de las almohadillas de los gatos, pero no existía un perfil de acero vertical tan cercano como en el caso de la grieta G1.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

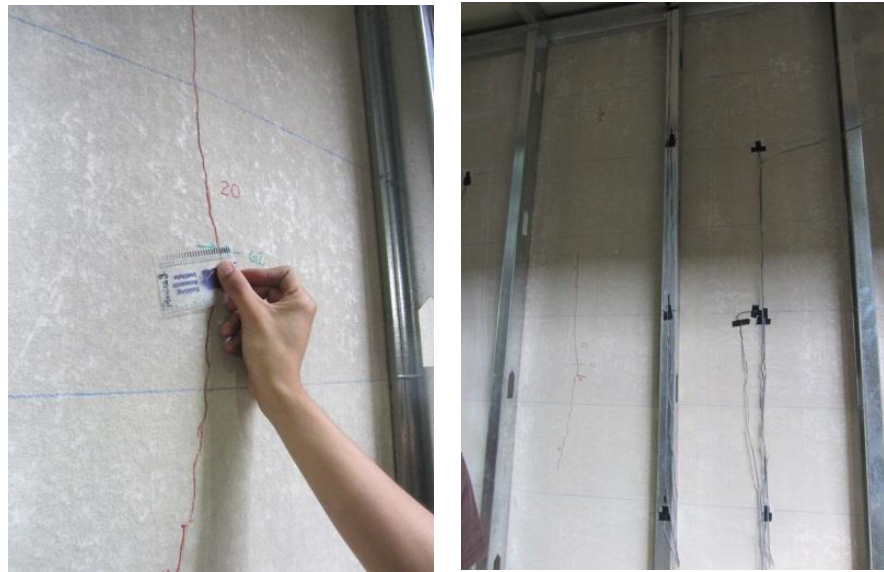


Figura 190. Fisura G2 en la cara este de la pared 1.

69. Al final de la fase de carga del ciclo 21, ante una carga cercana a los **1,600 kg**, aparecen las grietas G3 y G4 en la cara oeste de la pared 1. Ambas grietas corresponden, respectivamente, a la penetración a lo largo del espesor de las láminas de fibrocemento de las grietas G1 y G2. Véase la Figura 191.

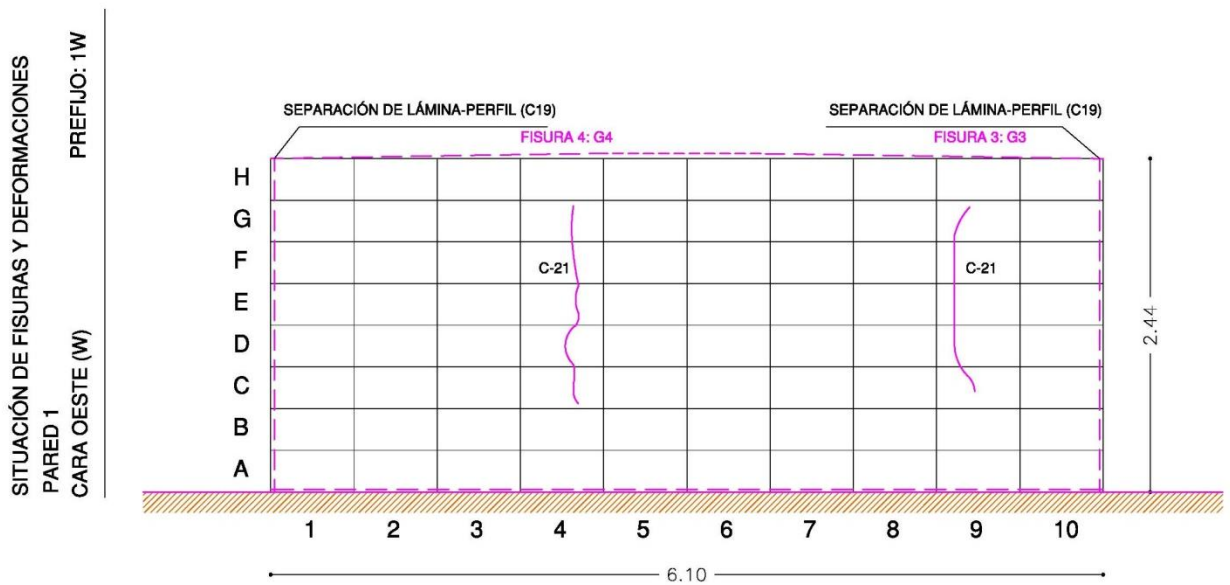


Figura 191. Agrietamientos identificados en la cara oeste de la pared 1.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

- h. Al final de la fase de carga del ciclo 22, la rotación de la pared 1 respecto a su base es evidente y produce desplazamientos al nivel de la estructura de techo de unos **60 mm**. Las paredes 2 y 3 se deforman acomodándose a tal giro. (Véanse la Figura 192 y Figura 193).

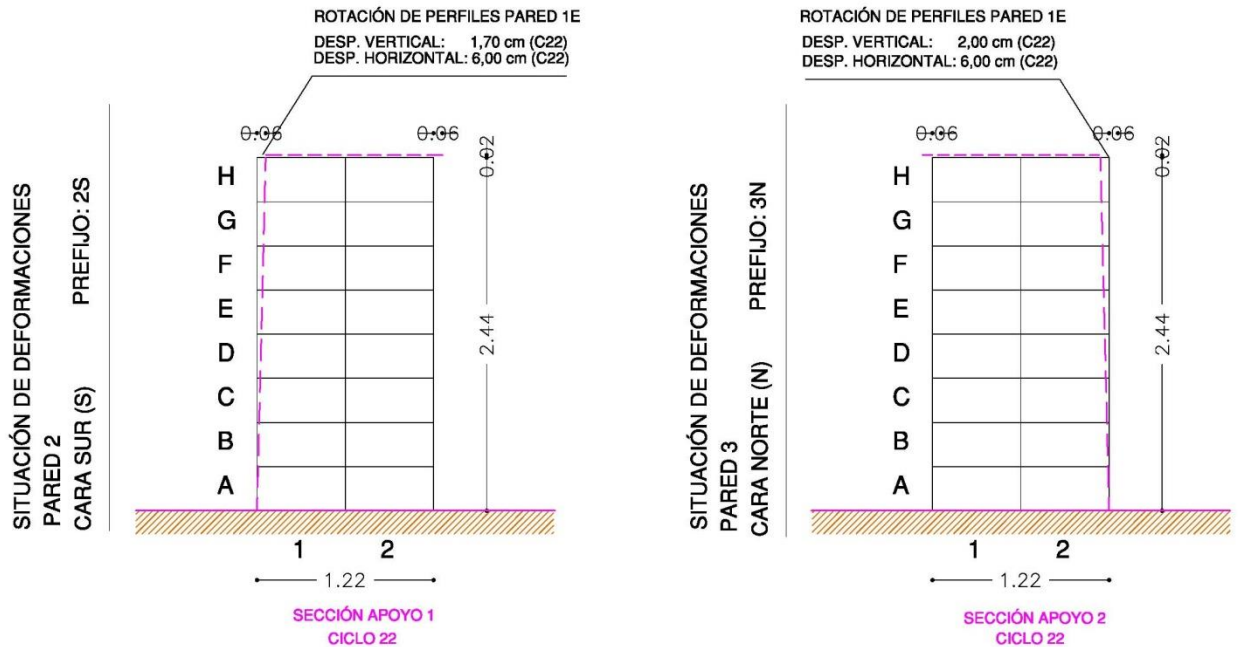


Figura 192. Rotación y desplazamiento de la pared 1a final de la fase de carga del ciclo 22.

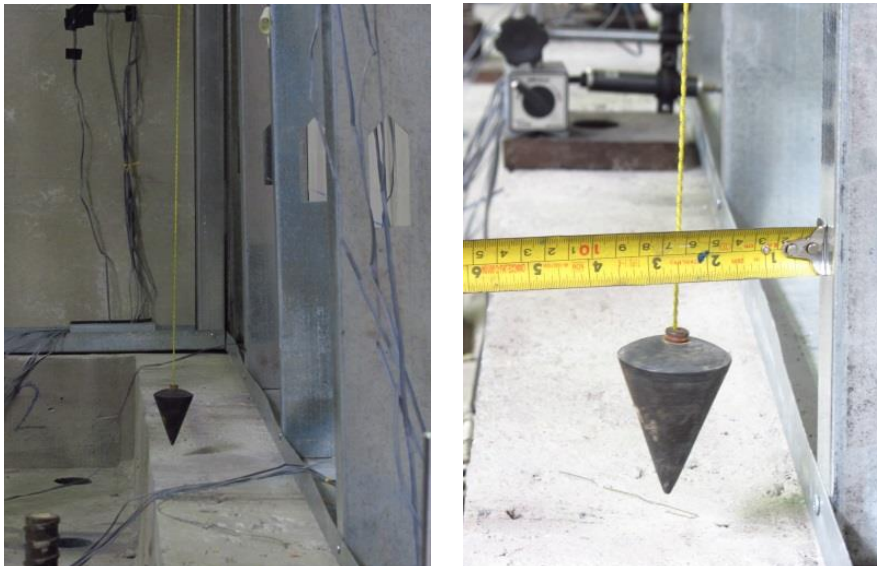


Figura 193. Desplazamiento experimentado por la pared 1 tras la rotación en su base.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

- i. En la fase de carga del ciclo 23, se presenta el colapso de la lámina de fibrocemento, y que ocurre en el lugar donde habían aparecido las grietas G2 y G4. . (Véanse la Figura 194 y Figura 195).



Figura 194. Colapso de la fisura G2 en la cara este de la pared 1.



Figura 195. Colapso de la fisura G4 en la cara oeste de la pared 1.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamiento de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

- j. Como consecuencia del colapso de la lámina, los perfiles de encuentro PE colindantes sufren una deformación permanente. Así mismo, el perfil de anclaje PA de la base experimenta una separación considerable de la base. (Véase la Figura 196).



Figura 196. Deformaciones permanentes experimentadas por distintos perfiles de la estructura después del colapso de la lámina de fibrocemento.



3.6.3 RELACIONES CARGA – DESPLAZAMIENTO OBTENIDAS.

La Figura 197 presenta las relaciones carga – desplazamiento que fueron obtenidas en los distintos ciclos de carga del ensayo, en donde la carga corresponde a la carga total aplicada y el desplazamiento corresponde al centro del borde superior de la pared 1. La Figura 198 presenta la envolvente correspondiente.

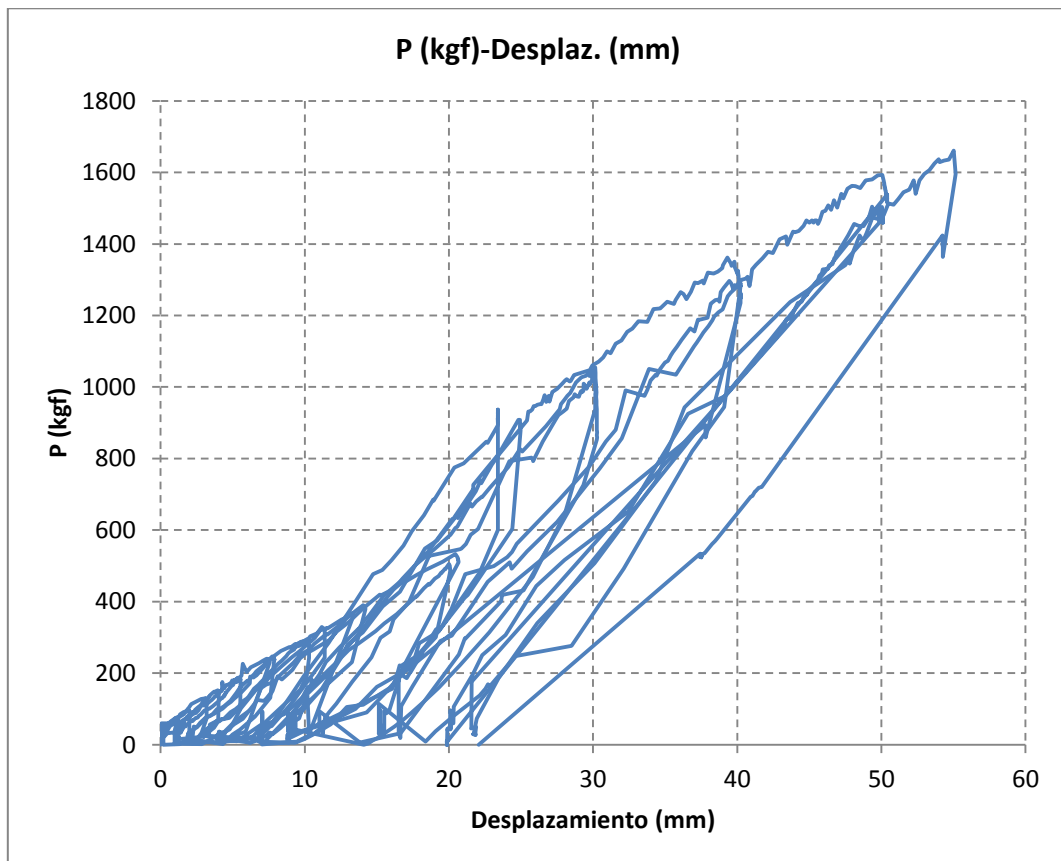


Figura 197. Relaciones Carga – Deformación en los distintos ciclos de carga.

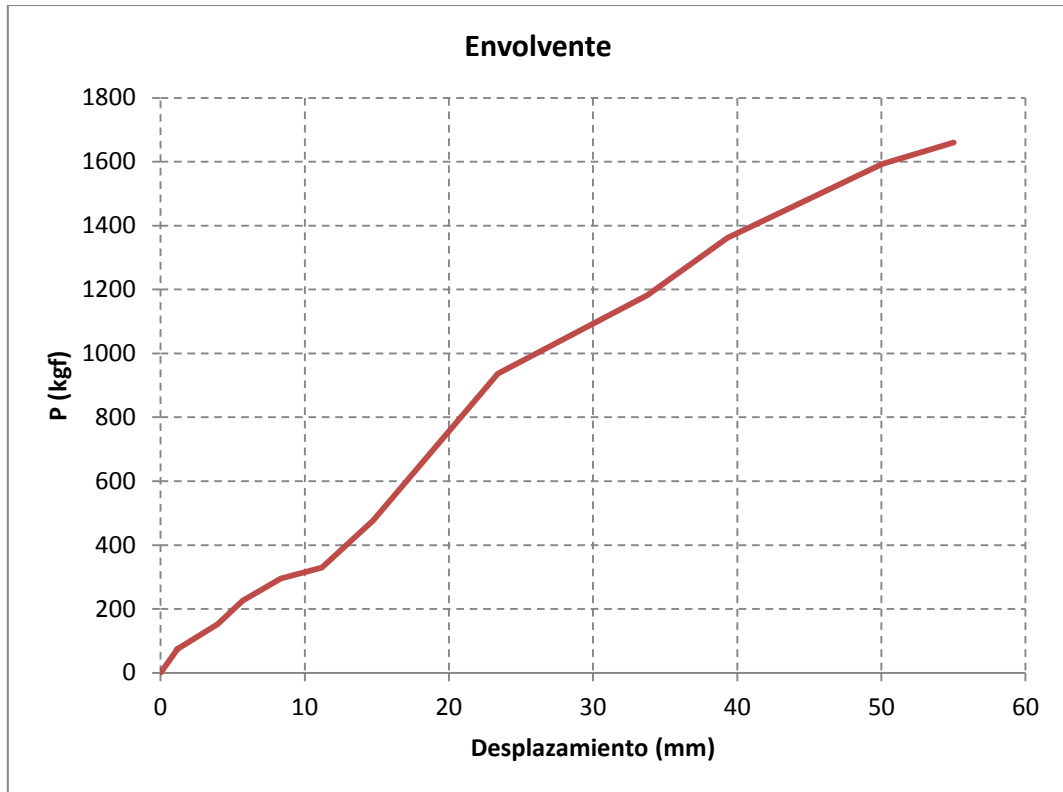
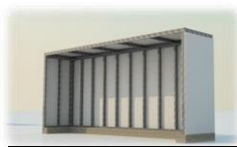


Figura 198. Envoltura de las curvas Carga – Deformación.

La Tabla 24 por su parte, presenta los valores de la pendiente promedio obtenidas en cada una de las fases de carga del ensayo, y que representan la rigidez del modelo a escala natural en cada una de estas fases. Se registran valores promedio para cada grupo de ciclos de carga que fueron medidos con diferentes CDP. Puede observarse una diferencia notable entre el segundo grupo y los otros dos.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Tabla 24. Rigidez promedio de las distintas fases de carga del ensayo.

Ciclo de Carga	Δ_{oi} (mm)	P_{oi} (kg)	Δ_i (mm)	P_i (kg)	K_i (kg/cm)	CDP	K_i Promedio (kg/cm)
1	-	-	1.201	75.73	631	10	493.0
2	-0.082	0.58	1.048	74.97	658	10	
3	-0.115	0.93	1.881	99.49	494	10	
4	0.207	0.16	3.088	129.30	448	10	
5	0.981	1.87	3.950	152.26	507	10	
6	1.126	-5.92	5.405	188.18	454	10	
7	1.188	2.55	7.399	240.79	384	10	
8	1.873	7.42	7.747	247.16	408	10	
9	1.962	5.88	8.355	295.01	452	10	
10	2.972	25.50	11.196	329.03	369	25	362.0
11	3.248	23.20	13.272	367.85	344	25	
12	3.928	6.17	14.060	390.30	379	25	
13	4.426	5.19	20.436	533.05	330	25	
14	6.794	8.80	19.998	505.92	376	25	
15	7.044	0.13	23.390	609.28	373	25	
16	8.800	16.32	24.820	908.00	557	200	499.0
17	9.060	30.09	30.140	1054.70	486	200	
18	11.260	31.62	29.960	1037.87	538	200	
19	9.380	41.82	39.320	1361.22	441	200	
20	15.360	22.44	40.100	1292.37	513	200	
21	16.520	27.54	50.060	1592.76	467	200	
22	19.860	0.00	50.040	1502.49	498	200	
23	21.720	29.07	55.020	1660.08	490	200	
							461.0

3.6.4 INFORMACIÓN REGISTRADA POR LAS GALGAS EXTENSOMÉTRICAS.

La mayoría de las galgas extensométricas no arrojaron información que puede considerarse útil al proyecto de investigación. Algunos registraban cantidades muy grandes, evidencia clara de deterioro, y otros registraron lecturas sin coherencia, evidencia clara de mal funcionamiento, por lo que la información recogida por las galgas extensométricas corroboran solo parcialmente el comportamiento que fue predicho por el modelo numérico y que fue observado en el modelo experimental.

