



Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Ingeniería  
Maestría en Arquitectura

**“DISEÑO DE SISTEMA DE MUROS MODULARES, CON FACULTAD DE REUTILIZACIÓN Y DESMONTAJE PARA UNA VIVIENDA REPLICABLE DE ESTRUCTURA DE ACERO”.**

**Tesis**

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de Maestría en Arquitectura

**Presenta:**

Arq. Luis Eduardo López Flores

**Dirigido por:**

M. C. Héctor Ortiz Monroy

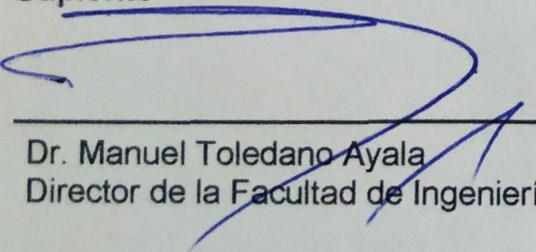
M.C Héctor Ortiz Monroy  
Presidente

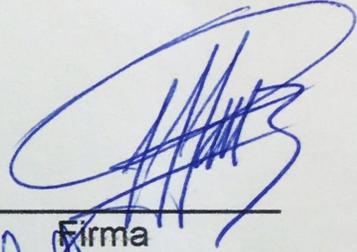
M.C Verónica Leyva Picazo  
Secretario

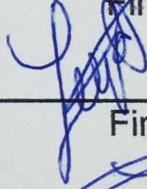
M. Arq. Guillermo Iván López Domínguez  
Vocal

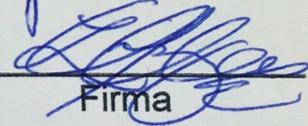
Dra. Stefania Biondi Bianchi  
Suplente

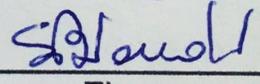
M. A. S. José Granados Navarro  
Suplente

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Manuel Toledano Ayala  
Director de la Facultad de Ingeniería

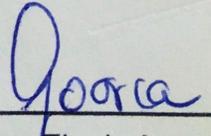
  
\_\_\_\_\_  
Firma

  
\_\_\_\_\_  
Firma

  
\_\_\_\_\_  
Firma

  
\_\_\_\_\_  
Firma

  
\_\_\_\_\_  
Firma

  
\_\_\_\_\_  
Dr. en C. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña  
Director de Investigación y Posgrado

## RESUMEN

Dentro de la industria de la construcción, existen diferentes tipos de sistemas constructivos, todos derivados de una serie de factores y circunstancias típicas de las regiones donde surgen. Podemos considerar que, estos sistemas han sido objeto de un análisis centrado en el efecto negativo que contribuye en relación a la contaminación hacia el medio ambiente por los procesos de fabricación de los materiales que los conforman. Sin embargo, también es importante reconocer y reflexionar sobre la evolución y la interacción que existe a través del tiempo y el avance científico y tecnológico aplicado a estas técnicas constructivas.

El uso de muros de carga, como elementos que generan solución al confinamiento de espacios arquitectónicos, ha resultado ser el más utilizado por los constructores, quienes combinan este tipo de muros con estructuras de acero de refuerzo, una situación que es incongruente como parte del proceso de un pensamiento constructivo evolucionado. Por este motivo, esta investigación propone revisar desde el surgimiento de la necesidad de estos elementos, hasta el enfrentamiento con la concepción de los mismos, a través de un nuevo pensamiento constructivo y congruente, analizando las diversas etapas que conforman la problemática de la producción tradicional y prefabricada de muros.

**(Palabras clave:** modularidad, sustentabilidad, sistemas constructivos)

## SUMMARY

Within the construction industry, there are different types of them, all derived from a series of factor and circumstances typical of the regions where they arise. We can consider systems, both being subjects of an analysis focused on the negative effect that contributes to the environment pollution, the materials' manufacture that make up both systems. However, it is also important to recognize and reflect on the evolution and interaction that exist between both over time and the scientific and technological advance applied to these constructive techniques.

The use of load-bearing walls, as elements that generate solution to the confinement of architectural spaces, has turned out to be the most used by builders, who combine this type of walls with reinforcing steel structures, a situation that is incongruent as part of the process of an evolved constructive thought. For this reason, this research proposes to review from the emergence of the need for these elements, to the confrontation with the conception of them, through a new constructive and congruent thinking, analyzing the various stages that make up the constructive production problem of traditional and prefabricated walls.

**(Key words:** modular, Sustainability, Constructionsystems)

Para Emma...

" Yo puedo hacerlo papá!"

A mis padres...

Por su amor y ejemplo.

## AGRADECIMIENTOS

En especial agradecimiento a mi director de tesis M. Arq. Héctor Ortiz Monroy, quien supo motivarme y encausarme en el tema elegido, teniendo a bien encaminarme hacia la culminación del presente trabajo de investigación.

A mis sinodales, M. Arq. Verónica Leyva Picazo, por enseñarme a conformar y estructurar las líneas de pensamiento y análisis que comprenden el desarrollo de mi trabajo de investigación, así como, al M. Arq. Guillermo Iván López Domínguez, por su aporte, a través de reflexiones y definiciones acertadas en mi tema.

De igual forma, agradezco a la Dra. Estefanía Biondi Bianchi, por generar en un servidor, un pensamiento sensible a cerca de mi desempeño como diseñador y constructor, así como, al M. Arq. José Granados Navarro, por su sincera amistad y por compartir conmigo, sus experiencias y esfuerzos encaminados a mejorar nuestros procesos constructivos con base en un pensamiento sustentable y humano.

Al consejo nacional de ciencia y tecnología CONACYT, por la confianza en la educación y el esfuerzo que, como alumnos, aportamos a la sociedad, a través de nuestro trabajo de investigación y sobre todo por el financiamiento de nuestras actividades de investigación.

Al Dr. Manuel Toledano Ayala, por la confianza depositada en un servidor, en la etapa de construcción de la Casa Solar Experimental y su apoyo sincero en todos los sentidos.

De manera muy especial quiero agradecer de forma sincera al Ing. Jaime Fernando Sandoval Walter, quien a través de su experiencia profesional y su visión personal, compartió conmigo gran parte de sus reflexiones a cerca de la concepción de estructuras y la manera de proceder en obra, por lo que su aporte y amistad, han sido fundamentales en mi vida profesional y personal.

**1. CAPÍTULO I ..... 15**

**PLANTEAMIENTO ..... 15**

**1.1. INTRODUCCIÓN..... 15**  
**1.2. ANTECEDENTES ..... 15**  
**1.3. FORMULACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN ..... 18**  
1.3.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN ..... 18  
1.3.2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN ..... 20  
**1.4. OBJETIVOS ..... 21**  
1.4.1. OBJETIVO GENERAL ..... 21  
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... 21  
**1.5. ÁMBITO ESPACIAL Y TEMPORAL..... 22**  
**1.6. HIPÓTESIS..... 22**  
**1.7. METODOLOGÍA ..... 22**  
1.7.1. METODOLOGÍA, DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN..... 24  
**1.8. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN ..... 29**

**2. CAPITULO II ..... 29**

**REVISIÓN DE LA LITERATURA..... 29**

**2.1. MODELO CONSTRUCTIVO EN MÉXICO..... 29**  
2.1.1. LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA Y SU DEMANDA. .... 29  
2.1.2. SISTEMA CONSTRUCTIVO TRADICIONAL..... 33  
2.1.3. SUSTENTABILIDAD PROGRESIVA..... 43  
2.1.4. IMPACTO AMBIENTAL DE LA CONSTRUCCIÓN..... 45  
2.1.5. SISTEMAS MIXTOS Y ADECUACIONES ..... 49  
2.1.6. MODULACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN ..... 51  
2.1.7. RELACIÓN COSTO-TÉCNICA CONSTRUCTIVA ..... 53  
**2.2. DESDE LA ARQUITECTURA..... 57**  
2.2.1. TECNOLOGÍA Y PROCESOS CONSTRUCTIVOS ..... 57  
**2.3. ASPECTO SOCIAL..... 59**  
2.3.1. EMPLEO Y COMERCIALIZACIÓN ..... 59  
2.3.2. EVOLUCIÓN EN AUTOCONSTRUCCIÓN, TECNOLOGÍA VS TRADICIÓN ..... 61  
**2.4. TÉCNICA APLICADA EN LA ARQUITECTURA ..... 63**  
2.4.1. NUEVO PENSAMIENTO CONSTRUCTIVO ..... 63