En el apartado siguiente se presentan algunos de los resultados obtenidos con las galgas extensométricas que al parecer tuvieron un funcionamiento adecuado, por cuanto corroboran el comportamiento estructural observado del modelo.



3.7 ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS Y COMPARACIONES CON EL MODELO ANALÍTICO.

3.7.1 CRITERIOS Y PARÁMETROS DE RESISTENCIA.

Conforme al apartado 3, la demanda crítica sobre el modelo corresponde a la condición de viento, y fue estimada en **572 kg**. El modelo experimental fue capaz de resistir una carga máxima de **1660 kg**, mientras se desarrollaba la fase de carga del ciclo 23.

La falla del modelo se debió a la ruptura de una lámina de fibrocemento (Ver Figura 194 y Figura 195) que daba soporte a uno de los gatos hidráulicos con los cuales se aplicaba la carga. Así, es muy importante hacer notar que la falla se presentó a este nivel de cargas debido a limitaciones en la forma de aplicar la carga al modelo, pues la carga total, que debió aplicarse uniformemente distribuida en toda la superficie de la pared 1, se concentró en superficies relativamente pequeñas, concentrando esfuerzos en las zonas de contacto entre las almohadillas de los gatos y las láminas de fibrocemento.

Aun así, considerando este valor como representativo de la resistencia del modelo experimental, se obtiene un factor de seguridad de **2.90**.

3.7.2 CRITERIOS Y PARÁMETROS DE RIGIDEZ.

Tal y como se presentó en el apartado 3.5.3, la rigidez del modelo expresada como la carga total aplicada entre la deformación de control observada, varía mucho dependiendo del nivel de carga aplicado, de la historia carga – deformación previa y del instrumento de medición utilizado en la etapa de carga considerada.

La Tabla 25 presenta una comparación de la rigidez del modelo experimental, calculada como el promedio de las rigideces en las 23 fases de carga, con la rigidez calculada en el modelo analítico considerando distintos valores del módulo de elasticidad de la lámina de fibrocemento: el valor máximo y el valor mínimo especificado por el fabricante; el promedio de ambos y el valor obtenido del ensayo de la lámina de fibrocemento en este proyecto de investigación. Como puede apreciarse, todos los valores de rigidez obtenidos con el modelo analítico sobreestiman la rigidez del modelo experimental, aunque se encuentran en el mismo orden de magnitud.

Tabla 25. Comparación de rigideces obtenidas.

Modelo.	Detalle	Rigidez (kg/cm)
Modelo experimental.	Promedio de los valores de rigidez obtenidas en las distintas fases de carga.	461
Modelo Analítico.	Módulo de Elasticidad máximo especificado por el fabricante. $E = 40,816 \text{ kg/cm}^2$.	692
	Módulo de Elasticidad mínimo especificado por el fabricante. $E = 25,510 \text{ kg/cm}^2$.	578
	Módulo de Elasticidad promedio especificado por el fabricante. $E = 33,163 \text{ kg/cm}^2$.	637
	Módulo de Elasticidad obtenido en el programa de ensayos. $E = 38,822 \text{ kg/cm}^2$.	678



3.7.3 CRITERIOS Y PARÁMETROS DE COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL.

En general, el modelo experimental se comportó de manera muy parecida a la que fue prevista con el modelo analítico.

Pudo constatarse durante el ensayo que los perfiles verticales de la pared 1 efectivamente rotaban con respecto a la base y que se flexionaban como vigas simplemente apoyadas sometidas a cargas transversales; se observó el patrón de deformación previsto para el perfil de anclaje superior; y el patrón de comportamiento de las paredes 2 y 3 que daban soporte transversal a la pared 1. Figura 199.



Figura 199. Esquema de la deformación experimentada por el modelo.

La condición de simple apoyo en la base se reproduce muy bien con el proceso constructivo pues la única restricción al giro de los perfiles verticales de acero proviene de la rigidez a torsión del perfil de anclaje en la base (véase la Figura 135), y esta rigidez es prácticamente despreciable en secciones abiertas.

Por otro lado, tal y como se mencionó en el apartado 3.5.1, fue notable la aparición de deformaciones permanentes crecientes con el incremento de cargas y desplazamientos. Estas deformaciones permanentes tienen su origen en el pandeo local de algunos componentes de la sección transversal de los perfiles de lámina delgada y en separaciones que aparecen entre los perfiles de acero y láminas de fibrocemento a medida la magnitud de las cargas aplicadas se incrementan.

Es también importante mencionar que después de realizado el ensayo, se revisó nuevamente el modelo analítico para observar más detenidamente el comportamiento de la estructura de techo. Pudo corroborarse que también en el modelo analítico se aprecia la tendencia al levantamiento de la estructura de techo observado en el ensayo del modelo experimental.

Finalmente, la información registrada por las galgas extensométricas que funcionaban correctamente, demostró que, efectivamente, el modelo experimental se comportó de manera parecida al modelo numérico, tal y como se predijo inicialmente.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

En la Figura 200 y Figura 201 se presentan algunas gráficas correspondientes a galgas extensométricas que proporcionaron información coherente del ensayo experimental y que registran los valores de deformación unitaria contra el paso del ensayo. La Figura 200 presenta las gráficas de deformación unitaria de las galgas extensométricas identificadas como 1WV2, 1WV9 y 1WV16, y la Figura 201 las de aquellas identificadas como 1EV9 y 1EV16 (la identificada como 1EV2, presentó evidencias de deterioro).

Conforme a la ubicación de estas galgas extensométricas (véanse la Figura 169 y Figura 170) y al comportamiento previsto (véase el tipo de curvatura que exhibe la pared 1 en la Figura 142), se anticipaba que los del primer grupo (ubicados en la cara oeste, el lado cóncavo) registrarán acortamientos y los del segundo grupo (ubicados en la cara este, el lado convexo) registrarán alargamientos, como efectivamente lo hacen estas gráficas. Así, estos acortamientos y alargamientos son consistentes con el sentido del momento flector que debería generarse en la dirección vertical en tales zonas.

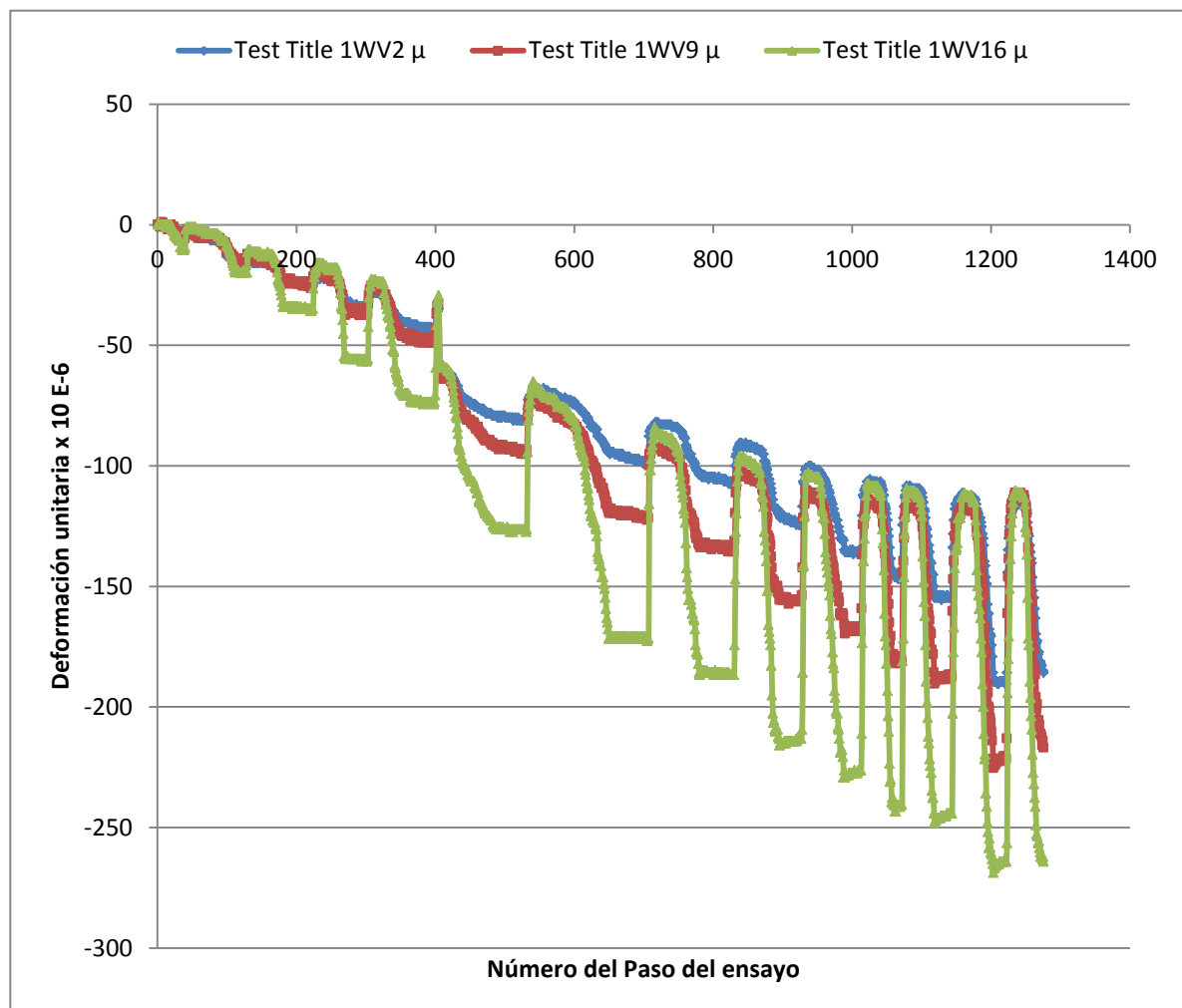


Figura 200. Gráficas de deformación unitaria. Galgas extensométricas 1WV2, 1WV9 y 1WV16



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

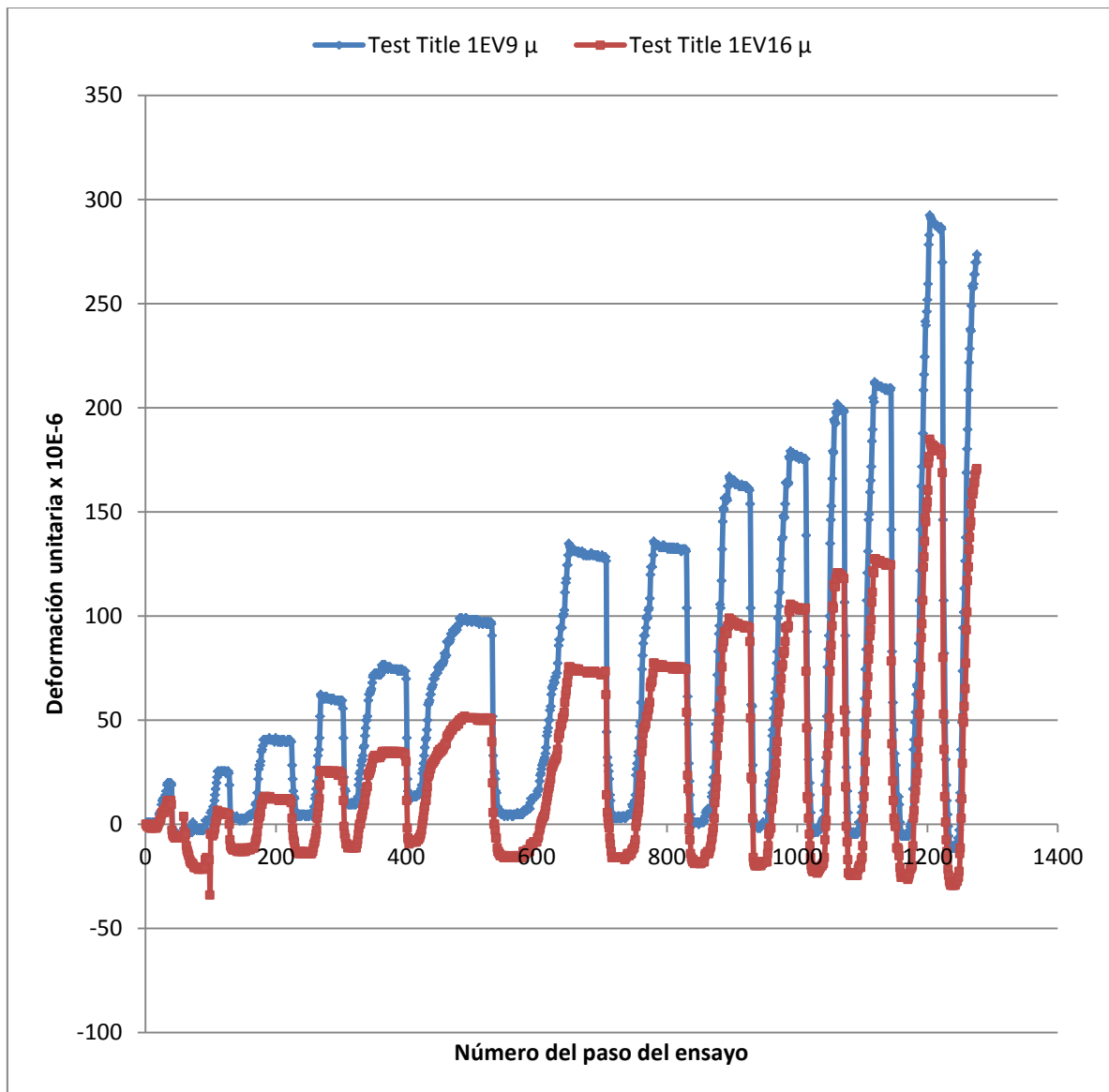


Figura 201. Gráficas de deformación unitaria. Galgas extensométricas 1EV9 y 1EV16



3.7.4.1 Comportamiento de los elementos de conexión “Pins”.

Como se ha indicado en anteriores apartados, en el **modelo analítico**, la carga de viento fue aplicada como una carga uniforme de **38.4 kg/m²** sobre los elementos cáscara de la pared frontal. Dado que el área total de estos elementos es igual a 2.44 m x 6.10 m, la carga total aplicada fue de **571.55 kg**, carga correspondiente a la máxima demanda por viento.

Una vez realizado el cálculo y obtenidos los resultados, se observa que en el nudo **N417** situado en la parte superior del centro de la pared 1, existe un desplazamiento de **0,897 cm**. Para este primer cálculo analítico, se utilizaron elementos suficientemente rígidos que garantizaran la conexión pared-perfil, “Pines” de 1 pulgada (25,4 mm).

Comparando estos datos con los obtenidos en el **modelo experimental**, el nudo **N47** coincide con la posición ocupada por el transductor de desplazamiento de 10 mm (**CDP10**), situado en la parte superior del centro de la pared 1.

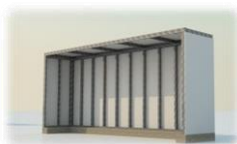
La última carga aplicada, mientras se media con este transductor de desplazamiento (CDP10), correspondiente al **ciclo 14**, fue de **505 Kg** provocando la misma un desplazamiento aproximado de 20 mm en dicho punto, con una deformación remanente de 6,794 mm, por lo que el desplazamiento neto sería de unos **13 mm**. En el **ciclo 15**, para una carga de **609 Kg**, obtenemos un desplazamiento de 23,39 mm y una deformación remanente de **7,04 mm**, con un desplazamiento neto de **16 mm**.

Como se puede observar, la rigidez del modelo experimental es inferior a la analítica (la misma carga le produce una deformación mayor), para la hipótesis anteriormente planteada, respecto a las dimensiones de los elementos de conexión o pines.

Finalmente, consideraremos que el **desplazamiento máximo** que le correspondería a una carga de **570 Kg** (demanda de viento), sería un poco mayor a los 21,00 mm, como la deformación remanente es de unos 7,00 mm, obtendríamos un desplazamiento neto superior a **14 mm**.

Por lo tanto, para que el cálculo analítico fuera lo más aproximado al experimental habría que ajustar las dimensiones de los “Pins” a esta demanda de carga y desplazamiento máximo. De esta forma para sucesivos cálculos habría que utilizar esta modelización de los elementos de unión, fundamentales para garantizar la fiabilidad del trabajo en conjunto entre ambos materiales.

El siguiente paso fue comprobar cómo influyen las dimensiones de los “Pins” en los desplazamientos obtenidos, para la demanda de carga máxima. Para ello, se realiza un nuevo cálculo del modelo analítico, reduciendo el diámetro de los pins 1/10 de tal forma que el diámetro del tornillo fuese 2,54 mm. En ese caso, el desplazamiento de nudo N417 aumentó hasta 11,3425 cm (12,15 veces más), por lo que se deduce que la sección de esos pins influyen enormemente en el funcionamiento del modelo y casi de forma inversamente proporcional.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Por lo tanto, para obtener un desplazamiento neto de unos 14 mm en el nudo N47 tendríamos que colocar "Pins" de diámetro aproximado a 8 mm. Realizando el cálculo para un diámetro de **8 mm** obtendremos un desplazamiento de **14,121 mm** en el nudo N47 del modelo experimental. (Véase la Tabla 26). Asignaremos las siguientes características al "Pin";

Outside diametre: $t_3=0,008$ m
 Wall thickness $tw= 0,003779$ m.

Revisando los datos del modelo experimental, se comprueba que los tornillos recomendados por la empresa suministradora eran tornillos de acero galvanizado #8x1-1/4" cabeza de trompeta con estrías autoavellanates, rosca S12, con punta broca autoperforante y aletas para perforaciones dilatadas (PH 8-125), con un diámetro de 8 mm y 125 mm de longitud. Por lo tanto, se asume como correcta la utilización de dichos tornillos de 8 mm de diámetro, ya que con ese diámetro se obtiene el mismo desplazamiento que en el modelo experimental.

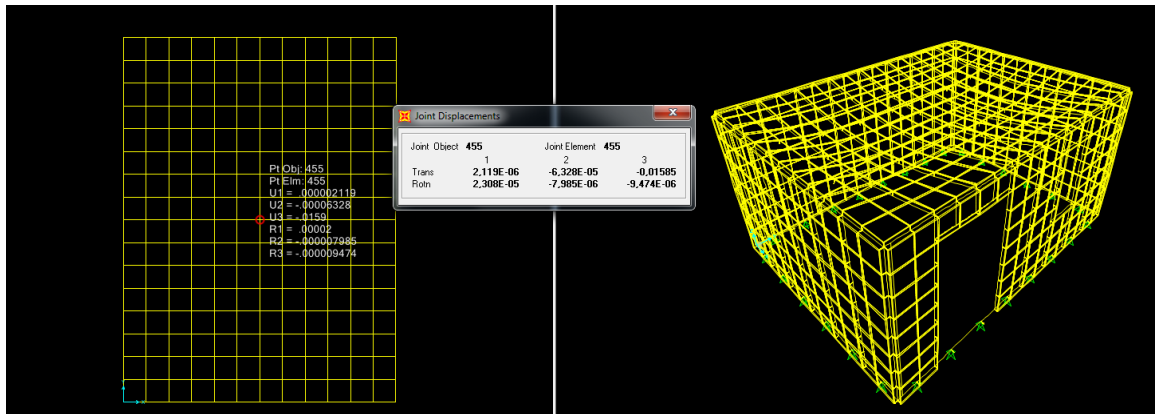
Tabla 26. Relación entre desplazamiento y sección de Pins en el nudo N417/(CDP10).

CARGA CONSTANTE DE 571,55 Kg			
Diámetro PIN mm	Factor Diámetro Pin	Desplazamiento Nudo 47 mm	Factor desplazamiento
25,40	0	8,97	0
12,7	0,5 (1/2)	10,683	1,19
8,46	0,33(1/3)	13,477	1,50
8,00	0,315	14,121	1,57
6,35	0,25(1/4)	17,98	2,00
5,842	0,23	20,077	2,23
5,588	0,22	21,409	2,38
5,08	0,2(1/5)	24,89	2,77
2,54	0,1 (1/10)	113,42	12,65



3.7.4 APLICACIÓN DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES AL MODELO DISEÑADO.

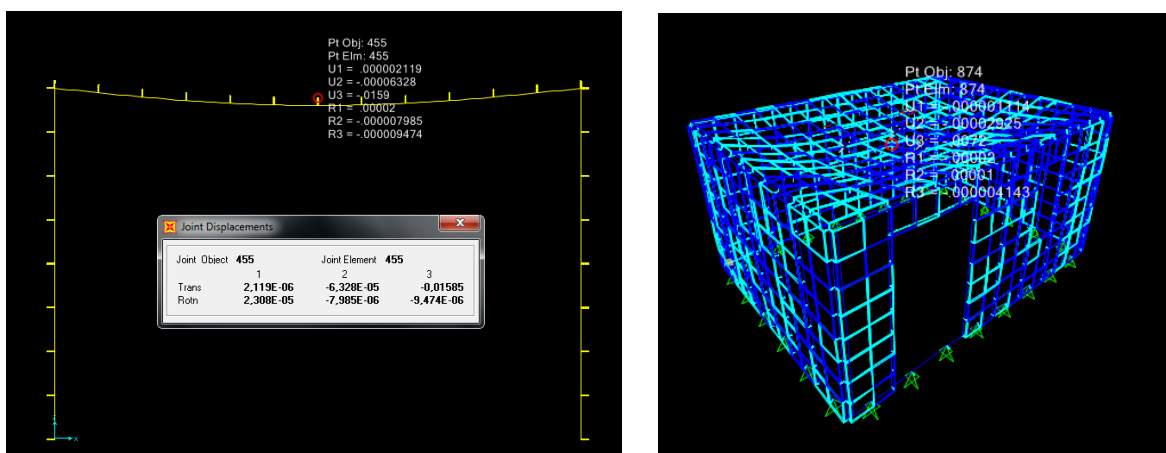
Una vez obtenidos los resultados y aplicando las consideraciones anteriormente citados al diseño de modelo de vivienda, se modela con el programa Sap2000, uno de los módulos de la misma, en concreto, el módulo de salón, que inicialmente contaba con una superficie de 6,10 x 3,66 m². (Véase Figura 202).



a. Localización en cubierta del punto de mayor desplazamiento vertical N455. b. Deformación experimentada por el módulo.

Figura 202. Comportamiento estructural del módulo de salón de la vivienda modelado en Sap2000.

Como se puede observar, el modelo estructural se comporta como un cajón, donde los desplazamientos horizontales y verticales de las paredes perimetrales son prácticamente nulos, siendo la cubierta el elemento mayormente afectado, experimentando los mayores desplazamientos y deformándose como si se tratara de “la piel de un tambor”. (Véase Figura 203).



a. Localización en el pórtico del punto de mayor desplazamiento vertical N455. b. Deformación experimentada por el módulo.

Figura 203. Comportamiento estructural del módulo de salón de la vivienda modelado en Sap2000.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Como se puede observar en la Figura 202 y Figura 203, el máximo desplazamiento vertical en cubierta se produce en el centro de la misma, en concreto, en el nudo N455 cuyo valor es de 1,585 cm. Si se considera la flecha admisible como $L/250$, se obtendría un valor de 1,464 cm, superando el desplazamiento máximo de la cubierta a la flecha admisible, con poca diferencia. Sin embargo, y para garantizar la seguridad de la misma habría que aumentar la sección de los tornillos en el techo o reforzar con cruces de San Andrés.



CAPÍTULO 4. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS, CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS DE TRABAJO.



4.1 CONCLUSIONES GENERALES.

A pesar de los avances que se han logrado en países de enorme desarrollo económico y urbanístico, aún siguen siendo sorprendidos por catástrofes naturales ante las cuales son incapaces de dar una respuesta rápida y realojar a la población, minimizando el impacto psicológico y material que supone este tipo de situaciones límites. El caso de España, con la sacudida que sorprendió a la población de Lorca (Murcia), dejando sin hogar a miles de personas, que aún hoy, después de pasar años de lo sucedido, siguen sin poder contar con un lugar digno donde vivir. La ausencia de planes de emergencia efectivos y soluciones rápidas de fácil ejecución, pone de manifiesto la brecha y debilidad de los países ante estas circunstancias.

De igual forma, en países menos desarrollados, como es el caso de El Salvador o Haití, las consecuencias tras una catástrofe de este tipo, son aún más significativas por la pobreza y falta de infraestructuras de los respectivos gobiernos.

Por lo tanto, y tras esta reflexión, se considera que dichos gobiernos deberían contar con planes de emergencia eficaces, en los que se incluyera un sistema o kit de alojamiento de emergencia temporal, realizado con estructura de acero liviano conformado en frío, que solucionara inicialmente y de forma rápida las condiciones de habitabilidad mínima en la población afectada. Este kit de montaje contaría con las herramientas y materiales necesarios para ejecutar la unidad habitacional mínima de emergencia, que podría ser temporal, desmontable y reutilizable, en el caso de que sus ocupantes pudieran recuperar su vivienda anterior, o definitiva, pudiéndose ampliar de forma modular, en función de las necesidades de cada familia con el tiempo. Así mismo, este sistema cumpliría con las exigencias de seguridad estructural y constructiva, habitabilidad, salubridad, higiene y comodidad exigibles a cualquier vivienda, acreditado mediante certificados de calidad.

Este sistema, basado en la autoconstrucción, reduciría enormemente los costes y contribuiría a mejorar la situación económica global del país, puesto que se instruiría a la población mediante cursos de formación, que les ayudara a acreditarse como técnicos especializados, permitiéndoles obtener una alternativa laboral para el futuro y ofreciendo a los gobiernos una vía de escape frente al estancamiento del sector de la construcción, tan importante para la crisis mundial.

Países como Estados Unidos, han recurrido a la fabricación en serie y a la industrialización de los productos, para resolver situaciones de emergencia de forma rápida, económica y eficaz, mejorado los sistemas anteriores, contribuyendo a la modernización del país y a la incorporación de avances tecnológicos. De igual forma, empresas de fabricación de muebles recurren también a este tipo de automontaje en seco, ofreciendo diseño y calidad a bajo precio, mediante la producción en serie, obteniendo una gran aceptación y éxito entre la población.

Previamente al desarrollo de esta tesis se realiza el Trabajo Tutelado de Iniciación a la Investigación, denominado "Definición Preliminar de Necesidades y Condicionantes para la Ejecución de Viviendas Sociales en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador" [3], necesario para conocer las circunstancias sociales, culturales, políticas, climatológicas...,y cuyas conclusiones generales se enumeran a continuación:



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

- El Salvador es un país localizado en América Central con una población de 6.194.00 habitantes (censo 2010). Debido a su extensión territorial (20.742 km²) tiene la densidad poblacional más alta de América continental. Aproximadamente el 37% de la población salvadoreña vive en zonas rurales. En nuestros días, 6 de cada 10 personas que trabajan en la agricultura son pobres; 1 de cada 4 viven en pobreza extrema, sus ingresos no cubren el costo de la canasta básica alimentaria establecida para el área rural, donde se asume que un hogar tiene 4.34 miembros. [6]
- El 53.5% de las viviendas rurales no poseen acceso a agua por cañería, solamente el 0.6% cuenta en sus hogares con inodoro conectado al sistema de alcantarillado y los hogares que cocinan con leña asciende al 55.3%.
- Durante el sismo de febrero de 2001 las pérdidas humanas se debieron en su mayoría a fallas en las estructuras de adobe en las zonas rurales y en pueblos de la zona paracentral del país. El porcentaje de viviendas construidas con materiales de poca resistencia ante sismos (adobe y bahareque) constituyen un 31% del total de viviendas en El Salvador. Uno de los municipios más afectados por los terremotos de 2001 fue Santa Tecla, también llamada Nueva San Salvador.
- Según el informe del Comité de Emergencia Nacional, los daños materiales ocasionados por los terremotos de principios de año en la Sierra del Bálsamo, fueron los siguientes: se perdieron alrededor de 13000 viviendas, más de 11,000 viviendas fueron dañadas, de las cuales un 40 % no son utilizables.
- Uno de los objetivos de este proyecto será analizar los sistemas constructivos ensayados en el Proyecto Taishim [1], realizando un análisis comparativo de todos los parámetros que influyen en su ejecución, con los del sistema seleccionado para este estudio, realizado con una estructura de acero liviano. La finalidad de Taishim es mejorar la resistencia sísmica de cuatro sistemas constructivos de vivienda popular y difundirlos a la población, mediante la investigación y la difusión. Estos sistema son: modelo adobe sismorresistente, modelo bloque panel, modelo de mampostería confinada de suelo cemento y modelo de concreto hueco con refuerzo integral.
- La tipología de viviendas ensayadas en el Proyecto Taishim de adobe reforzado, suelo cemento y bloque de concreto no garantizan la resistencia de las estructuras ante el sismo. Tampoco garantizan condiciones de salubridad, higiene, ahorro energético...La comparativa de precios no ofrece una diferencia insalvable entre las soluciones ya ensayadas y la planteada, por lo que habrá que optimizar los parámetros de exigencia y mejorar costes.
- Tras el estudio comparativo de costes entre los distintos sistemas ensayados por Taishim y una tipología de vivienda social, modular construida con acero liviano por la compañía SPFA [103], podemos comprobar que la diferencia de coste entre las viviendas de suelo cemento y de acero conformado en frío es de apenas 40 \$/m². (Véase Figura 204 y Figura 205). Teniendo en cuenta que se podrían optimizar los costes de esta última vivienda, las ventajas en cuanto a seguridad estructural, salubridad, aislamiento, habitabilidad... es mucho mayor en la de acero que la de suelo cemento. La capacidad sismorresistente de la estructura de acero conformado en frío es muy superior a la de los demás modelos, resistiendo intensidades de 7 grados en la escala de Richter. Por otra parte, y según consultas realizadas en El Salvador, la disponibilidad de este tipo de perfiles de acero, llamados polines, es muy abundante pudiéndose encontrar en cualquier taller suministrador, por lo que las posibilidades de reducir costes aumentan.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

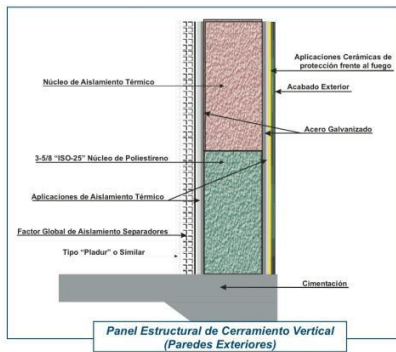


Figura 204. Detalle constructivo SPFA



Figura 205. Vivienda social de 45 m2 con sistema SPFA.

- Se plantea una solución modular en base a una estructura liviana de acero conformado en frío que ofrece una resistencia al sismo muy superior a la que ofrecen otros sistemas, así como, una gran resistencia mecánica, economía, disponibilidad, protección ambiental, estabilidad dimensional, versatilidad e incombustibilidad. En dicha vivienda se garantizará el aislamiento térmico y acústico, ventilación, las instalaciones de abastecimiento y saneamiento adecuadas, instalaciones térmicas y eléctricas necesarias...en función a los parámetros de partida existente en cuanto a climatología, pluviometría, temperaturas medias, geología...

- En el diagrama de Gantt que se adjunta, se comparan cada uno de los sistemas constructivos ensayados en el Proyecto Taishim con un sistema de acero liviano conformado en frío. Se puede comprobar, que la solución de acero supera con diferencia a las restantes en prácticamente el 90% de los parámetros evaluados. Le sigue con cierta diferencia la solución de bloque panel ensayada por Taishim, que se convierte en la de mayor cumplimiento de dichos factores. (Véase Figura 2)

COMPARATIVO SISTEMAS DE EDIFICACION PARÁMETROS A VALORAR	MODELO 1			MODELO 2			MODELO 3			MODELO 4			MODELO 5		
	ADOBE SIMDRR			BLOQUE PANEL			SUELO CEMENTO			BLOQUE CON REF.			ACERO LIVIANO		
Código Resumen	M	R	B	M	R	B	M	R	B	M	R	B	M	R	B
1 SISMORRESISTENCIA	M	R	B	M	R	B	M	R	B	M	R	B	M	R	B
2 RESISTENCIA MECÁNICA	M	R	B	M	R	B	M	R	B	M	R	B	M	R	B
3 VERSATILIDAD/MODULACIÓN	M	R	B	M	R	B	M	R	B	M	R	B	M	R	B
4 RESISTENCIA A LA HUMEDAD	M	R	B	M	R	B	M	R	B	M	R	B	M	R	B
5 DURABILIDAD/VIDA UTIL	M	R	B	M	R	B	M	R	B	M	R	B	M	R	B
6 MANTENIMIENTO	M	R	B	M	R	B	M	R	B	M	R	B	M	R	B
7 TIEMPOS DE EJECUCION	M	R	B	M	R	B	M	R	B	M	R	B	M	R	B
8 AISLAM. TÉRMICO Y ACÚSTICO	M	R	B	M	R	B	M	R	B	M	R	B	M	R	B
9 FACILIDAD DE EJECUCION	M	R	B	M	R	B	M	R	B	M	R	B	M	R	B
10 RECICLAJE	M	R	B	M	R	B	M	R	B	M	R	B	M	R	B
11 COMPORTAMIENTO ANTE FUEGO	M	R	B	M	R	B	M	R	B	M	R	B	M	R	B
12 AHORRO ENERGÉTICO	M	R	B	M	R	B	M	R	B	M	R	B	M	R	B
13 N° DE ALTURAS	M	R	B	M	R	B	M	R	B	M	R	B	M	R	B
14 GESTION DE RESIDUOS	M	R	B	M	R	B	M	R	B	M	R	B	M	R	B
15 CANTIDAD DE MANO DE OBRA	M	R	B	M	R	B	M	R	B	M	R	B	M	R	B
16 COSTES \$/m2	M	R	B	M	R	B	M	R	B	M	R	B	M	R	B

VALORACIÓN:
M: MALO
R: REGULAR
B: BUENO



Figura 2. Diagrama de Gantt. Comparativa de modelos arquitectónicos. [2]



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Se realiza una comparativa entre los sistemas constructivos Steel Framing, sistema con estructura de madera y mampostería, siendo el sistema con estructura metálica el que ofrece mayores ventajas técnicas, de ejecución, mantenimiento, mano de obra... (Véase Tabla 1).

Tabla 1. Comparativa entre sistema Steel Framing, sistema de madera y mampostería.

	Sistema Steel Framing	Sistemas con Madera (Ej. Casas Prefabricadas)	Sistemas con Mampostería
Rapidez de Obra	50% de ahorro en tiempos de ejecución vs. tradicional	50% de ahorro en tiempos de ejecución vs. tradicional.	30% mayor por utilizar materiales húmedos. Retrasos por clima.
Maquinaria y Equipos de construcción	No se utilizan maquinarias pesadas. Herramientas manuales de fácil uso.	No se utilizan maquinarias pesadas. Herramientas manuales de fácil uso.	Se necesita maquinaria pesada. Materiales de construcción requieren estructuras y grúas especiales de acarreo en obra.
Ergonomía para el trabajador	Sistema Liviano no genera problemas a la salud del trabajador.	Sistema Liviano no genera problemas a la salud del trabajador.	Sistema Pesado, afecta a la larga la salud corporal.
Resistencia a fuertes vientos	Resistencia suficiente.	Resistencia suficiente.	Resistencia suficiente.
Resistencia estructural	Conocida y existen tablas de cálculo.	Variable incluso dentro del mismo elemento, complica la certeza de cálculo.	Conocida y existen tablas de cálculo.
Limpieza de Obra	Obra Limpia y rápida.	Obra Limpia y rápida	Obra sucia con mucho desperdicio.
Aislamiento Térmico	Excelente comportamiento. 30% ahorro energético.	Excelente comportamiento. 30% ahorro energético.	Grandes pérdidas de calor y puentes térmicos.
Facilidad para remodelaciones/amp liaciones	Rápidas y limpias.	Rápidas y limpias.	Complicadas, molestas y sucias.
Resistencia a los Incendios	Resistencia Alta.	No apta.	Resistencia media.
Resistencia Anti sísmica	Ideal para zonas sísmicas.	No aplica.	Se tiene que reforzar la estructura. Altos costos.
Protección del material	Baño de Galvanizado. Evita corrosión.	Tratamiento adicional. Mayor costo.	Materiales Hidrófugos. Altos costos.
Mantenimiento	Menor mantenimiento.	Mayor mantenimiento.	Mayor mantenimiento.
Subterráneos y edificaciones en subsuelos	No apto.	No apto.	Apto.
Pisos	Hasta cuatro niveles.	Hasta dos niveles.	No tiene límites.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

En el primer capítulo de esta tesis se desarrolla el estado de arte y tecnología, donde se analizan las diferentes técnicas constructivas, estilos y corrientes que emplearon soluciones ligeras, prefabricadas y de pared delgada en Estados Unidos, Europa y Sudamérica. Este estudio sirve para obtener conclusiones acerca del porqué no existen fórmulas maestras que solucionen problemáticas o catástrofes naturales que surgen en determinados momentos históricos. Y el por qué estas soluciones no cuentan con el apoyo suficiente. Se llega a la conclusión de que sólo con la fabricación en serie y prefabricación de la mayoría de sus componentes, instalaciones y acabados se llegarán a obtener precios competitivos. Pero existen otros componentes sociales y culturales que hacen que los sistemas tradicionales sigan siendo elegidos como forma de construcción de las viviendas sociales, cuestión que sólo será superada si se cuenta con el apoyo gubernamental y la publicidad necesaria.