**3. CAPÍTULO III ..... 65**

**METODOLOGÍA, DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN ..... 65**

**3.1. PROPUESTA DE VARIABLES ..... 65**

3.1.1.	DIMENSIONAMIENTO DE ESPACIOS HABITABLES .....	65
3.1.2.	REQUERIMIENTOS Y FUNCIONALIDAD DE MÓDULOS .....	70
3.1.3.	CONSIDERACIONES DE MODULACIÓN ESPACIAL.....	89
3.2.	PROPUESTA DE SISTEMA CONSTRUCTIVO CON BASE EN MUROS MODULARES. 105	
3.2.1.	PROPIEDADES PROPUESTAS E INTERCONEXIÓN.....	105
3.3.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	109
3.3.1.	MATERIALES SUSTENTABLES .....	109
3.3.2.	ELEMENTOS EN ACERO DE REFUERZO .....	116
3.3.3.	COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA MODULAR .....	117
3.3.4.	ENSAMBLE Y CORRELACIÓN ENTRE COMPONENTES .....	124
3.3.5.	RESULTADO DE LA INTEGRACIÓN .....	127
3.4.	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS.....	128
3.4.1.	PRUEBAS A IMPLEMENTAR .....	128
3.4.1.1.	ESFUERZOS .....	128
3.4.1.2.	RESISTENCIA A LA INTEMPERIE .....	129
3.5.	ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LAS VARIABLES DE INVESTIGACIÓN .....	130
3.5.1.	DESARROLLO DE PROTOTIPO .....	130
3.5.2.	ANÁLISIS DE ENSAMBLE Y DESMONTAJE .....	133
3.5.3.	FUNCIONALIDAD ENTRE LAS PARTES.....	148
3.5.4.	CORRELACIÓN ENTRE VANOS Y MACIZOS .....	159
3.5.5.	COMPORTAMIENTO TÉRMICO.....	165
3.5.6.	FORMA Y FUNCIÓN DE SUS COMPONENTES .....	170
<b>4.</b>	<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>184</b>
	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>184</b>
4.1.	ANOTACIONES.....	184
4.1.1.	A QUIEN VA DIRIGIDO .....	184
4.1.2.	COSTO BENEFICIO .....	185
4.1.3.	COMUNIDAD .....	186
4.2.	DISCUSIONES .....	186
4.3.	REFLEXIÓN FINAL .....	187
4.4.	FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....	188
4.4.1.	GEOMETRÍA VARIABLE Y SOLUCIONES NODALES .....	188
4.4.2.	PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN DEL MURO MODULAR.....	189
4.4.3.	SOFTWARE DE DISEÑO.....	190
<b>5.</b>	<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>191</b>
	<b>DOCUMENTACIÓN .....</b>	<b>191</b>

5.1. BIBLIOGRAFÍA..... 191



## ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1. COMPARATIVA DE TIPOS DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS. FUENTE: (CELA, 2011).	41
CUADRO 2. COMPARATIVA DE TIPOS DE MATERIALES CONSTRUCTIVOS. FUENTE: (CELA, 2011).	41
CUADRO 3. COMPARATIVA DE PESO, ENERGÍA Y EMISIONES RELACIONADAS A LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS. FUENTE: (CELA, 2011).	42
CUADRO 4. COMPARATIVO DE EMISIONES, ENERGÍA Y PESO ENTRE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS. FUENTE: (CELA, 2011).	43
CUADRO 5. COMPARATIVA DE COSTOS RELATIVOS DE EDIFICIOS. FUENTE: (MASCARÓ, 1999).	54
CUADRO 6. COMPARATIVO DE INCREMENTO EN EL ALZA DE PRECIOS DE ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS. FUENTE: (CONSTRUCCIÓN, 2017, PÁG. 14).	56
CUADRO 7. COMPARATIVO DE EMPLEOS REGISTRADOS EN EL INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL (IMSS) DURANTE LOS MESES DE FEBRERO DE 2016 Y 2017, RELACIONADOS CON LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN. FUENTE: (CONSTRUCCIÓN, 2017, PÁG. 13).	60
CUADRO 8. REGISTRO DE TRABAJADORES DE LA CONSTRUCCIÓN ANTE EL IMSS DEL MES DE ENERO DE 2016 AL MES DE FEBRERO DE 2017. FUENTE: (CONSTRUCCIÓN, 2017, PÁG. 13).	60
CUADRO 9. RELACIÓN DE PERFILES TUBULARES RECTANGULARES COMERCIALES. FUENTE: (SERVIACERO, 2017).	69
CUADRO 10. DESCRIPCIÓN DE ELEMENTOS DEL SISTEMA Y COSTOS (ELABORADO POR EL AUTOR).	83

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. MODULACIÓN DE PANELES PREFABRICADOS. FUENTE: (CATALOGO ETERBOARD, 2017).	16
FIGURA 2. PROCESO CUANTITATIVO. FUENTE: (SAMPIERI, 2014).	23
FIGURA 3. PROCESO CUALITATIVO. FUENTE: (SAMPIERI, 2014).	23
FIGURA 4. SISTEMA DE MUROS DE TAPIAL A BASE DE BARRO. FUENTE: (TIERAH, 2014).	35
FIGURA 5. SISTEMA DE MUROS DE TAPIAL A BASE DE BARRO. FUENTE: (TIERAH, 2014).	36
FIGURA 6. DIMENSIÓN DE TABIQUE DE BARRO RECOCIDO Y SU COLOCACIÓN. FUENTE: (HERNÁNDEZ, 2011).	37
FIGURA 7. ETAPA EVOLUTIVA DE LAS CUBIERTAS DE BARRO RECOCIDO. FUENTE: (WIKIARQUITECTURA.COM, 2017).	38
FIGURA 8. CONFORMACIÓN DE UN MURO DE TABLA DE CEMENTO MARCA DUROCK®. FUENTE: (TABLAYESO, 2016).	47
FIGURA 9. ELEMENTOS PREFABRICADOS A BASE DE CEMENTO-ARENA. FUENTE: (QROBLOCK, 2017).	48
FIGURA 10. COMPARATIVA DE CONSTRUCCIÓN TRADICIONAL Y MODULARIDAD DE EDIFICIOS DESMONTABLES. FUENTE: (WADEL, 2010).	53
FIGURA 11. EL SER HUMANO COMO MEDIDA EN LA ARQUITECTURA. (NEUFERT, 2013, PÁG. 39)	66
FIGURA 12. EL SER HUMANO EN ACTIVIDAD DENTRO DE SU ESPACIO HABITABLE. (NEUFERT, 2013).	67
FIGURA 13. PERFIL TUBULAR RECTANGULAR. FUENTE: (SERVIACERO, 2017).	68
FIGURA 14. MURO MODULAR AUTOPORTANTE. (CIVILGEEKS, 2015)	74
FIGURA 15. MURO SISTEMA CONSTRUCTIVO PLEGABLE. (IIARQUITECTOS, 2012)	74
FIGURA 16. MURO PREMOLDEADOS DE CONCRETO ARMADO. (FORTÍN, 2016)	75
FIGURA 17. MURO PREFABRICADO CON PANEL DE CONCRETO LIGERO. (ARQUIGRÁFICO, 2015).	75
FIGURA 18. OPTICRETOS MODULARES. (JACQUES, 2018).	76
FIGURA 19. PANELES PREFABRICADOS CANNAPANEL. (MARCO MONTELONGO VIDAL, 2015, PÁG. 16)	76
FIGURA 20. SISTEMA DE MUROS MODULARES PANEL W*. (W, 2015)	77
FIGURA 21. MEDIDOR DE RADIACIÓN Y TEMPERATURA (FOTO TOMADA POR EL AUTOR).	81
FIGURA 22. CONSTRUCCIÓN DE MEDIDOR DE RADIACIÓN (FOTO TOMADA POR EL AUTOR).	82
FIGURA 23. ELEMENTOS ELECTRÓNICOS UTILIZADOS PARA LA FABRICACIÓN DEL PROTOTIPO (FOTO TOMADA POR EL AUTOR).	84
FIGURA 24. MODELO ARMADO, COMPONENTES CONECTADOS Y EN FUNCIÓN (FOTO TOMADA POR EL AUTOR).	84
FIGURA 25. CIRCUITOS ARMADOS EN PROGRAMA PROTEUS 8 (ELABORADO POR EL AUTOR).	85
FIGURA 26. PROGRAMACIÓN EN PIC C COMPILER (ELABORADO POR EL AUTOR).	86
FIGURA 27. CIRCUITOS Y SENSORES INTEGRADOS (FOTO TOMADA POR EL AUTOR).	87
FIGURA 28. CONEXIÓN DE SERVOMOTOR (FOTO TOMADA POR EL AUTOR).	87
FIGURA 29. CASA SOLAR EXPERIMENTAL (FOTO TOMADA POR EL AUTOR).	90
FIGURA 30. PLANTA ARQUITECTÓNICA CASA SOLAR EXPERIMENTAL (DIBUJO HECHO EN AUTOCAD 16 POR EL AUTOR).	92
FIGURA 31. PLANTA ARQUITECTÓNICA CASA SOLAR EXPERIMENTAL (DIBUJO HECHO EN AUTOCAD 16 POR EL AUTOR).	93
FIGURA 32. PLANTA ESTRUCTURAL CASA SOLAR EXPERIMENTAL (DIBUJO HECHO EN AUTOCAD 16 POR EL AUTOR).	95
FIGURA 33. PERSPECTIVA ESTRUCTURAL CASA SOLAR EXPERIMENTAL (DIBUJO HECHO EN ARCHICAD 20 POR EL AUTOR).	96