En el caso de Sudamérica este tipo de soluciones comenzaron a proponerse en los años 50. Uno de los problemas fundamentales es, igualmente, la falta de cooperación con los organismos gubernamentales, falta de planificación, planes de emergencia y urbanísticos.

Así mismo, se observa la poca confianza de la población en este tipo de soluciones, que consideran soluciones a corto plazo y no duraderas en el tiempo. Debería existir, por lo tanto, una mayor publicidad en cuanto a la elección de este sistema, describiendo las ventajas frente a otras soluciones livianas como la de estructuras de madera, así como, su durabilidad y estabilidad frente al sismo.

En Estados Unidos numerosas corrientes se han desarrollado desde finales del s. XVIII, no superando la tradicional construcción de madera o *balloom frame*. La mayoría de las soluciones no recurrieron a la prefabricación en serie completa de la vivienda para conseguir el mayor abaratamiento de los costes y la mayor optimización de los parámetros de confort.

En Europa aparecieron numerosas propuestas, pero no dejaron de ser prototipos en ferias o exposiciones que no llegaron a tener la popularidad necesario para su fabricación y construcción masiva.

Una vez analizadas las diferentes soluciones estudiadas y valorando las ventajas e inconvenientes de cada una de ellas, se procede a la elección y diseño de la vivienda de emergencia y solución constructiva de la misma, así como, a la descripción de los diferentes parámetros que influyen en el bienestar y confort de sus habitantes. A lo largo del capítulo segundo se describe cada uno de estos aspectos, adaptados al lugar elegido para su ubicación, que será Santa Tecla, El Salvador. Aunque esta solución, al menos estructural, se pretende poder extrapolar a otras localizaciones.

El objetivo sería construir viviendas adaptadas al medio físico en el que se ubican, generando confort en su interior, aprovechando los medios disponibles al alcance para convertirlas en sostenibles y, al mismo tiempo, conseguir que la prefabricación y modulación las conviertan en viviendas construidas en serie, que junto con la ligereza de los materiales, permitiría reducir costes y facilitar el transporte. Sin olvidar el concepto de autoconstrucción y autoconsumo, que afectarían a otros aspectos socioculturales del entorno.

Cada vivienda dispondría de un espacio para generar un negocio, con el que poder dinamizar la economía local del lugar, generando intercambio y crecimiento económico.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Una vez conseguida la ``fórmula maestra`` de la vivienda social para cada zona del país, los organismos públicos la convertirían en una Vivienda de Protección Oficial o VPO, cuyos materiales estuvieran subvencionados por el gobierno, aportando cada usuario su trabajo en el montaje y ejecución de la misma. Dichas viviendas contarían con las últimas tecnologías podrían ser publicitadas como viviendas sostenibles a bajo coste, lo que las convertiría en vivienda social de calidad. Los autoconstructores de dichas viviendas recibirían formación mediante cursos, para instruirles en el oficio de montadores de viviendas.

Previamente, sería fundamental el trabajo del gobierno central y local creando equipos técnicos, encargados de generar planes urbanísticos, estudiando aquellos lugares susceptibles de ser urbanizados y organizando viales, superficies de parcelas...De esa manera se evitarían muchas catástrofes originadas por la mala ubicación de los asentamientos, como pueden ser los cauces de ríos, laderas susceptibles de deslizamientos...De igual manera, el gobierno cedería el suelo a cambio de que los autoconstructores o miembros de la comunidad fueran los encargados de ejecutar la urbanización; instalaciones, viales y accesos necesarios para sus viviendas.

Se marcarían directrices en cuanto al posible crecimiento de las viviendas, no dejando a la arbitrariedad el crecimiento del entramado residencial.

En otras comunidades autoconstruidas por sus habitantes se han comprobado los beneficios que pueden aportar a la comunidad; reducción de la delincuencia, mayor sociabilidad y unión entre el vecindario, mayor cuidado de las viviendas, respeto por lo ajeno, reducción de las tasas del paro...

La vivienda se concibe como una **máquina para vivir**, que proporciona no sólo cobijo, confort y bienestar a sus ocupantes, sino sustento alimentario, por la posibilidad del desarrollo de un huerto o invernadero en sus patios, y sustento económico, al estar dotada de un espacio donde desarrollar una idea de negocio que ayude a impulsar la economía de la comunidad. Se trata de que la vivienda sea sostenible en todos los sentidos, también desde el punto de vista energético.

Aunque la idea inicial es que se conciba como una vivienda de emergencia, que proporcione una respuesta rápida a las necesidades del momento, la intención es que perdure en el tiempo convirtiéndose en una vivienda definitiva y ampliable según las necesidades familiares. Por ese motivo, se muestran las tres fases o posibilidades de la vivienda. (Véase Tabla 27) (Véase Figura 206)

Tabla 27. Superficies construidas de las distintas fases de la vivienda de emergencia.

FASE	SUPERFICIE CONSTRUIDA VIVIENDA	SUPERFICIE CONSTRUIDA COMERCIAL
1ª FASE VIVIENDA DE 2 DORMITORIOS	57,70 m ²	41,76 m ²
2ª FASE VIVIENDA DE 3 DORMITORIOS	67,02 m ²	32,44 m ²
3ª FASE VIVIENDA DE 4 DORMITORIOS	81,58 m ²	17,88 m ²



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]



Figura 206. Imagen en 3d de de viviendas de emergencia en distintas fases de crecimiento.

Se calcula el costo de la vivienda mínima de emergencia para cuatro personas con una superficie construida de 57,70 m², teniendo en cuenta los precios utilizados por otros estudios consultados [41]. Se considera que no habrá costo de la mano de obra, ya que se trata de una vivienda autoconstruida al 100%. Si comparamos la propuesta de vivienda de interés social con otras propuestas, incluidas las propuestas del proyecto Taishim, el resultado se muestra en la siguiente Tabla 17:

Tabla 17. Cuadro comparativo de costos de vivienda de interés social construidas en El Salvador.

PROPUESTA	SISTEMA CONSTRUCTIVO	AREA m ²	FORMA DE ADQUISICIÓN	COSTO			TOTAL	COSTO POR m ²
				CD	CI	IVA		
Diseño propuesto (CI 15%)	Sistema Plycem	57,70	Donación y Ayuda Mutua	\$7.885,43	\$1.182,81	\$1.178,87	\$10.247,11	\$177,59
Propuesta de estudio. (CI 15%) [41]	Bloque panel	41,00	Donación y SubContrato	\$4.749,40	\$712,41	\$710,04	\$6.171,83	\$150,53
Propuesta FUNDASAL (CI 3.5%) [97]	Bloque panel y madera	32,00	Donación y Ayuda Mutua	\$3.048,73	\$106,71	\$410,21	\$3.565,65	\$111,43
Propuesta FUSAI [97] (CI 15%)	Bloque de concreto y Plycem en tabiquería	28,00	Donación y SubContrato	\$3.430,00	\$514,50	\$512,79	\$4.457,29	\$159,19
Propuesta VMVDU (CI 2%)	Molde prefabricado y Plycem en tabiquería	42,50	Donación	\$5.500,00			\$5.500,00	\$129,41
Propuesta Taishim	Sistema Adobe-resistente	88,77	-	\$5.871,32	\$880,70	\$877,76	\$7.629,78	\$85,95
Propuesta Taishim	Sistema Suelo-Cemento	79,32	-	\$5.270,36	\$790,55	\$787,91	\$6.848,83	\$86,34
Propuesta Taishim	Sistema bloque concreto con refuerzo	93,51	-	\$6.375,87	\$956,38	\$953,19	\$8.285,44	\$88,60



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

ONOTA: Los costos de las viviendas de FUNDASAL y FUSAI se obtuvieron del documento presentado por el SIDA (Swedish International Development Cooperation Agency) en Agosto del 2006. Las propuestas de del programa Taishim se obtuvieron en 2007. La propuesta de estudio utilizó precios del 2010 y la propuesta de esta tesis se basa en los precios de dicho estudio.

Los costos por m² de la vivienda de emergencia propuesta para la modalidad de ayuda mutua, es comparable con la vivienda propuesta por FUSAI en valor monetario a pesar de ser un costo correspondiente al 2010. Aunque el coste es un 10% superior, la dotación estructural, bioclimática, aislamiento térmico, confort y calidades de la vivienda diseñada supera a cualquiera de ellas. El factor de seguridad propuesto en la vivienda objeto de este trabajo, en el que se presentan paredes de perfiles de acero conformado en frío y lámina de fibrocemento con resistencias al sismo y viento muy superiores a las demás, con cubierta ventilada, estructura de suelo elevada sobre la rasante (forjado antihumedad), aislamiento y estanqueidad en la cubierta y carpinterías aislantes y estancas, representan cualidades que favorecen a la propuesta sobre otras opciones presentadas y que añaden unas condiciones que no poseían las viviendas de emergencia construidas en El Salvador hasta el momento.

Un vez diseñada la propuesta arquitectónica de la vivienda de emergencia, se lleva a cabo un programa experimental fruto de un proyecto de cooperación internacional entre la Universidad José Simeón Cañas (UCA) de San Salvador y la Universidad de Jaén (UJA), en el que se construye un modelo a escala real de una parte seccionada de la vivienda. Dicho modelo es sometido a la demanda máxima de viento y sismo calculada, obteniéndose resultados del comportamiento estructural del modelo experimental, que será comparado con el modelo numérico, cuyos valores se analizan mediante la herramienta informática Sap2000.

Las conclusiones más importantes que se desprenden de esta fase experimental del proyecto de investigación realizado se presentan a continuación.

- El sistema de paneles de un solo forro formados por láminas de fibrocemento y perfiles de acero de lámina delgada es satisfactorio para ser utilizado como estructura principal de viviendas de una sola planta. La resistencia del modelo experimental ensayado supera sensiblemente la demanda crítica impuesta por las normas técnicas de diseño por sismo y por viento vigentes en El Salvador. Salvo para condiciones especiales, en este tipo de estructuras seguramente será crítica la demanda de viento.

- Dado que el comportamiento del modelo analítico fue bastante parecido al experimental, se concluye que la herramienta de análisis estructural desarrollada con el programa comercial puede utilizarse de manera confiable para modelar otras alternativas. Deben, sin embargo, respetarse las recomendaciones del fabricante con respecto al espesor mínimo de las láminas de fibrocemento cuando forman parte del sistema de paredes exteriores.

En virtud de que los materiales utilizados son producidos industrialmente, los índices de resistencia proporcionados por los fabricantes son lo suficientemente confiables como para utilizarlos como criterios de revisión estructural en el proceso de diseño de las alternativas.



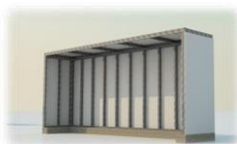
[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

- Las rigideces obtenidas con el modelo analítico fueron superiores a las que se obtuvieron en el modelo experimental. Debido a ello, al definir alternativas con modelos analíticos, es importante tener presente que las deformaciones así obtenidas pueden ser subestimadas. (Véase la Tabla 25).

Tabla 25. Comparación de rigideces obtenidas.

Modelo.	Detalle	Rigidez (kg/cm)
Modelo experimental.	Promedio de los valores de rigidez obtenidas en las distintas fases de carga.	461
Modelo Analítico.	Módulo de Elasticidad máximo especificado por el fabricante. $E = 40,816 \text{ kg/cm}^2$.	692
	Módulo de Elasticidad mínimo especificado por el fabricante. $E = 25,510 \text{ kg/cm}^2$.	578
	Módulo de Elasticidad promedio especificado por el fabricante. $E = 33,163 \text{ kg/cm}^2$.	637
	Módulo de Elasticidad obtenido en el programa de ensayos. $E = 38,822 \text{ kg/cm}^2$.	678

- Las deformaciones permanentes que fueron registradas en el ensayo experimental son atribuibles a los pandeos locales de los componentes de la sección transversal de los perfiles de acero y a las separaciones entre estos perfiles y las láminas de fibrocemento que aparecen a medida se incrementan las cargas. Si bien esto es un inconveniente, estos perfiles tienen la propiedad de resistencia post-pandeo, donde ciertas partes del perfil mantienen su plena capacidad de resistencia con la posibilidad de emplear esta propiedad en estructuras aun en su condición de parcialmente fallados. Estas deformaciones permanentes pueden entonces concebirse como un precio a pagar por la practicidad, rapidez y eficiencia del proceso constructivo del sistema.
- Se comprueba que los tornillos recomendados por la empresa suministradora, tornillos de acero galvanizado #8x1-1/4" cabeza de trompeta con estrías autoavellanates, rosca S12, con punta broca autoperforante y aletas para perforaciones dilatadas (PH 8-125), con un diámetro de 8 mm y 125 mm de longitud, son adecuados para el cálculo experimental en las uniones perfil-lámina. Por lo tanto, en la práctica se asume como correcta la utilización de dichos tornillos de 8 mm de diámetro, ya que con ese diámetro se obtiene el mismo desplazamiento que en el modelo experimental. (Véase la Tabla 26).
- Se aplican los resultados obtenidos del ensayo experimental al cálculo del modelo real del módulo de salón de la vivienda de emergencia, mediante el programa Sap2000, llegando a la conclusión de que las paredes perimetrales del cajón estructural no registran desplazamientos aparentes ni horizontales ni verticales con las cargas consideradas. Será la cubierta de dicho cajón la parte estructural que sufra mayores desplazamientos, deformándose como la "piel de un tambor". El desplazamiento máximo se localiza en un nudo situado en el centro de la cubierta, siendo ligeramente superior a la flecha admisible. Por lo que se propone arriostrar mediante cruces de San Andrés o aumentar la sección de los tornillos.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

Tabla 26. Relación entre desplazamiento y sección de Pins en el nudo N417/(CDP10).

CARGA CONSTANTE DE 571,55 Kg			
Díámetro PIN mm	Factor Díámetro Pin	Desplazamiento Nudo 47 mm	Factor desplazamiento
25,40	0	8,97	0
12,7	0,5 (1/2)	10,683	1,19
8,46	0,33(1/3)	13,477	1,50
8,00	0,315	14,121	1,57
6,35	0,25(1/4)	17,98	2,00
5,842	0,23	20,077	2,23
5,588	0,22	21,409	2,38
5,08	0,2(1/5)	24,89	2,77
2,54	0,1 (1/10)	113,42	12,65



4.2 RECOMENDACIONES Y LÍNEAS FUTURAS DE TRABAJO

Una vez definidas las características técnicas y constructivas de la vivienda y realizadas las comprobaciones estructurales necesarias en el ensayo experimental, se plantean parámetros bioclimáticos y de eficiencia energética, que se analizan desde el punto de vista teórico, basándose en estudios realizados o modelos que sirven de guía para su definición. Por ello, se proponen una serie de recomendaciones y líneas futuras de trabajo que pueden completar el estudio de esta tesis:

- Tomando en cuenta que los resultados obtenidos en la evaluación de este sistema constructivo como estructura principal de viviendas de una planta son altamente satisfactorios, se recomienda compararlos con otros sistemas constructivos, como los ejecutados con elementos verticales y horizontales de hormigón armado y de acero laminado, evaluando aspectos relevantes de economía y funcionalidad, y exponiendo las ventajas y las desventajas de cada sistema.
- Una consideración importante a tener en cuenta en futuras líneas de investigación, es la consideración del efecto succionante del viento sobre la cubierta y sus consecuencias en las dimensiones de los tornillos de anclaje de cimentación. Habría que optimizar las dimensiones de dicha cimentación, así como, las secciones y números de tornillos, que conectan el perfil PA con el cimiento.
- Se recomienda a instituciones educativas, como universidades, y a instituciones de gobierno como el Viceministerio de Vivienda, evaluar la factibilidad de utilizar este sistema en proyectos de vivienda que deban desarrollarse en zonas aisladas y como alternativas en las fases de atención de la emergencia.
- Se recomienda llevar a cabo una evaluación de los efectos de las deformaciones permanentes en la funcionalidad de las viviendas, y diseñar medidas de mitigación en caso de que resulten desfavorables.
- Se recomienda repetir el ensayo experimental distribuyendo las almohadillas de forma que no se coloquen en los vanos de las láminas, sino en aquellos lugares reforzados con perfiles en su cara interior.
- Para continuar con el desarrollo del trabajo de investigación y proporcionar valores ajustados a la realidad específica del diseño de la vivienda desarrollada en esta tesis, se propone realizar simulaciones térmicas y energéticas, llevándose a cabo con el uso de herramientas informáticas, para la optimización de las instalaciones del edificio. Con dichas herramientas se dividen las viviendas por zonas, con el objetivo de poder determinar las cargas térmicas en cada una de ellas, introduciendo variables importantes de materiales, horarios de ocupación, cargas por personas, equipo eléctrico para cada una de las zonas de las viviendas. Los resultados obtenidos serán utilizados para analizar y maximizar el número de horas de confort en la vivienda. Una vez realizado el cálculo y obtenidos los resultados, se realizarán los cambios oportunos en el diseño arquitectónico de las viviendas y su orientación. De igual manera, podría obtenerse la calificación energética de



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamiento de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

dicha vivienda, para obtener un certificado de calidad, que contribuiría al carácter subvencionable de la misma. También se podrían extrapolar los resultados obtenidos al diseño de viviendas en dos alturas para minimizar el espacio en planta, realizando modelos con diferentes espesores de láminas y perfiles.



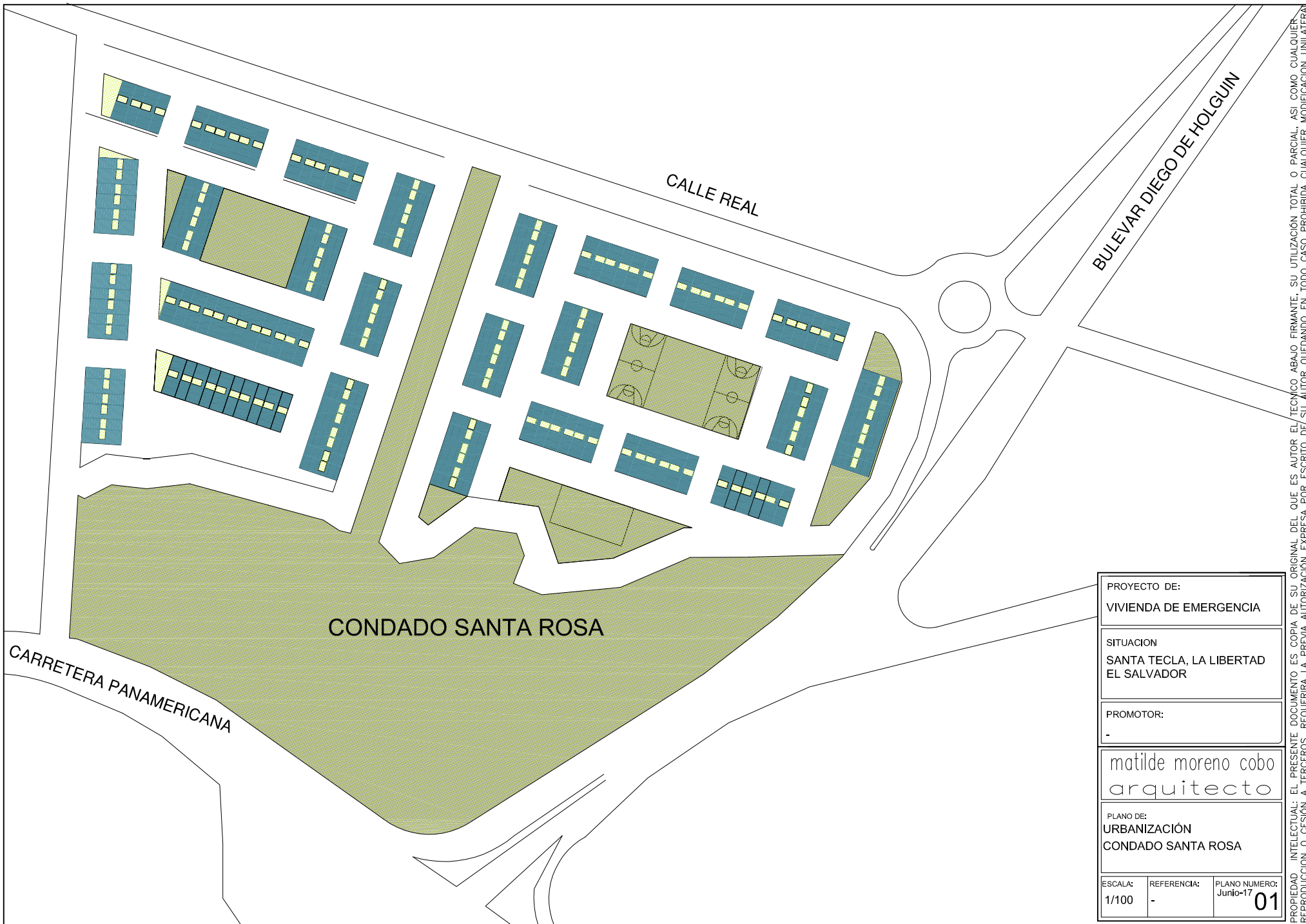
[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamiento de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

ANEXO A. PLANOS ARQUITECTÓNICOS DE LA VIVIENDA.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamiento de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

A 1. Urbanización.



CALLE REAL

BULEVAR DIEGO DE HOLGUIN

CONDADO SANTA ROSA

CARRETERA PANAMERICANA

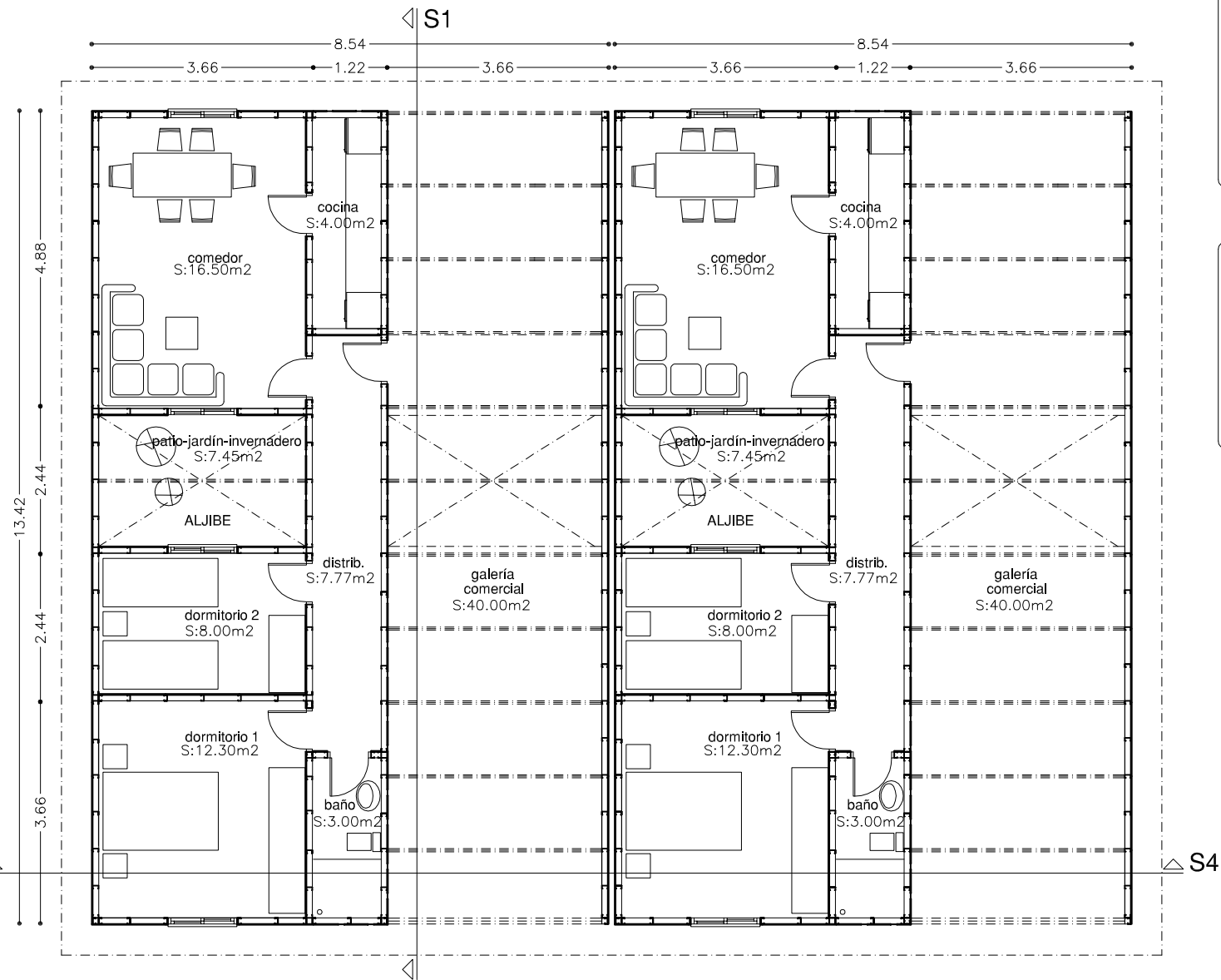
PROYECTO DE: VIVIENDA DE EMERGENCIA		
SITUACION SANTA TECLA, LA LIBERTAD EL SALVADOR		
PROMOTOR: -		
matilde moreno cobo arquitecto		
PLANO DE: URBANIZACIÓN CONDADO SANTA ROSA		
ESCALA: 1/100	REFERENCIA: -	PLANO NUMERO: Junio-17 01

PROPIEDAD INTELECTUAL: EL PRESENTE DOCUMENTO ES COPIA DE SU ORIGINAL DEL QUE ES AUTOR EL TÉCNICO ABAJO FIRMANTE. SU UTILIZACIÓN TOTAL O PARCIAL, ASÍ COMO CUALQUIER REPRODUCCIÓN O CESIÓN A TERCEROS, REQUERIRÁ LA PREVIA AUTORIZACIÓN EXPRESA POR ESCRITO DE SU AUTOR QUEDANDO EN TODO CASO PROHIBIDA CUALQUIER MODIFICACIÓN UNILATERAL



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamiento de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

A 2. Planta de distribución y superficies. 1ª Fase.



1ª FASE. VIVIENDA 2 DORMITORIOS

SUPERFICIES VIVIENDA 1ª FASE		
	VIVIENDA	
	S.UTIL	S.CONSTRUIDA
VIVIENDA	51.57m ²	57.70m ²
T O T A L	51.57m ²	57.70m ²

SUPERFICIES COMERCIAL 1ª FASE		
	LOCAL COMERCIAL	
	S.UTIL	S.CONSTRUIDA
GALERIA COM.	40.00m ²	41.76m ²
T O T A L	40.00m ²	41.76m ²

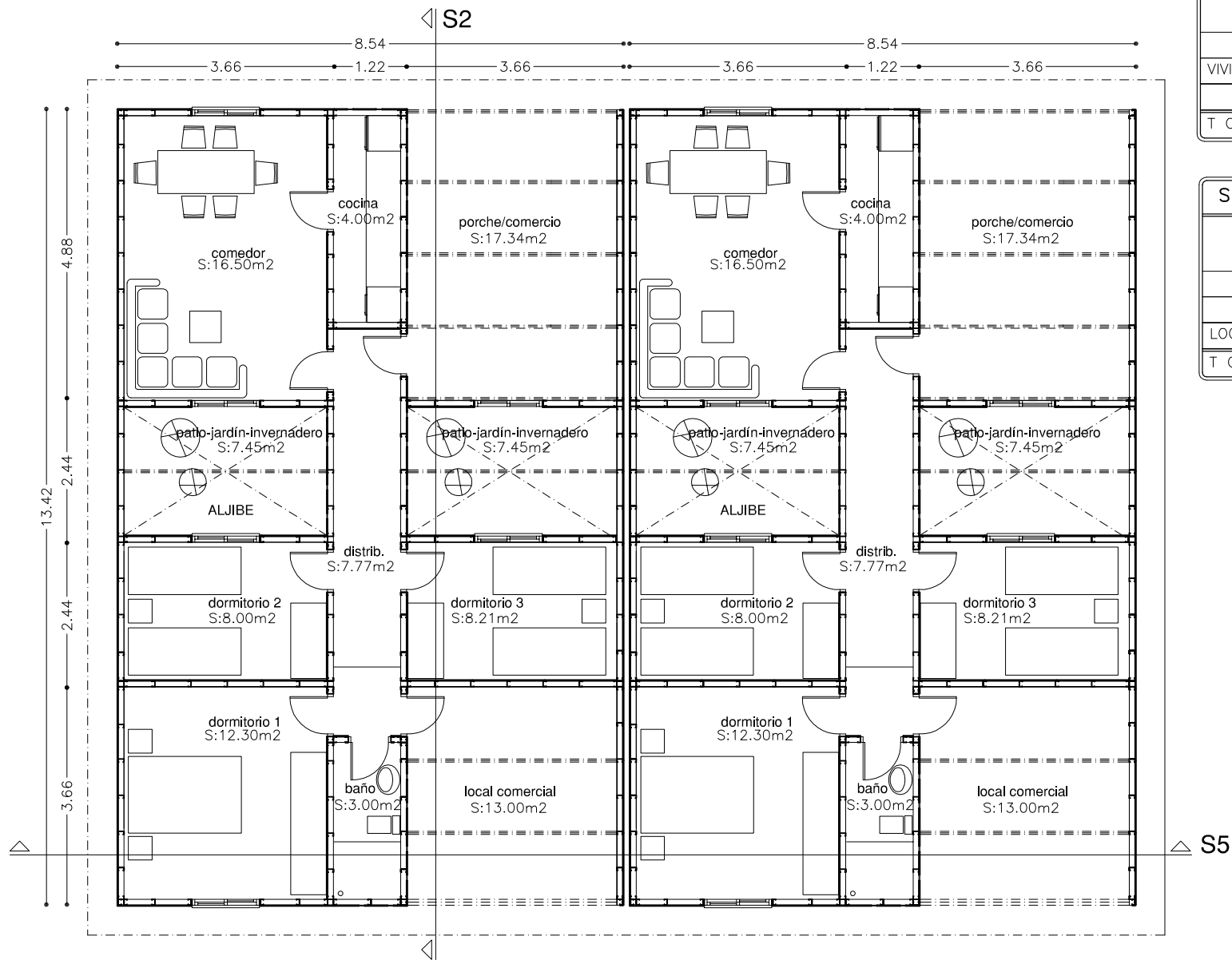
PROYECTO DE: VIVIENDA DE EMERGENCIA		
SITUACION SANTA TECLA, LA LIBERTAD EL SALVADOR		
PROMOTOR: -		
matilde moreno cobo arquitecto		
PLANO DE: DISTRIBUCIÓN Y SUPERFICIES 1ª FASE VIVIENDA DE 2 DORMITORIOS		
ESCALA: 1/100	REFERENCIA: -	PLANO NUMERO: Junio-17 02

PROPIEDAD INTELECTUAL: EL PRESENTE DOCUMENTO ES COPIA DE SU ORIGINAL DEL QUE ES AUTOR EL TECNICO ABAJO FIRMANTE. SU UTILIZACION TOTAL O PARCIAL, ASI COMO CUALQUIER REPRODUCCION O CESION A TERCEROS, REQUERIRA LA PREVIA AUTORIZACION EXPRESA POR ESCRITO DE SU AUTOR. QUEDANDO EN TODO CASO PROHIBIDA CUALQUIER MODIFICACION UNILATERAL.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamiento de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

A 3. Planta de distribución y superficies. 2ª Fase.



2ª FASE. VIVIENDA 3 DORMITORIOS

SUPERFICIES VIVIENDA 2ª FASE		
	VIVIENDA	
	S.UTIL	S.CONSTRUIDA
VIVIENDA	59.78m ²	67.02m ²
T O T A L	59.78m ²	67.02m ²

SUPERFICIES COMERCIAL 2ª FASE		
	LOCAL COMERCIAL	
	S.UTIL	S.CONSTRUIDA
LOCAL COM.	30.34m ²	32.44m ²
T O T A L	30.34m ²	32.44m ²

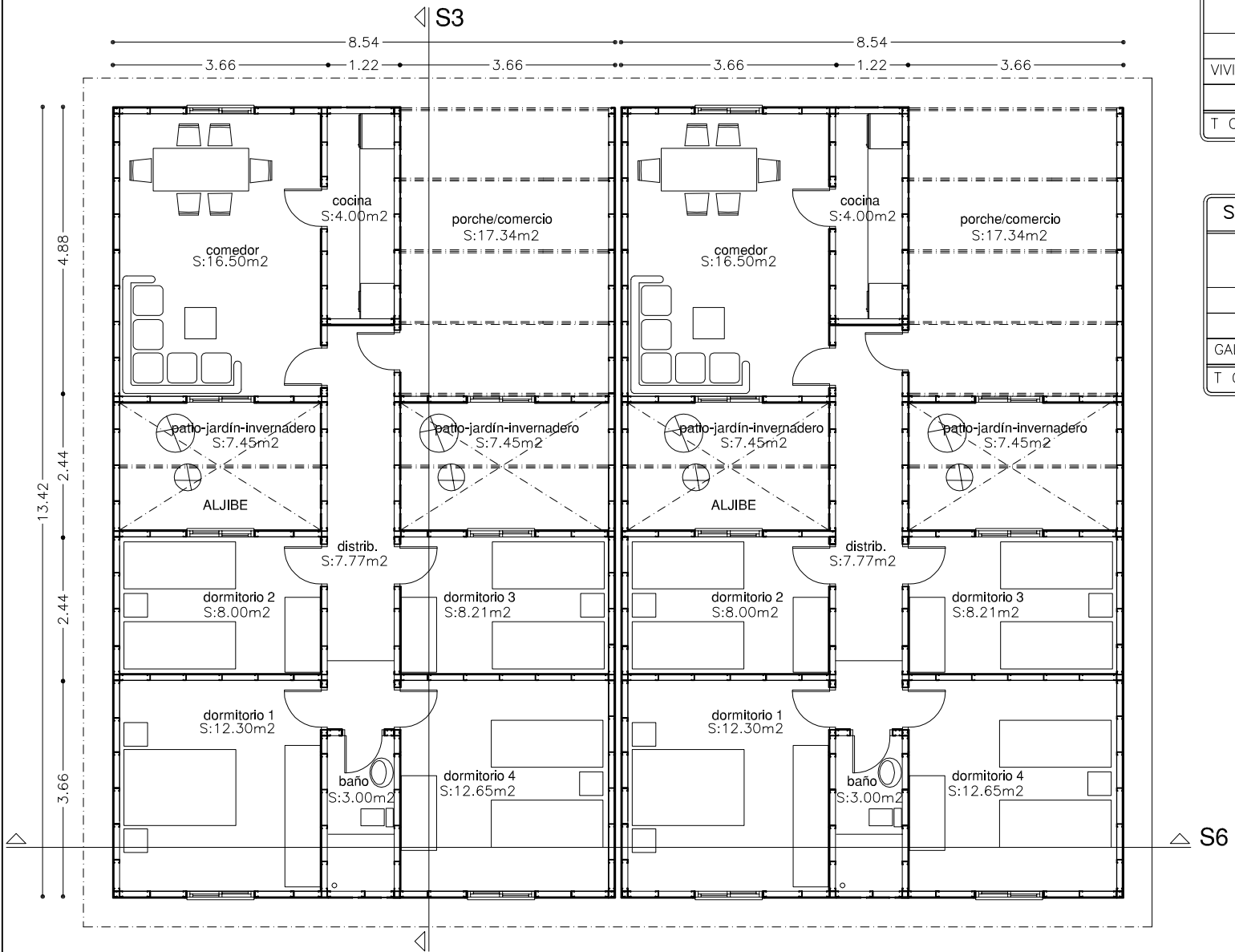
PROYECTO DE: VIVIENDA DE EMERGENCIA		
SITUACION SANTA TECLA, LA LIBERTAD EL SALVADOR		
PROMOTOR: -		
<i>matilde moreno cobo</i> arquitecto		
PLANO DE: DISTRIBUCIÓN Y SUPERFICIES 2ª FASE VIVIENDA DE 3 DORMITORIOS		
ESCALA: 1/100	REFERENCIA: -	PLANO NUMERO: Junio-17 03

PROPIEDAD INTELECTUAL: EL PRESENTE DOCUMENTO ES COPIA DE SU ORIGINAL DEL QUE ES AUTOR EL TECNICO ABAJO FIRMANTE. SU UTILIZACIÓN TOTAL O PARCIAL, ASI COMO CUALQUIER REPRODUCCIÓN O CESIÓN A TERCEROS, REQUERIRÁ LA PREVIA AUTORIZACIÓN EXPRESA POR ESCRITO DE SU AUTOR QUEDANDO EN TODO CASO PROHIBIDA CUALQUIER MODIFICACIÓN UNILATERAL



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamiento de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

A 4. Planta de distribución y superficies. 3ª Fase.