FIGURA 34. ESTRUCTURA MONTADA DE CASA SOLAR EXPERIMENTAL (FOTO TOMADA POR EL AUTOR).....	96
FIGURA 35. MONTAJE DE SUSPENSIÓN PARA MURO PREFABRICADO (FOTO TOMADA POR EL AUTOR).....	98
FIGURA 36. HABILITADO DE MUROS INTERIORES (FOTO TOMADA POR EL AUTOR).....	99
FIGURA 37. ANCLAJE DE PRETILES EN AZOTEA (FOTO TOMADA POR EL AUTOR).....	101
FIGURA 38. ANCLAJE SIN PERFORAR EN ESTRUCTURA BASE DE ACERO DE REFUERZO (FOTO TOMADA POR EL AUTOR).....	102
FIGURA 39. ABRAZADERAS DE ANCLAJE EN ESTRUCTURA BASE (FOTO TOMADA POR EL AUTOR).....	103
FIGURA 40. ANCLAJE DE MURO PREFABRICADO EN FIRME DE VIVIENDA (FOTO TOMADA POR EL AUTOR).....	104
FIGURA 41. PROPUESTA DE ANCLAJES (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).....	106
FIGURA 42. PROPUESTA DE ENSAMBLES (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).....	107
FIGURA 43. PROPUESTA DE EMPALMES (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).....	108
FIGURA 44. MUESTRAS DE ENSAYO (AFITI, 2008).....	111
FIGURA 45. ENSAYOS REALIZADOS (AFITI, 2008).....	112
FIGURA 46. RESULTADOS (AFITI, 2008).....	112
FIGURA 47. RESULTADOS. (AFITI, 2008).....	113
FIGURA 48. PERFILES DE ACERO TUBULAR PROPUESTOS PARA ESTRUCTURA BASE (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).....	117
FIGURA 49. PROPUESTA BÁSICA DE MODULACIÓN DE PANELES (DIBUJO HECHO EN AUTOCAD 2016, POR EL AUTOR).....	118
FIGURA 50. MODELO BASE DE CONFIGURACIÓN DE VARIABLES DE MUROS (DIBUJO HECHO EN AUTOCAD 2016, POR EL AUTOR).....	119
FIGURA 51. DISEÑO Y FUNCIÓN DE MUROS (DIBUJO HECHO EN AUTOCAD 2016, POR EL AUTOR).....	120
FIGURA 52. DISEÑO Y FUNCIÓN DE MUROS (DIBUJO HECHO EN AUTOCAD 2016, POR EL AUTOR).....	120
FIGURA 53. DISEÑO Y FUNCIÓN DE MUROS (DIBUJO HECHO EN AUTOCAD 2016, POR EL AUTOR).....	121
FIGURA 54. DISEÑO Y FUNCIÓN DE MUROS (DIBUJO HECHO EN AUTOCAD 2016, POR EL AUTOR).....	121
FIGURA 55. DISEÑO Y FUNCIÓN DE MUROS (DIBUJO HECHO EN AUTOCAD 2016, POR EL AUTOR).....	122
FIGURA 56. DISEÑO Y FUNCIÓN DE MUROS (DIBUJO HECHO EN AUTOCAD 2016, POR EL AUTOR).....	122
FIGURA 57. DISEÑO Y FUNCIÓN DE MUROS (DIBUJO HECHO EN AUTOCAD 2016, POR EL AUTOR).....	123
FIGURA 58. ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).....	124
FIGURA 59. CONFORMACIÓN DE LAS PARTES DEL SISTEMA (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP, POR EL AUTOR).....	125
FIGURA 60. DESGLOSE DE LAS PARTES DEL SISTEMA (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP, POR EL AUTOR).....	126
FIGURA 61. PLANTA ARQUITECTÓNICA (DIBUJO HECHO EN AUTOCAD 2016, POR EL AUTOR).....	131

FIGURA 62. ISOMÉTRICO SISTEMA ESTRUCTURAL (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).....	132
FIGURA 63. CORTE TRANSVERSAL DEL MODELO ESTRUCTURAL (DIBUJO HECHO EN AUTOCAD 2016, POR EL AUTOR).....	133
FIGURA 64. CORTE LONGITUDINAL DEL MODELO ESTRUCTURAL (DIBUJO HECHO EN AUTOCAD 2016, POR EL AUTOR).....	133
FIGURA 65. ZAPATA AISLADA, INSERCIÓN DE PTR (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).....	134
FIGURA 66. ANCLAJE EN ZAPATA AISLADA (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).....	134
FIGURA 67. DESPLANTE DE ESTRUCTURA (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).....	135
FIGURA 68. UNIÓN NODAL ENTRE TUBULARES (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).....	135
FIGURA 69. UNIONES ENTRE ELEMENTOS DEL FIRME (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).....	136
FIGURA 70. HABILITADO FIRME (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).....	136
FIGURA 71. TENSOR ESQUINERO (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).....	137
FIGURA 72. UNIÓN ENTRE TUBULARES (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).....	137
FIGURA 73. INTERACCIÓN DE ELEMENTOS DEL FIRME (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).....	138
FIGURA 74. CRECIMIENTO DEL SISTEMA (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).....	138
FIGURA 75. SOPORTE INTERMEDIO DE FIRME (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).....	139
FIGURA 76. SOPORTE INTERMEDIO DE CUBIERTA (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).....	139
FIGURA 77. SISTEMA DE TENSIÓN CENTRAL (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).....	140
FIGURA 78. ARRIOSTRAMIENTOS EN ESQUINAS (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).....	140
FIGURA 79. PANEL 1.5 X 1.0 MTS (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).....	141
FIGURA 80. PANEL 1.0 X 1.0 MTS (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).....	141
FIGURA 81. PANEL 1.0 X 2.0 MTS (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).....	142
FIGURA 82. PANEL 0.5 X 2.0 MTS (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).....	142
FIGURA 83. INSERCIÓN DE PANELES EN ESTRUCTURA (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).....	143
FIGURA 84. ATORNILLAMIENTO DE PANELES (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).....	143
FIGURA 85. CANAL INTERIOR DE PANELES (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).....	144
FIGURA 86. SISTEMA DE SUSPENSIÓN (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).....	144
FIGURA 87. TAPA DE TORNILLO EN PANEL (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).....	145
FIGURA 88. COLOCACIÓN DE PANELES (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).....	146
FIGURA 89. HABILITADO DE PRETILOS (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).....	146
FIGURA 90. HABILITADO DE MUROS LISOS (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).....	147

FIGURA 91. VANOS Y CIRCULACIONES (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).	147
FIGURA 92. TRASLAPES Y CORTES INTERIORES (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).	149
FIGURA 93. DEFINICIÓN DE MÁRGENES Y ESQUINAS (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).	149
FIGURA 94. UNIONES ENTRE PIEZAS (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).	150
FIGURA 95. UNIONES INTERIORES, NEOPRENO (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).	150
FIGURA 96. UNIÓN DE PRETILES (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).	151
FIGURA 97. TAPA FRONTAL EN PRETIL (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).	151
FIGURA 98. TERMINACIONES EN VANOS (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).	152
FIGURA 99. BOQUILLAS LATERALES EN VANOS (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).	152
FIGURA 100. CONJUGACIÓN DE BOQUILLA Y SARDINEL (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).	153
FIGURA 101. ELEMENTOS INTERMEDIOS DE MUROS INTERIORES (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).	153
FIGURA 102. TAPA DE ESQUINO EN AZOTEA (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).	154
FIGURA 103. TERMINACIONES EN PRETIL AZOTEA (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).	154
FIGURA 104. FALDÓN DE ARRANQUE Y PARA SOPORTE (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).	155
FIGURA 105. INICIO DE COLOCACIÓN DE PANELES (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).	155
FIGURA 106. FALDÓN SUPERIOR EN AZOTEA (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).	156
FIGURA 107. ELEMENTO DE CONTINUIDAD (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).	156
FIGURA 108. CONFORMACIÓN DE SISTEMA EN AZOTEA (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).	157
FIGURA 109. CONFORMACIÓN DE SISTEMA EN AZOTEA (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).	157
FIGURA 110. REPISÓN EN AZOTEA (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).	158
FIGURA 111. PTR 3 X 3" EXPANSIÓN Y CONTINUIDAD (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).	158
FIGURA 112. VANO DE VENTANA MENOR (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).	160
FIGURA 113. BOQUILLA, REPISÓN Y DINTEL (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).	160
FIGURA 114. VENTANA MEDIANA (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).	161
FIGURA 115. PUERTA DOBLE ABATIBLE (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).	161
FIGURA 116. VENTANA A PISO CORREDIZA (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).	162
FIGURA 117. VANO DE VENTANA EN BAÑOS (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).	162
FIGURA 118. VENTANA MEDIANA EN COCINA (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).	163

FIGURA 119. TRASLAPE Y MONTAJE DE PANEL (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).....	163
FIGURA 120. TERMINACIONES ENTRE PANELES (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).....	164
FIGURA 121. RECORTES INTERIORES DE PANELES (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).....	164
FIGURA 122. PLANTA ARQUITECTÓNICA Y ÁREAS TÉRMICAS (DIBUJO HECHO EN ARCHICAD 20, POR EL AUTOR).....	167
FIGURA 123. SECCIÓN TRANSVERSAL (DIBUJO HECHO EN ARCHICAD 20, POR EL AUTOR).....	168
FIGURA 124. SECCIÓN TRANSVERSAL (DIBUJO HECHO EN ARCHICAD 20, POR EL AUTOR).....	168
FIGURA 125. SECCIÓN LONGITUDINAL (DIBUJO HECHO EN ARCHICAD 20, POR EL AUTOR).....	169
FIGURA 126. SECCIÓN LONGITUDINAL (DIBUJO HECHO EN ARCHICAD 20, POR EL AUTOR).....	169
FIGURA 127. ANÁLISIS DE ZONAS TÉRMICAS (DIBUJO HECHO EN ARCHICAD 20, POR EL AUTOR).....	170
FIGURA 128. TERMINACIÓN DE MUROS (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).....	172
FIGURA 129. SISTEMA CON SUS ELEMENTOS (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).....	173
FIGURA 130. SISTEMA COMPLETADO (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).....	174
FIGURA 131. SISTEMA COMPLETADO (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).....	175
FIGURA 132. ELEVACIÓN SUR DE LA VIVIENDA TIPO (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).....	176
FIGURA 133. ELEVACIÓN NORTE DE LA VIVIENDA TIPO (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).....	176
FIGURA 134. ELEVACIÓN OESTE DE LA VIVIENDA TIPO (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).....	177
FIGURA 135. ELEVACIÓN ORIENTE DE LA VIVIENDA TIPO (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP 2016, POR EL AUTOR).....	177
<b>FIGURA 136.</b> DISTRIBUCIÓN Y ADECUACIÓN DE REGISTROS PARA SISTEMA ELÉCTRICO (DIBUJO HECHO EN AUTOCAD, POR EL AUTOR).....	179
<b>FIGURA 137.</b> DISTRIBUCIÓN Y ADECUACIÓN DE REGISTROS PARA SISTEMA ELÉCTRICO (DIBUJO HECHO EN AUTOCAD, POR EL AUTOR).....	180
<b>FIGURA 138.</b> DISTRIBUCIÓN Y ADECUACIÓN DE REGISTROS PARA SISTEMA ELÉCTRICO (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP, POR EL AUTOR).....	180
<b>FIGURA 139.</b> CONEXIÓN MACHIHEMBRA PARA SISTEMA ELÉCTRICO (DIBUJO HECHO EN SKETCHUP, POR EL AUTOR).....	181

# 1. CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO

### 1.1. INTRODUCCIÓN

La utilización de muros de carga, como elementos que generan solución a la confinación de espacios arquitectónicos, ha resultado ser la más utilizada por los constructores, quienes combinan este tipo de muros con estructuras de acero de refuerzo, situación que se resulta ser incongruente como parte de un pensamiento constructivo evolucionado. Por tal motivo, la presente investigación propone revisar desde el surgimiento de la necesidad de estos elementos, hasta la confrontación con la concepción de los mismos, a través de un nuevo pensamiento constructivo y congruente, analizando las diversas etapas que componen la problemática constructiva de producción de muros tradicionales y prefabricados.

Debido a lo anterior, la evolución de los sistemas constructivos, no puede ser vista simplemente desde la conveniencia regionalista o tradicional, sino que, necesita abordarse desde todos los ámbitos que la componen. Para lograrlo, se establecen metodologías aplicadas a la habitabilidad tanto como a la sustentabilidad, para referenciar la toma de decisiones en la selección y propuesta de nuevos mecanismos encaminados a proveer una mejor calidad de vida.

### 1.2. ANTECEDENTES

Dentro del proceso de diseño arquitectónico, surge la necesidad de definir el área de los espacios donde se requiere generar una función específica dentro de una edificación. Para ello, el proceso de selección de los elementos más significativos son la losa o firme, los muros y las cubiertas, los cuales son elementos constructivos que conforman el interior de un espacio arquitectónico.

El interés de este trabajo de investigación y derivado de la observación y experiencia en obra civil, se encamina a aportar un avance técnico en el diseño e implementación de muros como respuesta a la búsqueda de nuevas soluciones arquitectónicas.

Existen sistemas constructivos prefabricados para habilitar muros en viviendas a base de materiales como tabla de panel de cemento para exteriores y panel de yeso para interiores en dimensiones modulares de 1.22 x 2.44 mts., estas medidas están estandarizadas dentro del sistema de medición inglés utilizado a nivel mundial. Estos son ensamblados por medio de tornillos perforantes a perfiles ligeros de acero galvanizado. Este, sistema es cada vez más solicitado por los constructores de vivienda; sin embargo, tradicionalmente en México, se utiliza en su mayoría el muro de tabique de barro rojo recocido y block hueco de cemento arena como elementos constructivos para habilitar muros, que primordialmente trabajan no sólo como delimitante de un espacio, sino como muros de carga de una losa de concreto armado.

• **Modulaciones**

Son las distancias entre ejes de parales. Las modulaciones están en relación con las solicitudes estructurales y la forma de empackado. Las corrientes son: Cada 61 cm, 48,8, 40,7 y 30,5.

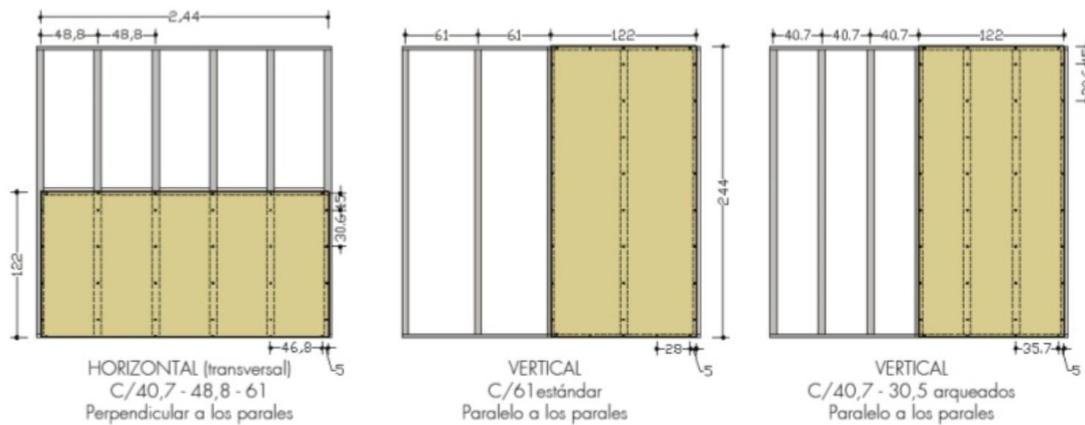


Gráfico C.1.12. Tipos de empackado.

**FIGURA 1.** Modulación de paneles prefabricados. Fuente: (Catalogo Eterboard, 2017).

Adicional a este sistema, se encuentran los muros a base de panel de estructura de acero ligero en forma de zigzag con relleno de poliestireno de baja densidad, recubierto con mortero o yeso para su acabado final. Los tres sistemas antes planteados son fijos a la estructura base, es decir, no es posible su retiro posterior sin dañar su composición y anclaje, además de no poder ser reutilizados debido a que su fijación en la estructura es permanente.



Tomando en consideración que:

*La adaptación de los edificios al cambio climático exige el respeto de tres principios: la envolvente y la superficie ocupada por el edificio son fundamentales para su supervivencia a largo plazo, adaptabilidad y eficiencia energética; la calidad constructiva media debe de ser superior (mejor aislamiento, materiales de mayor calidad); deben preverse medios para mejorar el acondicionamiento de los edificios, en especial en refrigeración y consumo de energía renovable. (Edwards, 2009).*

*El sector de la vivienda es responsable de aproximadamente el 17% del consumo total de energía en México. A medida que la población crece, cerca de 1.7 millones de habitantes al año, un número creciente de mexicanos aspiran a mejores viviendas. Se estima que 500,000 nuevas unidades residenciales deberán ser construidas anualmente la próxima década para cubrir la demanda. En ausencia de medidas para aumentar la eficiencia energética, las nuevas unidades de vivienda por sí mismas contribuirían a la emisión de gases de efecto invernadero totales (GEI) aproximadamente en 25 MTCO<sub>2</sub> Eq. por año hasta el 2020. (CONAVI, 2017).*

El uso de acero estructural en la construcción de vivienda, es una opción que permite la versatilidad de la misma. Esto, genera beneficios adicionales en el tiempo y costo de edificación y a su vez, presenta alternativas de modulación de sus componentes, estableciéndose como la mejor opción para un sistema con características replicables.