3ª FASE. VIVIENDA 4 DORMITORIOS

SUPERFICIES VIVIENDA 3ª FASE		
	VIVIENDA	
	S.UTIL	S.CONSTRUIDA
VIVIENDA	72.43m ²	81.58m ²
TOTAL	72.43m ²	81.58m ²

SUPERFICIES COMERCIAL 3ª FASE		
	LOCAL COMERCIAL	
	S.UTIL	S.CONSTRUIDA
GALERÍA COM.	17.34m ²	17.88m ²
TOTAL	17.34m ²	17.88m ²

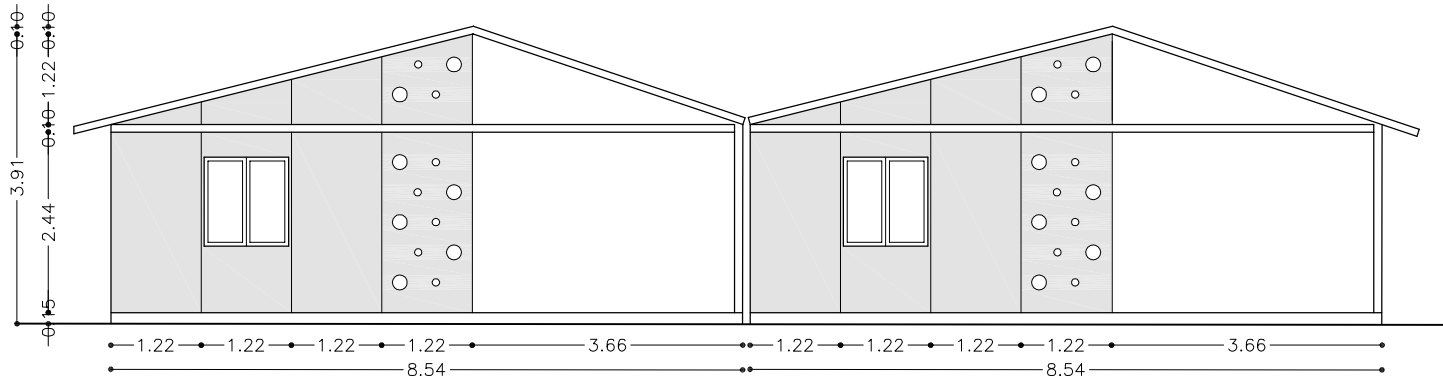
PROYECTO DE: VIVIENDA DE EMERGENCIA		
SITUACION SANTA TECLA, LA LIBERTAD EL SALVADOR		
PROMOTOR: -		
matilde moreno cobo arquitecto		
PLANO DE: DISTRIBUCIÓN Y SUPERFICIES 3ª FASE VIVIENDA DE 4 DORMITORIOS		
ESCALA: 1/100	REFERENCIA: -	PLANO NUMERO: Junio-17 04

PROPIEDAD INTELECTUAL: EL PRESENTE DOCUMENTO ES COPIA DE SU ORIGINAL DEL QUE ES AUTOR EL TECNICO ABAJO FIRMANTE. SU UTILIZACION TOTAL O PARCIAL ASI COMO CUALQUIER REPRODUCCION O CESION A TERCEROS, REQUERRA LA PREVIA AUTORIZACION EXPRESA POR ESCRITO DE SU AUTOR QUEDANDO EN TODO CASO PROHIBIDA CUALQUIER MODIFICACION UNILATERAL

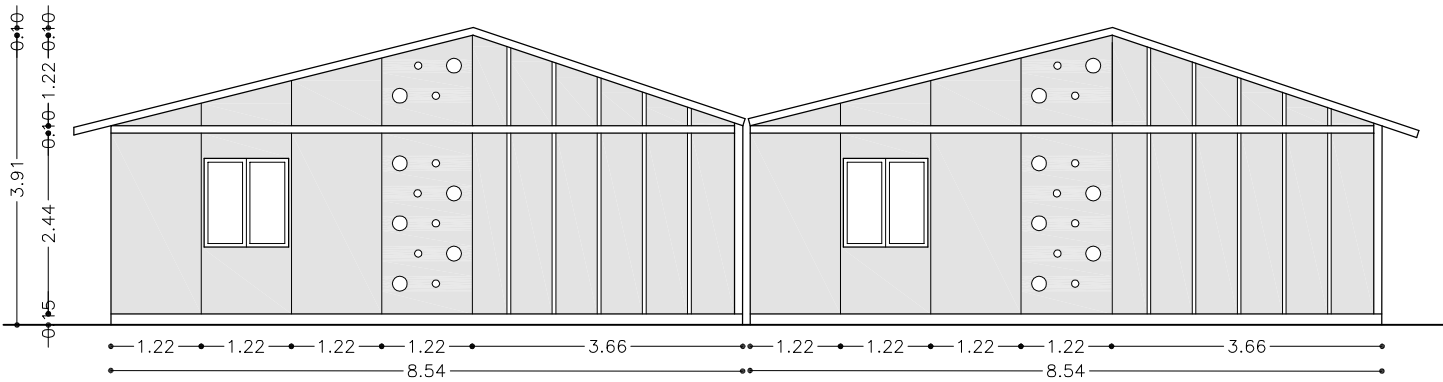


[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamiento de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

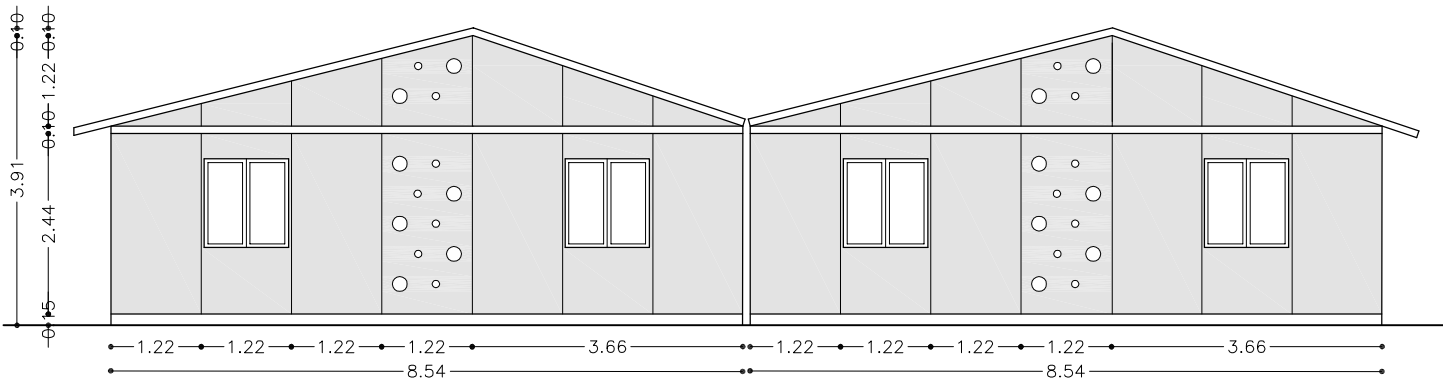
A 5. Alzado frontal y trasero. 1ª, 2ª Y 3ª Fase.



ALZADO FRONTAL Y TRASERO. 1ª FASE



ALZADO FRONTAL Y TRASERO. 2ª FASE



ALZADO FRONTAL Y TRASERO. 3ª FASE

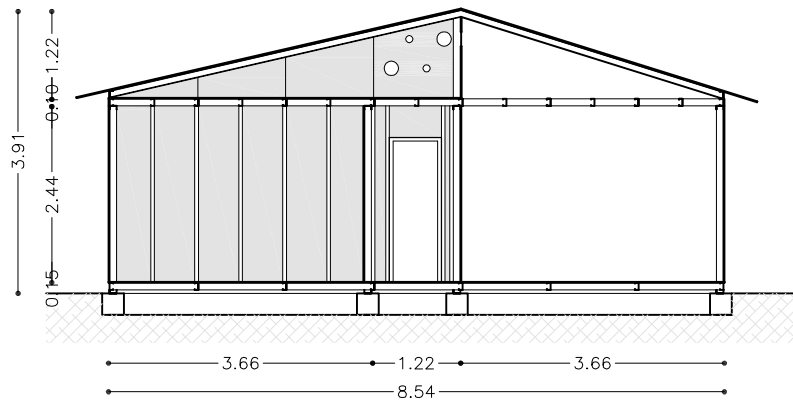
PROYECTO DE: VIVIENDA DE EMERGENCIA		
SITUACION SANTA TECLA, LA LIBERTAD EL SALVADOR		
PROMOTOR: -		
matilde moreno cobo arquitecto		
PLANO DE: ALZADO FRONTAL Y TRASERO 1ª, 2ª Y 3ª FASE		
ESCALA: 1/100	REFERENCIA: -	PLANO NUMERO: Junio-17 05

PROPIEDAD INTELECTUAL: EL PRESENTE DOCUMENTO ES COPIA DE SU ORIGINAL DEL QUE ES AUTOR EL TECNICO ABAJO FIRMANTE. SU UTILIZACION TOTAL O PARCIAL, ASI COMO CUALQUIER REPRODUCCION O CESION A TERCEROS, REQUERIRA LA PREVIA AUTORIZACION EXPRESA POR ESCRITO DE SU AUTOR QUEDANDO EN TODO CASO PROHIBIDA CUALQUIER MODIFICACION UNILATERAL

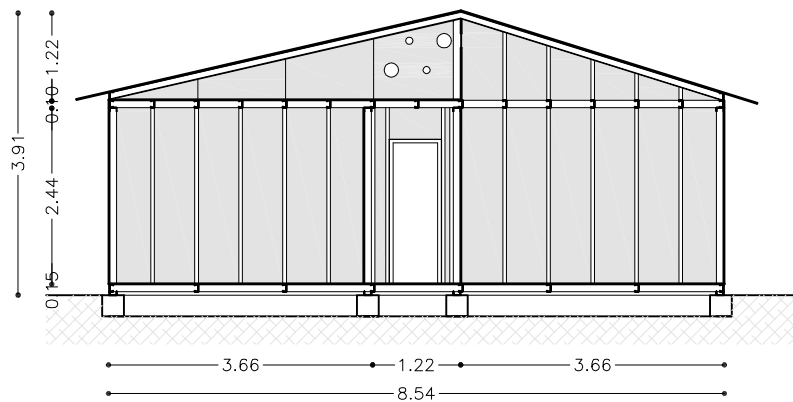
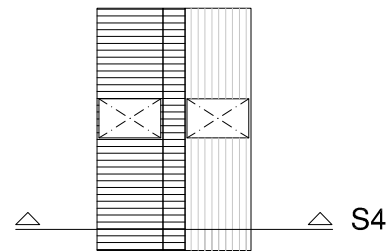


[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamiento de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

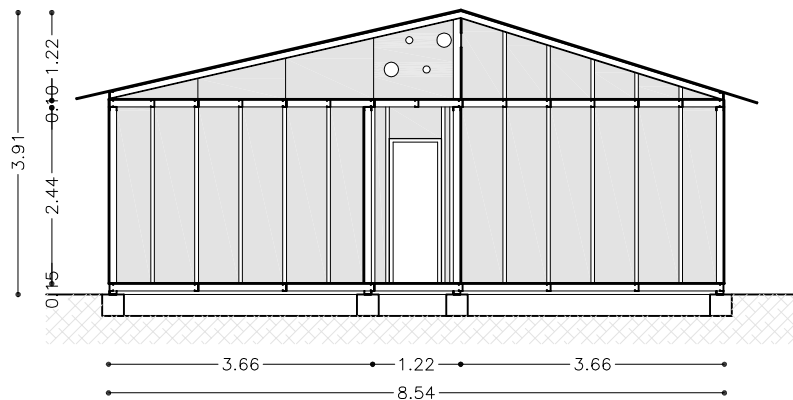
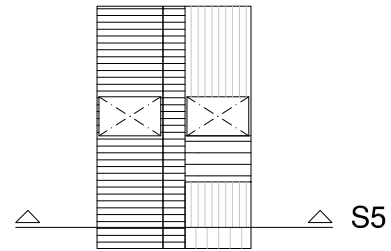
A 6. Secciones transversales. 1ª, 2ª Y 3ª Fase.



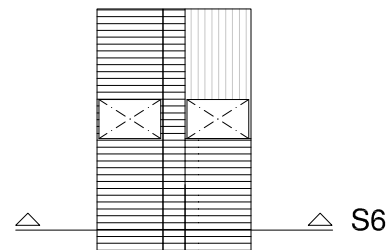
SECCIÓN S4. 1ª FASE



SECCIÓN S5. 2ª FASE



SECCIÓN S6. 3ª FASE



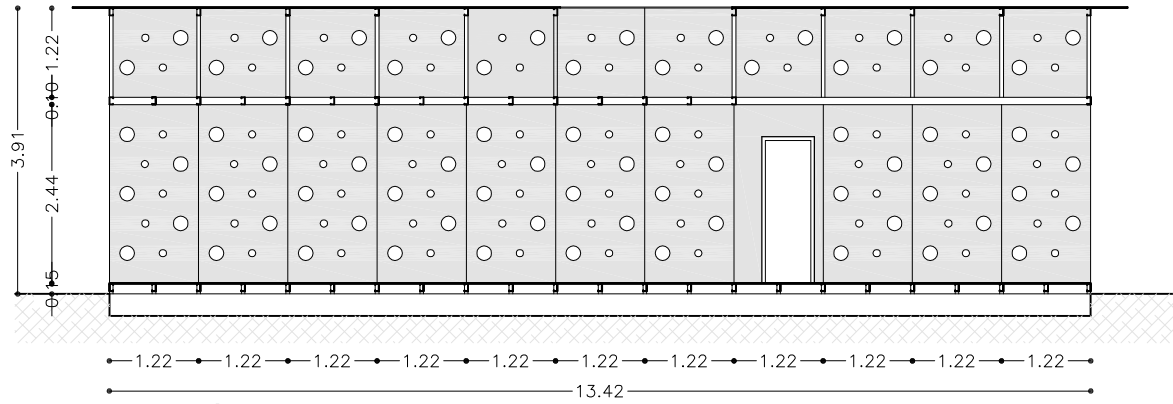
PROYECTO DE: VIVIENDA DE EMERGENCIA		
SITUACION SANTA TECLA, LA LIBERTAD EL SALVADOR		
PROMOTOR: -		
matilde moreno cobo arquitecto		
PLANO DE: SECCIONES TRANSVERSALES 1ª, 2ª Y 3ª FASE		
ESCALA: 1/100	REFERENCIA: -	PLANO NUMERO: Jun16-17 06

PROPIEDAD INTELECTUAL: EL PRESENTE DOCUMENTO ES COPIA DE SU ORIGINAL DEL QUE ES AUTOR EL TECNICO ABAJO FIRMANTE. SU UTILIZACION TOTAL O PARCIAL, ASI COMO CUALQUIER REPRODUCCION O CESION A TERCEROS, REQUERIRA LA PREVIA AUTORIZACION EXPRESA POR ESCRITO DE SU AUTOR QUEDANDO EN TODO CASO PROHIBIDA CUALQUIER MODIFICACION UNILATERAL

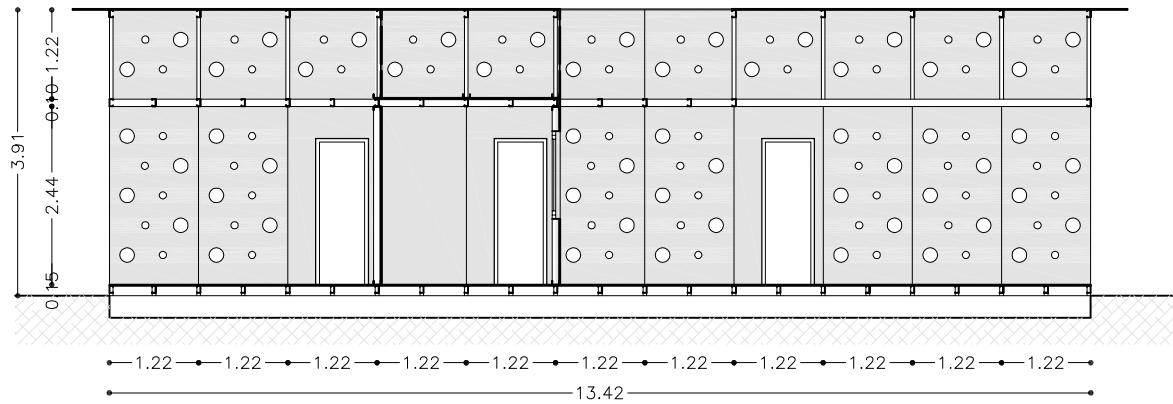


[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamiento de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

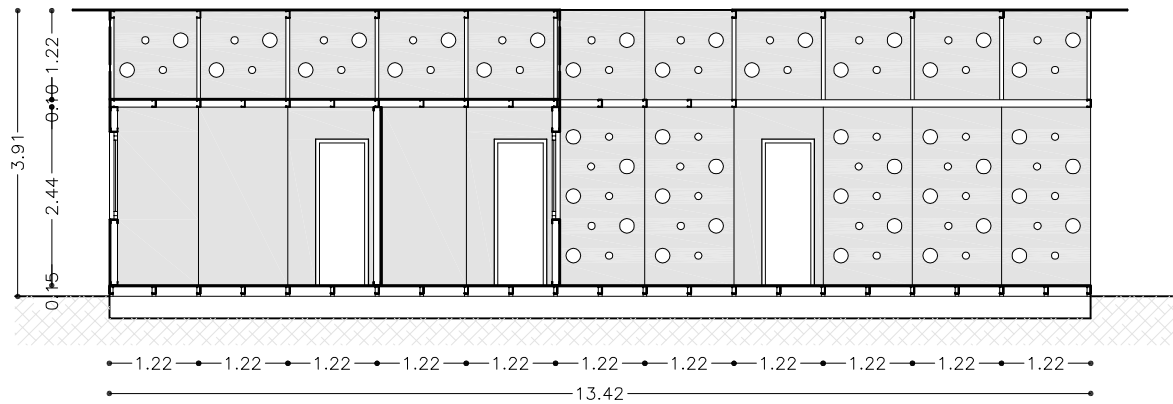
A 7. Secciones longitudinales. 1ª, 2ª Y 3ª Fase.