Para lo anterior es importante considerar una vivienda que en su base se componga de estructura de acero de alta resistencia con elementos que sean diseñados de modo que puedan ser desmontados y trasladados a otro sitio para cumplir con propiedades de reutilización y emplazamiento en otro entorno como sea requerido.

De esta forma, cumple con la propiedad de modularidad y por ello es importante establecer que está compuesta por muchos sistemas que, al interactuar entre sí, dan forma y función a este proyecto. Debido a ello, se desprende la necesidad de que todos sus componentes cumplan con la misma propiedad de ser desmontables, reutilizables y sostenibles.

Existe la necesidad de conjugar un sistema que permita cumplir con el confinamiento de espacios interiores y contención de muros exteriores, donde se respete la estructura base que presenta normativamente necesidades propias de cuidado y manejo, es esencial garantizar su estabilidad y resistencia por medio de mecanismos que no dañen a la misma en su anclaje.

Las propiedades de los muros de confinamiento interiores deben ser agradables a la vista en textura y acabado, permitir al usuario la personalización del mismo y proporcionar calidez. Así mismo, al exterior garantizar la seguridad y proveer de estabilidad estructural para contener la edificación y protegerla de las inclemencias del medio ambiente y resistencia al fuego.

Es posible conjuntar todas estas características en un sistema que cumpla con los requerimientos descritos anteriormente. Para ello, es necesaria la participación de diversas disciplinas encaminadas al área de las tecnologías de fabricación y ensamblaje, modulación y conformación química y física, así como de resistencia de materiales y diseño arquitectónico e industrial. Teniendo a bien conjugar todas estas disciplinas, se garantiza un adecuado resultado del sistema propuesto, logrando así que el sistema se establezca como área de oportunidad en el ámbito tecnológico y social debido a su demanda posterior con beneficios adicionales.

### 1.3. FORMULACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

#### 1.3.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En México, los sistemas constructivos actuales dependientes del acero en su conformación estructural, tienen la particularidad de recurrir para la construcción, de muros de confinamiento y contención, de tabiques de arcilla o de concreto con múltiples dimensiones, pesos y materiales que en su mayoría no son a base de materiales sustentables y que necesitan para su fabricación de procedimientos que provocan un grave daño al medio ambiente por la emisión de gases, químicos y líquidos nocivos resultantes de sus procesos de fabricación. A su vez no logran acoplarse técnicamente a las estructuras de acero de forma ordenada y limpia, teniendo que implementar

adaptaciones hechas que resultan en aplicación de técnicas poco profesionales e improvisadas, no registradas en la mayoría de sus casos y que tampoco se encuentran dentro de normas constructivas establecidas por organismos dedicados a garantizar la calidad de estos procedimientos constructivos.

Del mismo modo, los sistemas de muros de confinamiento y contención que son basados en paneles de materiales dependientes del cemento, plástico, acero y yeso siendo los más usuales, necesitan de un anclaje directo sobre la estructura de soporte principal, teniendo que aplicar técnicas que en ocasiones generan perforaciones y desgaste del material estructural base, que debilita y pone en riesgo la resistencia y estabilidad de la estructura.

*El daño en estructuras puede ser causado por fenómenos naturales, o también por la acción humana al darle un uso inadecuado, poner peso excesivo para el cual no estaban diseñadas, por falta de mantenimiento o por construir de manera incorrecta y sin asesoramiento técnico. (CENAPRED, 2017).*

Se establece que durabilidad de una estructura de acero, es su capacidad para soportar, durante la vida útil para la que ha sido proyectada, las condiciones físicas y químicas a las que está expuesta y que podrían llegar a provocar su degradación como consecuencia de efectos diferentes a las cargas y solicitudes consideradas en el análisis estructural.

Una estructura durable debe conseguirse con una estrategia capaz de considerar todos los posibles factores de degradación y actuar consecuentemente sobre cada una de las fases del proyecto, ejecución y uso de la estructura.

*Una estrategia correcta para la durabilidad debe tener en cuenta que en una estructura puede haber diferentes elementos estructurales sometidos a distintos tipos de ambientes. La durabilidad no incumbe solo a elementos estructurales. A veces son elementos no estructurales los que conllevan problemas importantes de cara a la durabilidad. (Brotóns, 2006).*

Aunado a lo anterior se debe considerar que, al utilizar sistemas tradicionales en combinación con estructura de acero, por lo general no es posible ocultar los elementos estructurales debido a que se utilizan morteros para aplanados exteriores en algunos casos, lo que ocasiona que la sección de acero quede visible y solo se le aplique una capa de esmalte alquidático anticorrosivo que con el tiempo presentará corrosión en la “junta” que se crea entre cemento y acero.

En relación a las trayectorias de instalaciones diversas dentro de los muros de confinamiento y contención, se presentan diversos problemas técnicos dependiendo del material seleccionado, derivado de esto, en ocasiones se debe ranurar los muros para dar paso a los ductos necesarios para tal fin y en estos casos el resultado es escombro que contamina, pero que también ocasiona un daño estructural al muro intervenido.

*Los sistemas de envolventes verticales, son uno de los puntos más importantes en cuanto a intercambio de energía con el medio ambiente. Esto es evidente si observamos el ciclo de vida total del edificio puede significar alrededor de un 15% de las emisiones de CO2 y un 17% de la energía consumida en todas las etapas de su ciclo de vida. (Albert Cuchí, 2009).*

Por lo anterior se tiene que el problema de investigación es el siguiente:

Proporcionar un sistema modular de muros, que permita una solución a la necesidad de seguridad, versatilidad y economía en la edificación de espacios arquitectónicos en su anclaje con estructuras de acero, permitiendo habilitar instalaciones, debido a sus propiedades de ensamblaje y reutilización, dando la oportunidad de establecer un modelo capaz de ser utilizado por la sociedad para la construcción y ampliación de vivienda replicable.

### 1.3.2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo contribuir a la reducción de emisión de gases contaminantes, resultado de los procesos constructivos?

¿Cómo generar una mejora en los procedimientos constructivos que genere un valor agregado a la vivienda?

¿Como demostrar que, al proponer un sistema replicable, reutilizable y reubicable, es posible reducir la producción de materiales constructivos tradicionales más contaminantes?

¿Cuáles serían los tecnicismos necesarios para lograr proporcionar un sistema de muros de este tipo?

## 1.4. OBJETIVOS

### 1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema modular de muros con facultad de reutilización y desmontaje para una vivienda accesible hecha con estructura de acero, que permita incluir instalaciones hidrosanitarias y eléctricas que, a su vez, propicie el uso de nuevas técnicas constructivas más seguras, de bajo costo y sustentables que garanticen, a través del sistema, las condiciones adecuadas de habitabilidad.

### 1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1.- Diseñar un sistema basado en un prototipo de muro, que cuente con propiedades modulares, contenga instalaciones y aporte soluciones técnicas constructivas.
- 2.- Establecer mecanismos y tecnicismos, atendiendo a las necesidades propias del proyecto.
- 3.- Acoplar las diferentes variables y propuestas para definición de prototipos.
- 4.- Generar un prototipo, potenciar la posibilidad de convertirla en una patente.
- 5.- Analizar los resultados obtenidos en las prácticas de elaboración de prototipos y la investigación con la finalidad de comprobar la disminución del costo de la vivienda.

## 1.5. ÁMBITO ESPACIAL Y TEMPORAL

El desarrollo de la presente investigación se establece en la ciudad de Querétaro, Qro., sin embargo, el resultado y aporte resultante de este, puede ser aplicado en regiones similares a esta, siendo que dentro del rango de utilidad práctica que se pretende conseguir, el resultado deberá ser susceptible de ser progresivamente adaptable.

En cuanto al desarrollo y resultados obtenidos de la investigación, se establece dentro de la temporalidad en que es emitida esta tesis, teniendo a bien considerar para en análisis y conformación del estado del arte, los resúmenes históricos más relevantes que ayuden a conformar la bibliografía necesaria para el adecuado desarrollo de la investigación, por lo que no corresponde o depende de un tiempo en específico para su operación, no obstante, la utilidad del resultado, estará ligado directamente con la adaptabilidad de este, dentro del sector en que se pretende insertar y la demanda del mismo.

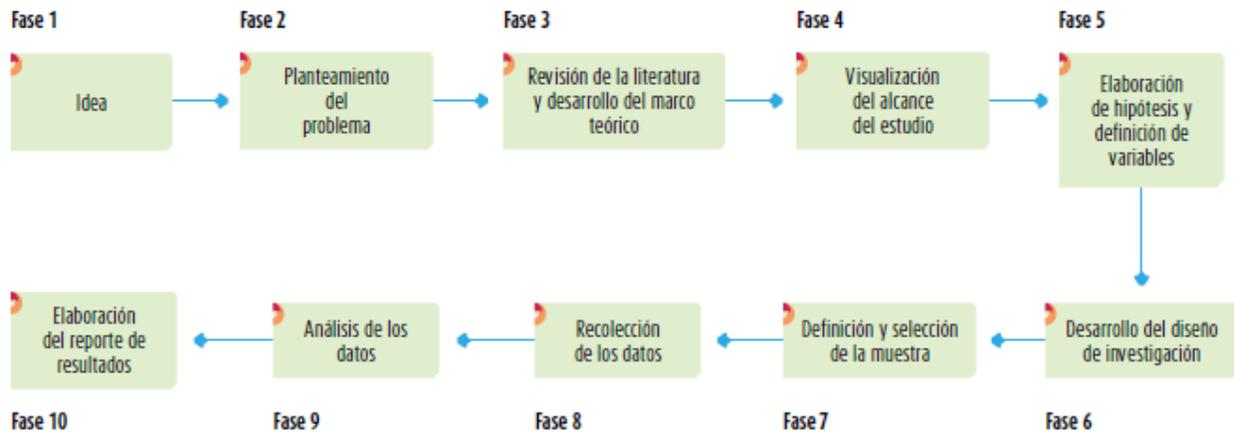
## 1.6. HIPÓTESIS

El diseño de un sistema modular de muros para la vivienda construida a base de una estructura de acero de refuerzo, que incluya instalaciones hidrosanitarias y eléctricas, proporcionará a los usuarios y constructores una solución segura, versátil, económica y sustentable y que genere un valor agregado a la calidad de la vivienda.

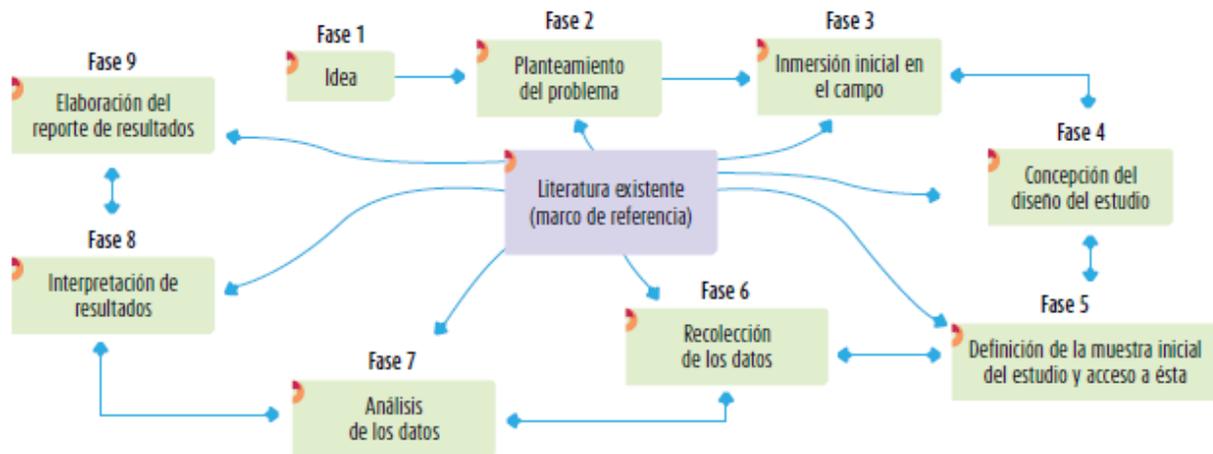
## 1.7. METODOLOGÍA

El diseño del sistema modular propuesto en el presente proyecto de investigación requiere considerar al usuario como base primordial de su desarrollo, para lo cual se tiene que aplicar una metodología capaz de garantizar que el análisis se determine por esta vertiente, teniendo a bien considerar un procedimiento adecuado para tal fin.

Es conveniente aplicar una metodología mixta encaminada a dar solución al problema de investigación, por lo tanto y apeguándose al Dr. Roberto Hernández Sampieri que expone:



**FIGURA 2.** Proceso cuantitativo. Fuente: (SAMPIERI, 2014).



**FIGURA 3.** Proceso cualitativo. Fuente: (SAMPIERI, 2014).

*Durante décadas, las aproximaciones cuantitativa y cualitativa fueron vistas como una dicotomía (en el sentido de “rivalidad”) al emprender una investigación (como “blanco y negro”), pero hoy en día la mayoría de los metodólogos las consideran como extremos en un continuo en el cual se puede situar cualquier estudio. (CRESWELL, 2014).*

## 1.7.1. METODOLOGÍA, DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

### Paso 1.- ANÁLISIS Y PROPUESTA DE VARIABLES

#### Dimensionamiento de espacios habitables

En este paso inicial se recopilarán todos los datos necesarios para determinar la modulación de la estructura de acero propuesta con base en las dimensiones espaciales propuestas.

#### Propuesta y variación de espacios

Se realizará una descripción de cada uno de los espacios que se establecerán como tipología y estandarización propuesta.

#### Requerimientos y funcionalidad de módulos

Una vez establecida la modulación de la estructura base, se procederá a asignar la función que debe desempeñar cada espacio y sus características con la finalidad de considerar sus requerimientos propios.

Modularidad de espacios requeridos para funciones dentro de la vivienda.

En este punto se definirá la zonificación de una vivienda, basado en el modularidad propuesta en el paso anterior.

#### Consideraciones de modulación espacial

Se registrarán y verificarán las dimensiones propuestas con base en el mobiliario y las funciones específicas en cada caso.

#### Propiedades propuestas e interconexión

En este punto y derivado de todo el análisis anterior, se propondrán la posibles variantes y conexiones entre espacios establecidos.

### Paso 2.- OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES



## Materiales sustentables

Se realizará un estudio y registro de los materiales que puedan ser utilizados para elaborar los primeros prototipos, teniendo a bien considerar especialmente el proceso y la composición de estos.

### Análisis de materiales alternos a los utilizados comúnmente

Se realizará un estudio y registro de los materiales alternos, que puedan ser utilizados para elaborar los primeros prototipos, teniendo a bien considerar especialmente el proceso y la composición de estos.

### Registro de propiedades de materiales innovadores

En este paso, se intentará recopilar la información necesaria del análisis físico de los materiales fabricados con procedimientos y materiales más novedosos.

### Análisis de estructuras de polímeros y sus derivados.

Para el siguiente paso, se dimensionarán los módulos que conformarán el sistema de muro propuesto utilizando programas de digitalización y dibujo.

## Elementos en acero de refuerzo

Se procederá a diseñar estructuras de acero común, aligerado y compuesto, para definir el soporte interior de los prototipos propuestos.

### Perfiles tubulares y sólidos

En este punto, se continuará con la comprobación física de elementos diferentes al acero, que puedan funcionar estructuralmente como soporte del prototipo inicial.

## Comportamiento del sistema modular

Para este momento, ya con los resultados de las comprobaciones físicas y los registros tomados de estos procedimientos, se continuará con los análisis de comportamiento en materia de modularidad.

Forma y función de modularidad, composición y resultados

Se procederá a diseñar variables de forma y función en específico de cada módulo resultante.

Ensamble y correlación entre componentes

En este punto, se diseñarán los ensamblajes posibles y se aplicarán ajustes al prototipo digital

Ajustes técnicos para acoplamiento de partes

Se comprobarán los ensamblajes por medio de medios digitales utilizando programas BIM y de dibujo en 3D, así como su aislamiento y hermeticidad.

Resultado de la integración

Análisis comparativo y de propiedades

En este punto, se procederá a numerar cada uno de los datos que se recopilaron resultado de las pruebas físicas y su comportamiento.

### Paso 3.- DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

Pruebas a implementar

Esfuerzos

Resistencia a la tensión, torsión y flexión

Se comprobarán los materiales utilizados de acuerdo a pruebas físicas realizadas por laboratorios certificados en su caso, de forma que se recopilen los datos necesarios para su ajuste y continuar con la etapa de retroalimentación en la definición del diseño del prototipo.

## Análisis térmico

Una vez elaborado el prototipo digital y pasado por pruebas de esfuerzos, se someterá a una simulación, donde se medirán las condiciones de temperatura interior con un termómetro de ambiente.

## Puentes térmicos

Después de haber habilitado el espacio, se procederá a revisar la presencia o no de posibles puentes térmicos, esto para darles solución.

## Hermeticidad

La hermeticidad se revisará en cada junta y sello que el prototipo digital tenga para ensamblar con otras piezas, por lo que al estar ya confinado el espacio se procederá a revisar este tipo de uniones.

## Resistencia a la intemperie

Se comprobarán los materiales utilizados de acuerdo a pruebas físicas realizadas por laboratorios certificados en su caso, viento y fuego al prototipo, esto para registrar el grado de resistencia ante cada uno de estos elementos naturales externos y generar los registros que permitan adicionar mejoras al prototipo.

## Consideraciones de peso y volumen

Se propondrá resultado de las pruebas anteriores, un peso adecuado, dependiendo de las consideraciones o directrices que arrojen los resultados, tratando de cumplir con la característica de ligereza del prototipo.