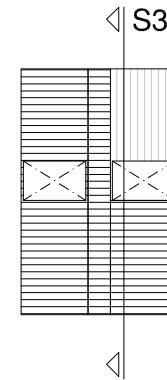
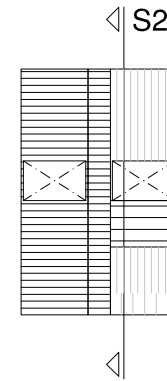
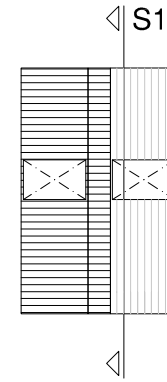
SECCIÓN S1



SECCIÓN S2



SECCIÓN S3

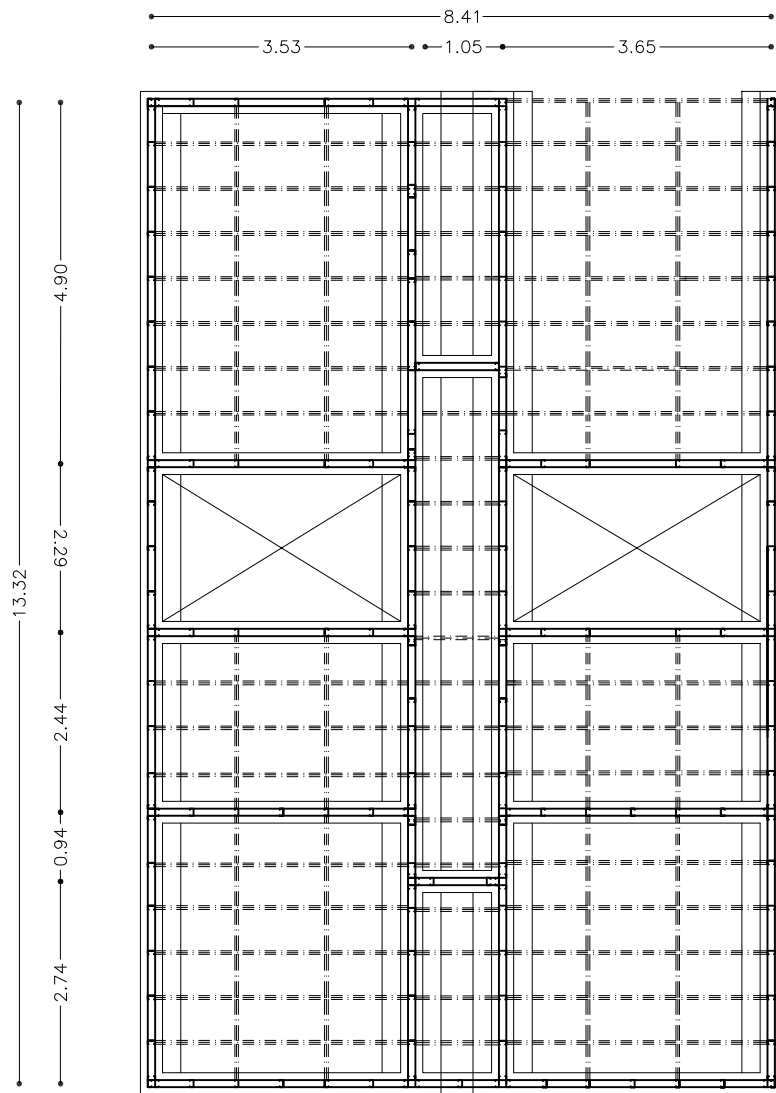


PROYECTO DE:		
VIVIENDA DE EMERGENCIA		
SITUACION		
SANTA TECLA, LA LIBERTAD EL SALVADOR		
PROMOTOR:		
-		
matilde moreno cobo arquitecto		
PLANO DE:		
SECCIONES LONGITUDINALES 1ª, 2ª Y 3ª FASE		
ESCALA:	REFERENCIA:	PLANO NUMERO:
1/100	-	Jun10-17 07

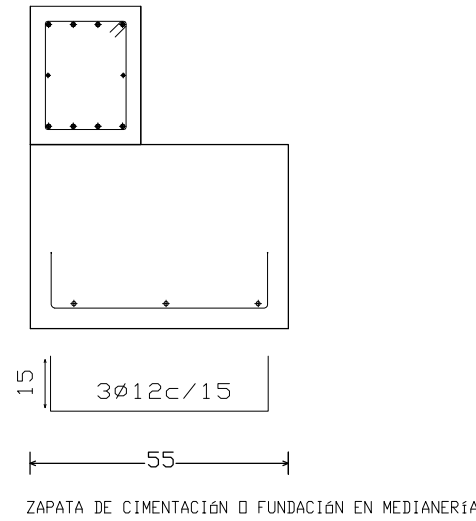
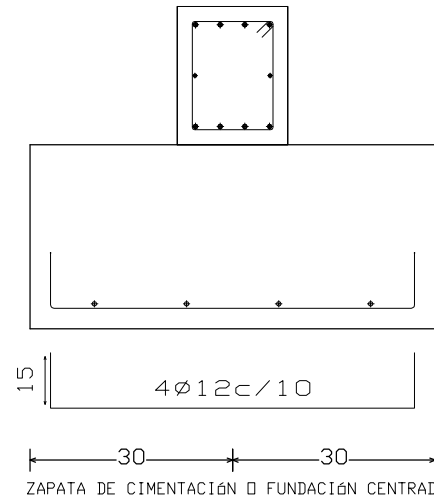


[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamiento de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

A 8. Cimentación.



PLANTA DE CIMENTACIÓN Y REPLANTEO



VIGA DE FUNDACIÓN O VIGA CIMENTACIÓN
 ←30→
 40
 VC. S-1
 Arm. sup.: 4Ø16
 Arm. inf.: 4Ø16
 Arm. piel: 1x2Ø12
 Estribos: 1xØ8c/30

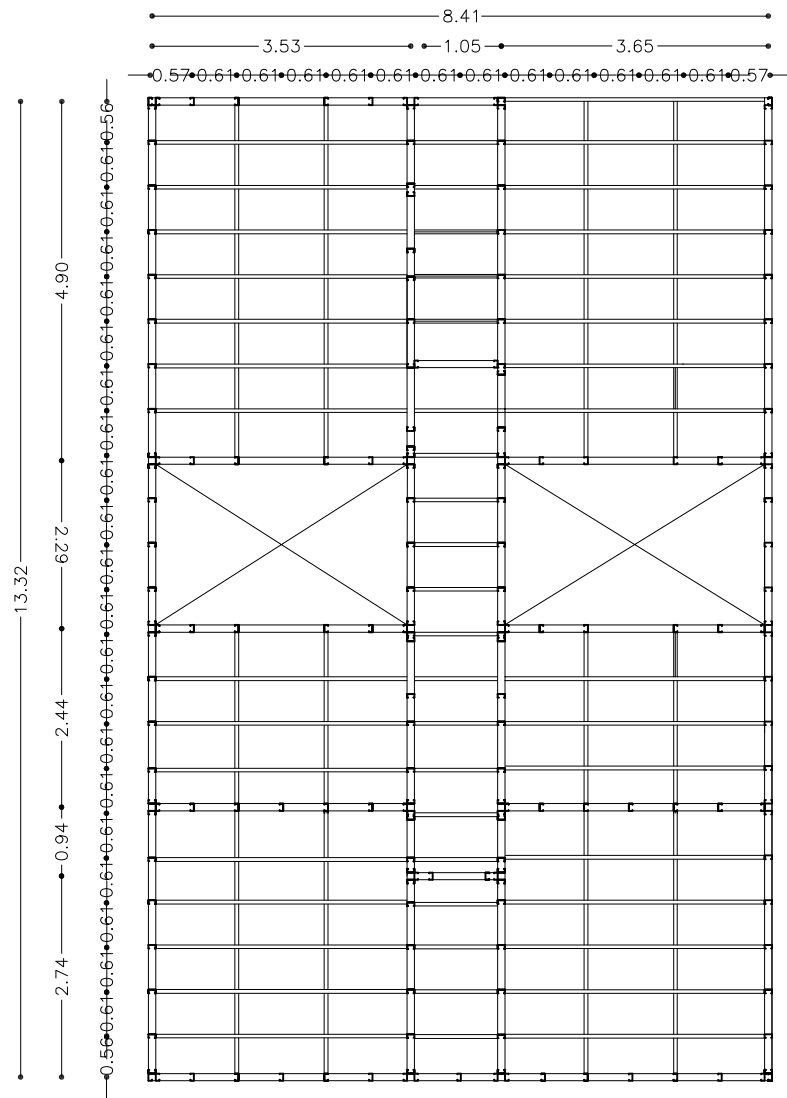
PROYECTO DE: VIVIENDA DE EMERGENCIA		
SITUACION SANTA TECLA, LA LIBERTAD EL SALVADOR		
PROMOTOR: -		
matilde moreno cobo arquitecto		
PLANO DE: PLANTA DE CIMENTACIÓN		
ESCALA: 1/100	REFERENCIA: -	PLANO NUMERO: Junio-17 08

PROPIEDAD INTELECTUAL: EL PRESENTE DOCUMENTO ES COPIA DE SU ORIGINAL DEL QUE ES AUTOR EL TECNICO ABAJO FIRMANTE, SU UTILIZACION TOTAL O PARCIAL, ASI COMO CUALQUIER REPRODUCCION O CESION A TERCEROS, REQUERIRA LA PREVIA AUTORIZACION EXPRESA POR ESCRITO DE SU AUTOR QUEDANDO EN TODO CASO PROHIBIDA CUALQUIER MODIFICACION UNILATERAL

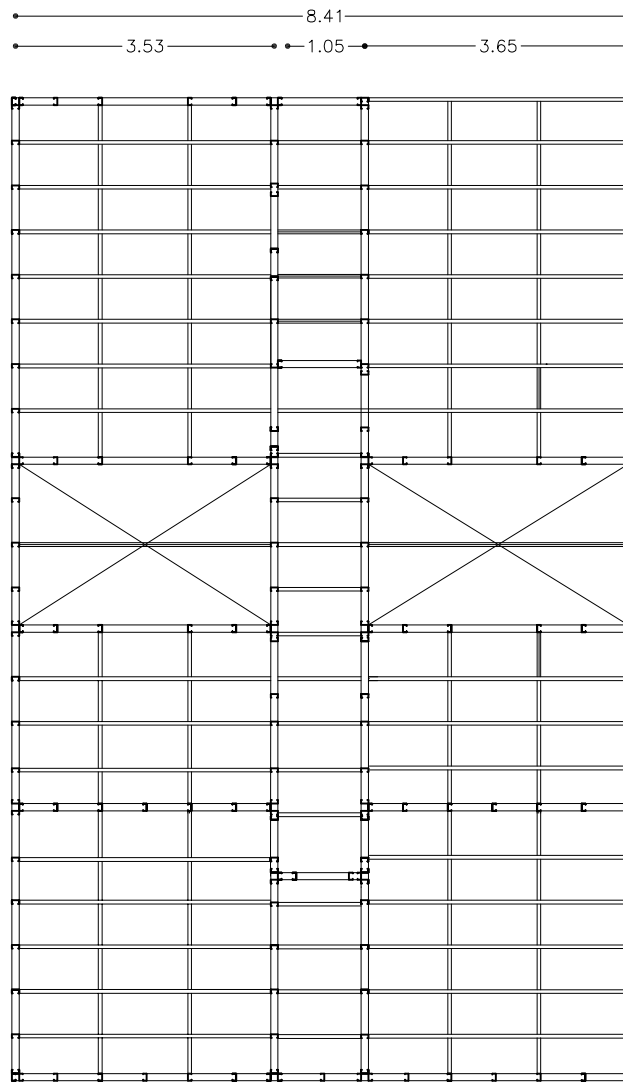


[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamiento de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

A 9. Estructura. Planta baja y cubierta.



PLANTA BAJA



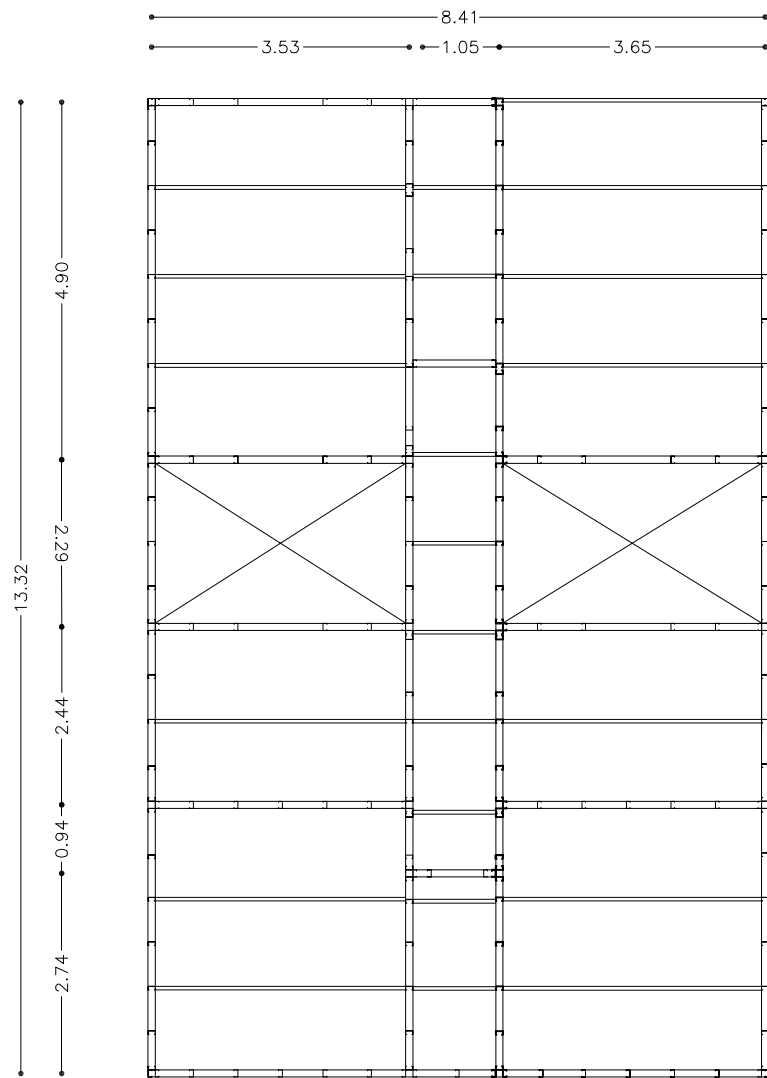
PLANTA CUBIERTA

PROYECTO DE: VIVIENDA DE EMERGENCIA		
SITUACION SANTA TECLA, LA LIBERTAD EL SALVADOR		
PROMOTOR: -		
matilde moreno cobo arquitecto		
PLANO DE: ESTRUCTURA PLANTA BAJA Y CUBIERTA		
ESCALA: 1/100	REFERENCIA: -	PLANO NUMERO: Junio-17 09

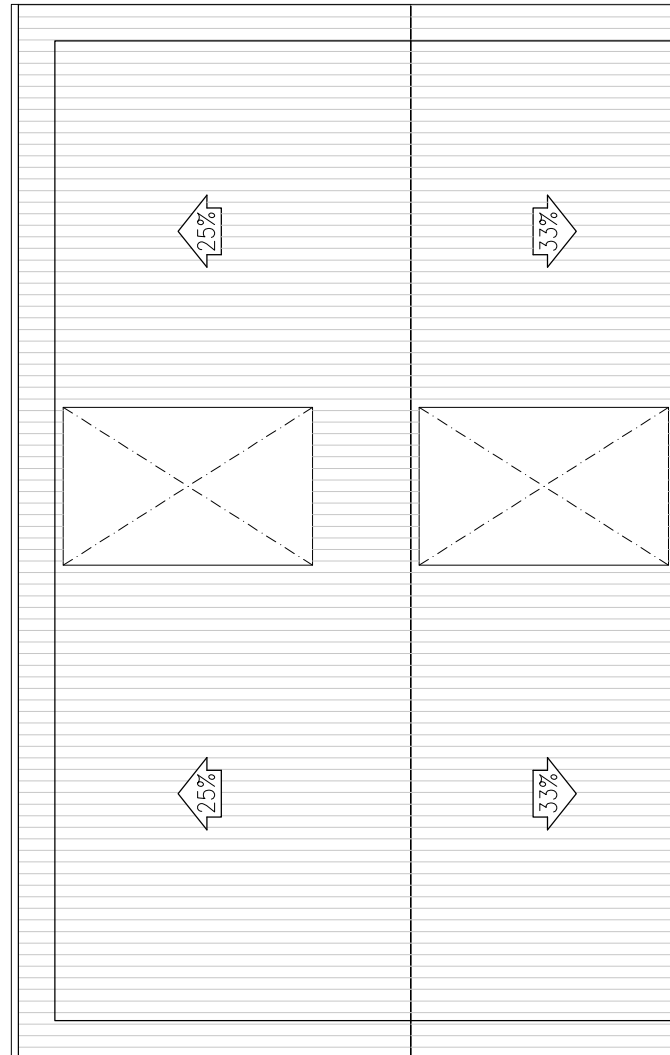


[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamiento de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

A 10. Estructura. Formación de pendientes y cubierta.



FORMACIÓN DE PENDIENTES. CUBIERTA.