## Paso 4.- ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LAS VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

En este paso se procederá a recopilar toda la información generada para asignar los valores y propiedades finales al prototipo final.

#### Análisis de ensamble y desmontaje

Se registrará los detalles finales del ensamblaje y sus consideraciones técnicas relacionadas con los elementos de anclaje y accesorios.

#### Funcionalidad entre las partes

La relación entre prototipos que formarán el muro se registrará y ajustarán para dar como resultado un prototipo final.

#### Correlación entre vanos y macizos

Se revisará y propondrá un diseño y solución en los casos donde los vanos de puertas y ventanas intervienen en cada tramo de muro donde existan.

#### Comportamiento físico

Finalmente se habilitarán los muros necesarios para registrar el comportamiento físico que presentan y como se ajustan entre sí.

#### Comportamiento térmico

Se registrará la temperatura que reciben del exterior y se comparará con la temperatura lograda al interior del espacio.

#### Forma y función de sus componentes

Como paso final, se procederá a elaborar un manual de identificación, ensamble y consideraciones prácticas del prototipo para lograr habilitar los muros en sus diversas modalidades y casos, de acuerdo a lo que se busca lograr con la presente investigación.

## 1.8. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

El ámbito en que se desenvuelve la presente investigación, es en el área de la sustentabilidad, debido a esto, se busca generar una solución que se además de ser útil a la sociedad y a su vez, proporcione un resultado funcional y práctico, este se apegue a las bases del diseño sustentable; esto debido a que, es de primordial importancia considerar que, el medio ambiente, como fuente de recursos de materias primar para la transformación y fabricación de componentes que son necesarios para las actividades humanas complejas, debe ser preservado para garantizar el equilibrio ecológico y por ende, la estabilidad del sistema.

## 2. CAPITULO II

### REVISIÓN DE LA LITERATURA

#### 2.1. MODELO CONSTRUCTIVO EN MÉXICO

##### 2.1.1. LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA Y SU DEMANDA.

El sector de la construcción es el más significativo en cuanto al efecto que tiene, en el ámbito económico, el producto interno bruto de un país (PIB), mismo que es considerado de manera errónea, como un referente del progreso de las actividades productivas, el desarrollo y la calidad de vida de los habitantes. Se desprende de lo anterior, el pensamiento adoptado por países como Noruega y Suecia, donde se mide el bienestar de sus habitantes, en función del estado emocional, psicológico y patrimonial que reportan, esto debido a que, estos países han encontrado un balance adecuado en

la distribución de la riqueza. Lo anterior, no es garantía de beneficio absoluto, solo se establece como un ejemplo necesario para entender que, a pesar de sus características propias de este tipo de países nórdicos, es posible generar un balance entre producción y expectativa de bienestar.

*En 2016 el PIB Nacional registró un Variación Real % crecimiento acumulado de 2.3% en términos reales con relación al año previo. Este crecimiento fue impulsado principalmente por las actividades terciarias, Comerciales y de Servicios con 3.4%. Por su parte, la Industria de la Construcción registró un crecimiento de 1.8%, 5 décimas de punto por debajo del crecimiento alcanzado por la economía en general. (Construcción, 2017, pág. 2).*

La industria de la construcción depende en gran medida de la producción nacional de extracción y venta de petróleo, debido a que este recurso natural, es abundante en nuestro país y ha representado una fuente de financiamiento principal, para el desarrollo de las actividades productivas y comerciales, especialmente en el desarrollo de proyectos productivos relacionados con la construcción vivienda y la demanda de esta.

*Durante las últimas décadas se ha incrementado considerablemente el parque habitacional en México. Entre 1990 y 2010 el número de viviendas particulares ocupadas creció de 16 a 28.6 millones, según datos del Censo 2010 del INEGI. Todo indica que esta tendencia positiva continuará, pues la Comisión Nacional de Población (CONAPO) estima que este número crecerá a 43.7 millones en 2050. Además, llama la atención la caída en el índice de ocupación de la vivienda, con valores de 5.1 y 3.9 para 1990 y 2010, respectivamente. (Molina, 2012, pág. 1).*

En el ámbito familiar, en nuestro país, es significativo observar un efecto en el comportamiento en la demanda de vivienda, derivado de la situación económica nacional, que se ve afectada cuando las circunstancias internacionales favorecen u obstaculizan la comercialización del petróleo como principal recurso energético y producto nacional.

Paulatinamente y de forma vertiginosa ha crecido la demanda de créditos hipotecarios derivados de la alta demanda de casas habitación, generando grandes deudas de quien contrae este tipo de créditos, mismos que no terminan de ser liquidados debido al alto índice de tasas de interés, pero sin tener otra opción y con la finalidad de dar solución a sus demandas de vivienda y poder proporcionar a sus familias una calidad de vida aceptable estos créditos son contraídos por las familias, por lo que un sistema que sea accesible a todos los habitantes que deseen construir sus propias viviendas con el apoyo de la comunidad y de sus propios familiares, brinda una solución tangible a esta necesidad fundamental y un derecho intrínseco dentro del patrimonio de las.

*“5.8 millones de créditos a lo largo del último sexenio. Según datos del INFONAVIT, esto ha impactado directamente la vida de aproximadamente 20 millones de mexicanos”. (Molina, Evaluación de la sustentabilidad de la vivienda en México, 2012, pág. 2).*

*Cabe resaltar que, durante el primer bimestre del año, la Industria de la Construcción fue impulsada por el subsector Trabajos Especializados (mantenimiento y albañilería) al registrar un histórico crecimiento (nunca antes visto) de 27.8%. Por su parte, las obras de Edificación (Obra privada), tuvieron un débil desempeño de 1.2% durante los dos primeros meses de 2017. (Construcción, 2017, pág. 4).*

Aunado a la construcción de vivienda como actividad productiva de las familias mexicanas, se tiene también el aspecto de la manutención de estas, siendo necesario que, las viviendas tengan un adecuado funcionamiento, por lo que se debe considerar este sector que se encarga de rehabilitar y adaptar las edificaciones terminadas y su atención a éstas durante el tiempo de vida y utilidad.

*Bajo estas circunstancias, esperamos que en 2017 la industria de la construcción crezca en un rango de entre (-) 1.0 a (+) 0.5%, creando alrededor de 500 mil puestos de trabajo, muy por debajo del potencial de la industria que es entre 4 a 5% anual y generando arriba de los 200 mil empleos anuales. (Construcción, 2017, pág. 17).*

Las expectativas de crecimiento de acuerdo a lo esperado por el gobierno federal de obtener de un 4 a 5% del PIB, resultan alentadoras, pero no corresponden con la situación actual del país.

*Durante el primer bimestre de 2017, la industria de la construcción registró un crecimiento de 1.0% con relación al mismo período del año previo. Tanto los ajustes a la baja en el gasto de inversión pública (-) 23%, como el aumento de las tasas de interés (+3.5% en los últimos seis meses) afectaron el desempeño del sector de la construcción y han reducido las expectativas de crecimiento para este año. A lo anterior habría que adicionar el incierto panorama externo (consecuencia de las políticas implementadas por el nuevo gobierno de Estados Unidos). (Construcción, 2017, pág. 4).*

Aún con toda esta situación a nivel nacional y mundial, el sector de la construcción, encuentra en la vivienda, un área de desarrollo que se ve afectado por la búsqueda de mayor utilidad en sus procesos de financiamiento y retorno de inversión, esto se puede comprobar con los casos donde las viviendas resultan ser un modelo en serie donde no se contemplan estrategias bioclimáticas ni consideraciones espaciales adecuadas para el desarrollo adecuado de las familias que las habitan.

En consecuencia, estas familias demandan viviendas y servicios necesarios para desempeñar adecuadamente sus actividades, por lo que la industria de la construcción ha tenido gran demanda y esto deriva en la construcción acelerada de vivienda y servicios para abastecer este sector.

“Para 2030 (CONAPO) La demanda de vivienda será 2/3 mayor, pasará de 443 mil (2010) a 760 mil hogares”. (CONAGO, 2010, pág. 5)

“Querétaro requiere una oferta de 15,850 viviendas por año tan solo para atender la demanda de los nuevos hogares”. (CONAGO, 2010, pág. 6)

La selección de los sistemas constructivos para cumplir con la necesidad de proporcionar vivienda se establece más por la practicidad y conveniencia económica, además de ser un negocio de grupos de constructoras que utilizan métodos apegados



mayormente a la ganancia directa y no consideran ni implementan sistemas y materiales sustentables por considerarlos poco prácticos para sus fines reales.

## 2.1.2. SISTEMA CONSTRUCTIVO TRADICIONAL

Tradicionalmente en México, se utilizan materiales derivados de la extracción natural de acuerdo a la región y las condiciones geográficas, esto es, porque nuestro país cuenta con una gran diversidad de climas y topografía, que le permite proveer de recursos naturales diversos. La presencia de volcanes en la zona central de país, ha impactado en la población al momento de elegir qué elementos utilizar para construir su vivienda. Los elementos más tradicionales son la piedra basalto, que se forma por la emanación de lava desde la profundidad de los mares y al tener contacto con la superficie terrestre se transforma en la piedra, que normalmente conocemos como “piedra laja”, que es la que conforma la mayor parte de los cimientos hechos de mampostería y que al combinarse con piedra volcánica, también existente en este tipo de regiones de manera abundante, dan forma a los cimientos y muros de mampostería que son elegidos en su mayoría por los constructores de vivienda tradicional mexicana.