PLANTA DE CUBIERTA

PROYECTO DE: VIVIENDA DE EMERGENCIA		
SITUACION SANTA TECLA, LA LIBERTAD EL SALVADOR		
PROMOTOR: -		
matilde moreno cobo arquitecto		
PLANO DE: ESTRUCTURA FORMACIÓN DE PENDIENTES		
ESCALA: 1/100	REFERENCIA: -	PLANO NUMERO: Junio-17 10

PROPIEDAD INTELECTUAL: EL PRESENTE DOCUMENTO ES COPIA DE SU ORIGINAL DEL QUE ES AUTOR EL TECNICO ABAJO FIRMANTE. SU UTILIZACION TOTAL O PARCIAL, ASI COMO CUALQUIER REPRODUCCION O CESION A TERCEROS, REQUERIRA LA PREVIA AUTORIZACION EXPRESA POR ESCRITO DE SU AUTOR QUEDANDO EN TODO CASO PROHIBIDA CUALQUIER MODIFICACION UNILATERAL



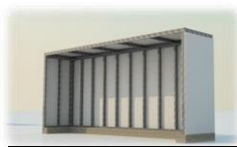
BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. S. C. Laboratorio de Estructuras Grandes de la Universidad Centro Americana, «Proyecto Taishim: Mejoramiento de la Tecnología para la Construcción y División de la Vivienda Popular Sismorresistente.,» El Salvador, 2003-2008.
- [2] Matilde Moreno Cobo, Juan J. Jiménez de Cisneros y Fonfría y Juan de Dios Carazo Álvarez, «Estudio Sobre Viviendas Sociales en Zonas Aisladas con Solución de Estructura Metálica,» de *VIII Congreso de Construcción Metálica y Mixta*, Coimbra, Multicomp Lda, Mem Martins, 2011.
- [3] M. Moreno Cobo, «Definición Preliminar de Necesidades y Condicionantes para la Ejecución de Viviendas Sociales en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador,» Universidad de Jaén, Jaén, 2011.
- [4] «La Izquierda Diario,» 16 Marzo 2017. [En línea]. Available: http://www.laizquierdadiario.com/spip.php?page=gacetilla-articulo&id_article=69495.
- [5] Murtinho V, Simões da Silva L, Correia A, Ferreira H, Rebelo C, Santos P, Gervasio H, Jordao S, Santiago A, Rigueiro C, Mateus G, «Affordable Houses: Um Conceito Modelar de Habitação Unifamiliar Residencial,» de *VII Congreso de Construcción Metálica y Mixta*, vol. II, Lisboa, Portugal, L. Simões da Silva, J. Almeida Fernandes, A. Baptista, E. Caetano, P. Piloto, 2009.
- [6] PNUD, Programa de las Naciones Unidas Para el Desarrollo, «Informe Sobre el Desarrollo Humano. De la pobreza y el consumismo al bienestar de la gente. Propuestas para un Nuevo Modelo de Desarrollo.,» Mundi-Prensa, El Salvador, 2010.
- [7] R. Smith, «Arquitectura+Acero,» Asociación Latinoamericana del Acero [Alacero], 2011. [En línea]. Available: <http://www.arquitecturaenacero.org/proyectos/vivienda-social/uber-shelter>. [Último acceso: 2 Abril 2017].
- [8] Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja, «Terremoto de Haití 2010. Informe de avance anual.,» 2010.
- [9] A. McQuoid, «“Katrina” Hurricane and Its’ Effect on Low-Rise Cold Formed Steel Framing,» de *VII Congreso Construcción Metálica y Mixta*, vol. I, Lisboa, Portugal, L. Simões da Silva, J. Almeida Fernandes, A. Baptista, E. Caetano, P. Piloto, 2009, pp. 27-31.
- [10] A. Instituto Americano de Hierro y Acero, *Manual Americano para el Diseño de Estructuras de Acero Conformado en Frio*, Washington, DC: Steel Framing Alliance, 2007.
- [11] A. Instituto Americano de la Construcción de Acero, *Manual Americano para el Diseño de Construcciones de Acero*, 2010.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

- [12] SAP2000. *Integrated software for structural analysis & design.*, vol. Versión 15, Berkeley: Computers & Structures Inc..
- [13] Eray Baran, Cagatay Alica., «Behavior of cold-formed steel wall panels under monotonic horizontal loading.,» *Journal Of Construction Steel Research*, vol. 79, pp. 1-8, Diciembre 2012.
- [14] Serrette R, Hall G, Ngyen H, «Shear wall values for light weight steel framing,» de *Final Report, AISI*, Washington, January 1996.
- [15] Serrette RL, Encalada J, Juadines M, Nguyen H., «Static racking behavior of plywood,OSB, gypsum, and fiberbond walls with metal framing,» *J Struct Eng*, pp. 1079-86, 1997.
- [16] Green GG, Winter G, Cuykendall TR., «Light gage steel columns in wall-braced panels,» Cornell University, Ithaca NY, 1947.
- [17] S. A., «Buckling of diaphragm-braced columns of unsymmetrical sections and application to wall studs design,» Cornell University, Ithaca NY, 1973.
- [18] Miller TH, Peko z T, «Behavior of gypsum-sheathed cold-formed steel wall studs,» *J Struct Eng*, 1994.
- [19] Serrette R, Ogunfunmi K, «Shear resistance of gypsum-sheathed light-gage steel stud walls,» *J Struct Eng*, nº 122(4), pp. 383-9, 1996.
- [20] CEN, Comité Europeo de Normalización., *Eurocódigo 3: Proyecto de Estructuras de Acero*, Vols. %1 de %2EN 1993-1-3, 2006.
- [21] Fiorino L, Iourio O, Landolfo R., «Sheathed cold-formed steel housing: a seismic design procedure,» *Thin-Walled Struct* , nº 47, pp. 919-30, 2009.
- [22] J. Lange, B. Naujoks, «Behaviour of cold-formed steel shear walls under horizontal and vertical loads,» *Thin- Walled Structures*, vol. 44, pp. 1214-1222, Diciembre 2006.
- [23] Pan CL, Shan MY., «Monotonic shear tests of cold-formed steel wall frames with sheathing,» *Thin-Walled Struct* , vol. 49, pp. 363-70.
- [24] Fiorino L, Corte GD, Landolfo R., «Experimental tests on typical screw connections for cold-formed steel housing,» *J Eng Struct* , vol. 29, pp. 1761-63, 2007.
- [25] Tian YS, Wang J, Lu TJ., «Racking strength and stiffness of cold-formed steel wall frames,» *J Constr Steel Res* , vol. 60, pp. 1069-93, 2004.
- [26] Kim TW, Wilcoski J, Foutch DA, Lee MS., «Shake table tests of a cold-formed steel shear panel,» *Eng Struct* , vol. 28, pp. 1462-70, 2006.
- [27] Al-Kharat M, Rogers CA., «Inelastic performance of cold-formed steel strap braced walls,» *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 63, pp. 460-74, 2007.
- [28] Y. C., «Shear resistance of cold-formed steel framed shear walls with 0.686 mm, 0.762



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

- mm, and 0.838 mm steel sheet sheathing,» *J Eng Struct*, vol. 32, pp. 1522-9, 2010.
- [29] Tian YS, Wang J, Lu TJ., «Axial load capacity of cold-formed steel wall stud with sheathing,» *Thin-Walled Structure*, vol. 45, pp. 537-51, 2007.
- [30] Tian YS, Wang J, Lu TJ, Barlow CY., «An experimental study on the axial behavior of cold-formed steel wall studs and panels,» *Thin-Walled Structure*, vol. 42, pp. 557-73, 2004.
- [31] Vieira Jr LCM, Shifferaw Y, Schafer BW, «Experiments of sheathed cold-formed steel studs in compression,» *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 67, pp. 1554-66, 2011.
- [32] Vieira Jr LCM, Schafer BW., «Lateral stiffness and strength of sheathing braced cold-formed steel stud walls,» *J Eng Struct*, vol. 37, pp. 205-13, 2012.
- [33] N. B., Tragverhalten von Wandtafeln mit Kaltprofilen unter horizontalen und vertikalen Lasten. PhD thesis, TU Darmstadt, November 2002.
- [34] J. Lange, B. Naujoks., «Behaviour of cold-formed steel shear walls under horizontal and vertical loads.,» *Thin-Walled Structure*, vol. 44, pp. 1214-1222, December 2006.
- [35] M. Nithyadharan, V. Kalyanaraman. , «Behaviour of cold-formed steel shear wall panels under monotonic and reversed cyclic loading,» *Thin-Walled Structure*, vol. 60, pp. 12-23, November 2012.
- [36] J.Martínez-Martínez , Lei Xub., «Simplified nonlinear finite element analysis of buildings with CFS shear wall panels,» vol. 67, pp. 565-575, April 2011.
- [37] Matilde Moreno Cobo, Juan de Dios Carazo Álvarez, Juan José Jiménez de Cisneros y Fonfría, «Experimental Behaviour of a House Section Built Full Scale with Cold-formed Steel Shear Wall Panels Under Monotonic and Cyclic loading.,» 2017.
- [38] República de El Salvador, Ministerio de Obras Públicas, *Norma Técnica de Diseño por Sismo de El Salvador*, El Salvador: Asociación Salvadoreña de Ingerieros y Arquitectos., 1997.
- [39] República de El Salvador, MInisterio de Obras Públicas., *Norma Técnica Para el Diseño por Viento*, El Salvador: Asociación Salvadoreña de Ingenieros y Arquitectos, 1997.
- [40] REUTERS, «El Tiempo. Latinoamérica,» 23 Marzo 2017. [En línea]. Available: <http://www.eltiempo.com/mundo/latinoamerica/inundaciones-en-peru-por-fenomeno-del-nino-costero-70658>. [Último acceso: 12 Abril 2017].
- [41] Gabriel Ricardo Saúl Molina Murillo, Luis Samaí Santos Ramírez, Trabajo de Graduación: Viviendas Bioclimáticas de Interés Social y Media Alta con Enfoque de Sustentabilidad para la Zona Costera de la Paz, Antiguo Cuscatlán,: Facultad De Ingeniería Y Arquitectura de la UCA., 2010.
- [42] L. Benévolo, *Historia de la Arquitectura Moderna*, Barcelona: G. Gili, 1999.



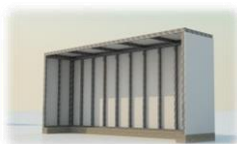
[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

- [43] F. L. Warner, *Pilgrim Trails, A Plymouth-to-Provincetown Sketchbook*, Boston: The Atlantic Monthly Press, 2011.
- [44] E. García Marquina, «Estudio Diagnóstico Sobre las Posibilidades de Desarrollo de una Edificación Residencial Industrializada Dirigida a Satisfacer las Necesidades de la Población.» Programa Eraikal. Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial y Vivienda., Euskadi, 2013.
- [45] F. Benito Eggers, *Cambios Estéticos en la Casa Prefabricada en Chile*. Tesis para Grado de Magister., Santiago, Chile: Universidad de Chile, 2012.
- [46] B. Bergdoll, *Home Delivery: Fabricating the Modern Dwelling (BIRKHÄUSER)*, R. Broadhurst, Ed., New York, 2008.
- [47] C. Gray, «Cast-Iron Builder, Iron-Clad Renown,» *The New York Times*, p. RE6, 19 Septiembre 2008.
- [48] I. A. Waybackmachine., «Restoration of the Commissioner's House,» [En línea]. Available: <http://web.archive.org/web/20130814160338/http://www.bermudamall.com/marmuse/commissioner/restorat.htm>.
- [49] Germán Cueto, Diego Martínez, *Steel Framing*. Tesina., 2012.
- [50] R. L. Wei-Wen Yu, *Cold Formed Steel Design*, John Wiley & Sons, Inc. , 2010.
- [51] Sears Brands, «Sears Archives,» 21 Noviembre 2013. [En línea]. Available: <http://www.searsarchives.com/>. [Último acceso: 18 Abril 2017].
- [52] S. Giedion, *Walter Gropius: Work and Teamwork*, New York: Dover Publications, 1992.
- [53] W. Nerdinger, *Walter Gropius: Opera Completa*, Milano Electa, 1989, pp. 319-320.
- [54] W. Gropius, *GROPIUS, Walter: Rebuilding our communities.*, Chicago: P. Theobald, 1945, pp. 38-43.
- [55] W. Gropius, *La nueva arquitectura y la Bauhaus.*, Barcelona: Lumen, 1966.
- [56] W. Nerdinger, *The Walter Gropius Archive: an illustrated catalogue of the drawings, prints, and photographs in the Walter Gropius Archive at the Busch-Reisinger Museum.*, vol. 3, Harvard University, Nueva York: Garland, 1990.
- [57] Julius Shulman, Elizabeth A. T. Smith, Peter Gössel, *Case Study House. The Complete CSH Program 1945-1966.*, Taschen.
- [58] G. Herbert, «The Colonial Portable Cottage,» *Journal of the Society of Architectural Historians*, vol. 4, pp. 26-75, December 1972.
- [59] H. LLC, «Manning Colonial Cottage for Emigrants 1833-1840,» [En línea]. Available: <http://www.shelterpress.com/categories/homes/history-prefabricated-home/manning->



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

- portable-colonial-cottage-emigrants-1833-1840.html. [Último acceso: Abril 2017].
- [60] R. E. Smith, *Prefab Architecture: A Guide to Modular Design and Construction*, Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2010.
- [61] P. Berdini, Walter Gropius, B. G. Gili, Ed., 1994, pp. 128-129.
- [62] G. C. Argan, *Walter Gropius y la Bauhaus*, Barcelona Gustavo Gili, 1938.
- [63] B. Happe, *Haus Auerbach: von Walter Gropius mit Adolf Meyer*, Tübingen: Wasmuth, 2003.
- [64] J. M. Fitch, *Walter Gropius*, Barcelona: Bruguera, 1964.
- [65] C. N. d. Museos, *Walter Gropius: Obras y Proyectos*, Madrid, 1975.
- [66] W. Nerdinger, *Walter Gropius: 1883-1969*, Milano: Electa, 2006.
- [67] G. Lupfer, *Walter Gropius, propagandista del nuevo diseño*, Madrid: Taschen, 2006.
- [68] DROSTE, M. y ARCHIVO BAUHAUS, *Bauhaus, 1919-1933*, Madrid: Benedikt Taschen, 1990.
- [69] Asociación Latinoamericana del Acero, ALACERO, «Arquitectura+Acero. Libertad y Diseño.» [En línea]. Available: <http://www.arquitecturaenacero.org/proyectos/vivienda-social/casas-marco-polo>. [Último acceso: Abril 2017].
- [70] «Fundación Salvadoreña de Desarrollo y Vivienda Mínima, FUNDASAL,» [En línea]. Available: <http://www.fundasal.org.sv/?lang=es>. [Último acceso: Abril 2017].
- [71] «TECHO, Un techo Para mi País.,» [En línea]. Available: <http://www.techo.org/paises/elsalvador/>. [Último acceso: Abril 2017].
- [72] W. Blaser, *Mies van der Rohe*, Barcelona: G. Gili., 1980.
- [73] K. Frampton, *Historia Crítica de la Arquitectura Moderna*, Barcelona: G. Gili, 2009.
- [74] A.-. B. Kilic, 15 Enero 2016. [En línea]. Available: http://www.la-razon.com/mundo/Rusia-inicia-operacion-humanitaria-Siria_0_2418358191.html. [Último acceso: 12 Abril 2017].
- [75] «Madagascar Foundantion,» [En línea]. Available: <http://www.madagascar-america-foundation.org/sp/blog-2/>. [Último acceso: 13 Abril 2017].
- [76] Asociación para la Cooperación y el Desarrollo Comunal de El Salvador (CORDES) y la Asociación Catalana de Ingeniería Sin Fronteras (ESF-Catalunya), «Plan Director para el Abastecimiento y Saneamiento de Aguas en el Sur de la Libertad.,» Instituto de Estudios Políticos para América Latina y África., El Salvador, 2002.



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

- [77] C. Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2017. [En línea]. Available: http://estadisticas.cepal.org/cepalstat/WEB_CEPALSTAT/perfilesNacionales.html?idioma=spanish. [Último acceso: 24 Abril 2017].
- [78] «El inolvidable rostro de la tragedia,» *El Diario de Hoy*, 2001.
- [79] AECID, «Fondo de Cooperación para Agua y Saneamiento,» Ministerio de Asuntos Exteriores y Cooperación, Madrid, España, 2007.
- [80] M. Ministerio de Educación, «Plan Nacional de Educación 2021,» El Salvador, 2005.
- [81] AECID, «Programa de Cooperación Regional con Centroamérica. Programa de Mejora de la calidad educativa,» Ministerio de Asuntos Exteriores y Cooperación, Madrid, 2006.
- [82] AECID, «Programa Patrimonio para el Desarrollo de la Cooperación Española,» Ministerio de Asuntos Exteriores y de Cooperación, Madrid, 2016.
- [83] S. T. y. d. P. Gobierno de El Salvador, «Plan Quinquenal de Desarrollo del Gobierno de El Salvador.2014-2019,» Santa Tecla, 2015.
- [84] AECID, «III Plan Director de la Cooperación Española 2009-2012,» Ministerio de Asuntos Exteriores y de Cooperación, Madrid, 2009.
- [85] Gobierno de El Salvador, «Fondo Social Para la Vivienda,» [En línea]. Available: <http://www.fsv.gob.sv/historia/>. [Último acceso: 2017 Abril 14].
- [86] Gobierno de El Salvador, FUNDASAL, UCA, ASI, OPAMS, «Política Nacional de Vivienda y Hábitat de El Salvador,» San Salvador, 2014.
- [87] Plycem, *Guía de Aplicaciones Plycem. Paredes Exteriores*, 2005.
- [88] Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, «Boletín Climatológico Mensual,» San Salvador, 2017.
- [89] U. Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, «Proyecto SWERA, Evaluación del Potencial Eólico y Solar en El Salvador,» Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, San Salvador, 2005.
- [90] T. y. V. Ministerio de Obras Públicas, «Reglamento para la Seguridad Estructural de las Construcciones,» San Salvador, 1996.
- [91] Ministerio de Obras Públicas, Universidad de El Salvador, ASIA, UCA, «Norma Especial de Diseño y Construcción de Viviendas,» San Salvador, 1997.
- [92] Instituto Americano del Hormigón, «Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural,» Farmington Hills, Michigan, 2005.
- [93] O. Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador, «Reformas al Reglamento a la Ley de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Área Metropolitana



[Ejecución de Viviendas Sociales Tipo Alojamientos de Emergencia en Zonas Rurales Aisladas de El Salvador]

de San Salvador y de los Municipios Aledaños,» San Salvador, 2009.

- [94] A. p. I. C. y. e. D. C. d. E. S. (. Ingeniería Sin Fronteras (ESF-Catalunya), «Plan Director para el Abastecimiento y Saneamiento de aguas en el Sur de la Libertad,» San Salvador, 2001.
- [95] Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Gobierno de El Salvador, «Boletín Climatológico Anual,» 2015.
- [96] Antonio Adolfo Blanco Rauda, César Antonio Galdámez Núñez, «Trabajo de graduación: Diseño de plancha a gas eficiente.,» Antiguo Cuscatlan, El Salvador, C.A., 2012.
- [97] Naciones Unidas Environment, «Swedish International Development Cooperation Agency,» 2006.
- [98] O.C. ZienKiewicz, R.L. Taylor, El Método de los Elementos Finitos, Barcelona: Artes Gráficas Torres, S.A..
- [99] Lars Andersen and Søren R.K. Nielsen, Elastic Beams in Three Dimensions, Aalborg University, 2008.
- [100] Dennis A. Kross, A Study of Stiffness Matrices for the Analysis of Flat Plates, Springfield, Virginia: National Aeronautics and Space Administration, 1968.
- [101] Sociedad Americana para Ensayos y Materiales, *ASTM A-370, Ensayos de Tracción y Flexión para Varillas de Alta Resistencia (barras reforzadas)..*
- [102] Sociedad Americana para Ensayos y Materiales, *ASTM C 617-12, Método de Ensayo para Esfuerzo de Compresión de Morteros de Cemento Hidráulico (Usando Especímenes Cúbicos de 2 pulg. o 50 mm)..*
- [103] SPFA, «SPFA Strupanel World System construcción modular ecológica,» [En línea]. Available: <http://www.iempresa.net/clientes/spfa-pagina-web/>. [Último acceso: 13 Abril 2017].
- [104] Ministerio de Obras Públicas Transporte y Vivienda, Gobierno de El Salvador, «Reglamento para la Seguridad Estructural de las Construcciones,» San Salvador, 1996.