Elementos y características de que se compone el sistema tradicional mexicano.

### 2.1.2.1. MURO DE CARGA

*“Su función básica es soportar las cargas muy grandes y a sus posibles consecuencias, puede decirse que es un elemento sujeto a la compresión. Las características del material para este tipo de muro deben estudiarse conscientemente para trabajos mecánicos”.* (Hernández, 2011)., De esta forma se puede considerar un elemento primordial de soporte estructural de la vivienda que necesita garantizar la estabilidad de la construcción y el cual transfiere, mediante su resistencia a la compresión, la carga hacia las plantillas de cimentación que soportan toda la estructura.

### 2.1.2.2. MURO DIVISORIO

*“La función básica de este tipo de muro es de aislar o separar, una estructura de otra, teniendo características tales como acústicas, térmicas, impermeable y resistencia a la fricción o impactos naturales”.* (Hernández, 2011)., Es aquí donde surgen las más diversas soluciones fijas o móviles a base de materiales ligeros que cumplen sólo con su función y que pueden prescindir de la función de carga.

### 2.1.2.3. MURO DE CONTENCIÓN

*“Estos muros generalmente están sujetos a fricción constante, ya que deben de soportar empujes horizontales. Estos muros son capaces de poder contener tanto tierra, agua o aire”.* (Hernández, 2011)., Por ello, se considera que el material elegido para dar forma a este tipo de muros es la piedra o el concreto armado y es indispensable cuando el proyecto presenta una condición de desnivel para su asentamiento.

#### *Uso del barro para conformar muros*

La tierra, ha sido la materia prima más utilizada para construir, en este caso el barro tipo limo-arcilloso, que tiene propiedades mecánicas que, al contacto con el agua, permite ser moldeado y aplicándole un tratamiento de secado adecuado, logra conformarse con este elemento, una gran variedad de elementos constructivos, algunos ejemplos de ello son:

### 2.1.2.4. MUROS DE ADOBE

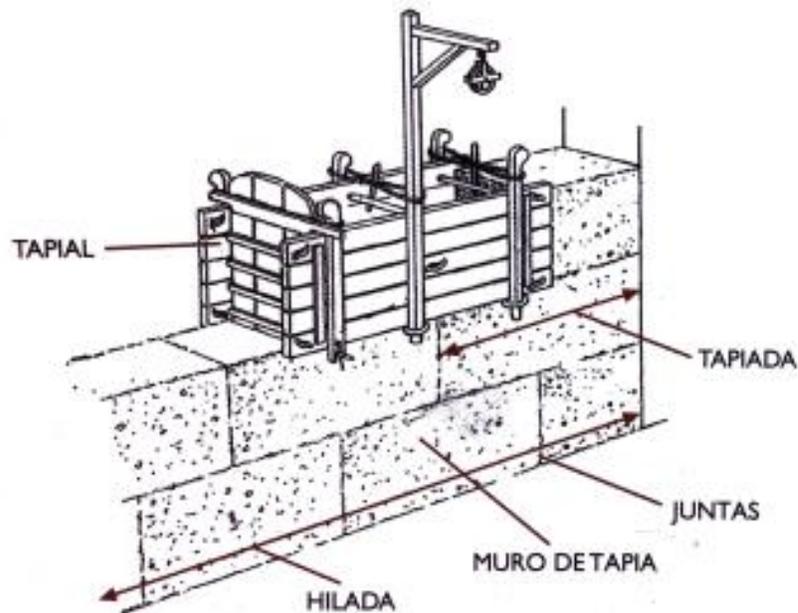
*El adobe como material de construcción para uso habitacional ha sido utilizado por miles de años por los pueblos indígenas de América, tanto en el suroeste de los Estados Unidos como en Mesoamérica y la región andina en Sudamérica. Actualmente el 50 por ciento de las casas del mundo están construidas con este material. La utilización del adobe representa una alternativa viable para resolver el problema de la falta de vivienda, a través de la propuesta de una casa auto construible de bajo costo. Sin embargo, una limitante para desarrollar tal alternativa consiste en que la mayoría de las técnicas constructivas tradicionales que utilizan materiales obtenidos a partir del suelo son resultado del conocimiento empírico. Dicho*

*conocimiento generalmente es asistemático, varía en cada cultura y región y carece de una terminología interdisciplinaria. Por lo tanto, difícilmente esta opción ofrece, de modo directo, una base tecnológica universalmente válida. (Mexicana, 2012).*

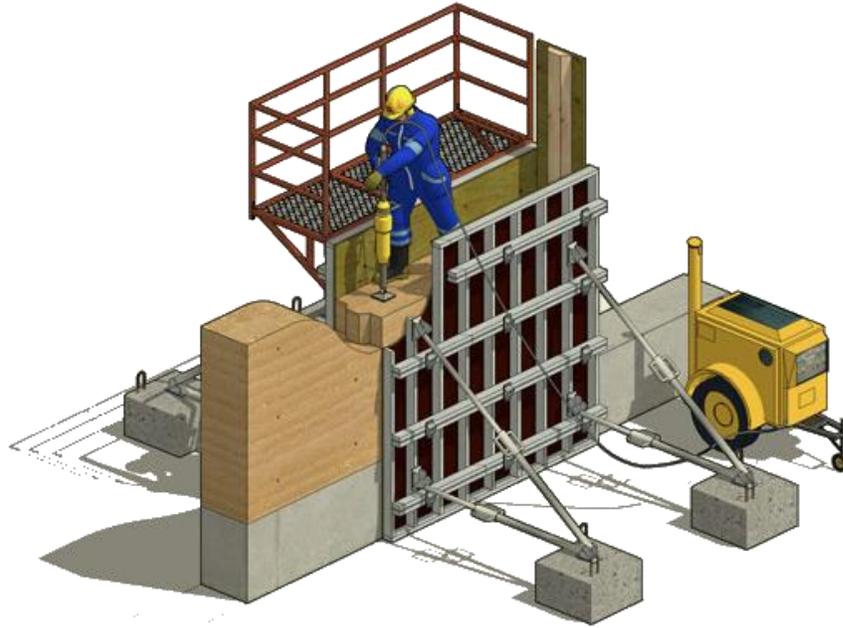
Del mismo modo se considera tradicional, el uso del barro en la conformación de muros de carga o divisorios para las viviendas mexicanas, siendo el más antiguo, el uso de adobe enriquecido con paja para evitar fisuras internas, que primordialmente sirven para cargar losas de bóveda catalana o vigas de madera con tejas de barro extruido.

En estos casos se consideran muros de grosor mayor, es decir, mayores de 40 cms, donde es el muro en su parte más baja o inicial, el mismo cimiento, por lo que este es un elemento que literalmente surge desde la tierra y se compone de la misma.

En las imágenes 4 y 5, se observa el sistema de muros de tapial a base de barro comprimido.



**FIGURA 4.** Sistema de muros de tapial a base de barro. Fuente: (TIERAH, 2014).



**FIGURA 5.** Sistema de muros de tapial a base de barro. Fuente: (tieRAH, 2014)

En estos muros no existen elementos de refuerzo, tales como, perfiles de acero, sin embargo, se utiliza la madera para generar vanos de puertas y ventanas a manera de dinteles, que son apoyados en ambos extremos, con una holgura mínima de 20 cms., pero solo se utilizan como contención superior del material de barro que termina de formar el muro. Los espacios conformados con este tipo de material, se ven favorecidos con una disminución de temperatura al interior en temporada de calor o cuando el muro exterior es expuesto a los rayos solares, por presentar una cara orientada hacia el suroeste, esto debido al nivel de transferencia térmica que es baja por sus propiedades aislante, sin embargo, en épocas de frío, la disminución de temperatura interior es superior, por lo que se debe implementar dispositivos de calentamiento al interior de la vivienda.

Las consideraciones técnicas aplicadas a la construcción con este tipo de sistema son muy básicas, por ello es que es mayormente utilizadas en zonas de escasos recursos económicos y donde la preparación académica de sus habitantes es baja, esto debido a que, no se necesita ni tecnología ni herramienta especializada para su construcción.

#### 2.1.2.5. MUROS DE TABIQUE DE BARRO RECOCIDO

Existen también elementos constructivos a base de barro el cual se expone al calor por fuego en altas temperaturas, puede ser en formas de block, que por lo general es de dimensiones tales como: 6 x 12 x 24 cms., y se les denomina tabiques de barro recocido. Este sistema de muros con el material mencionado es del que se componen la mayoría de los muros tanto de carga como divisorios de las viviendas mexicanas.



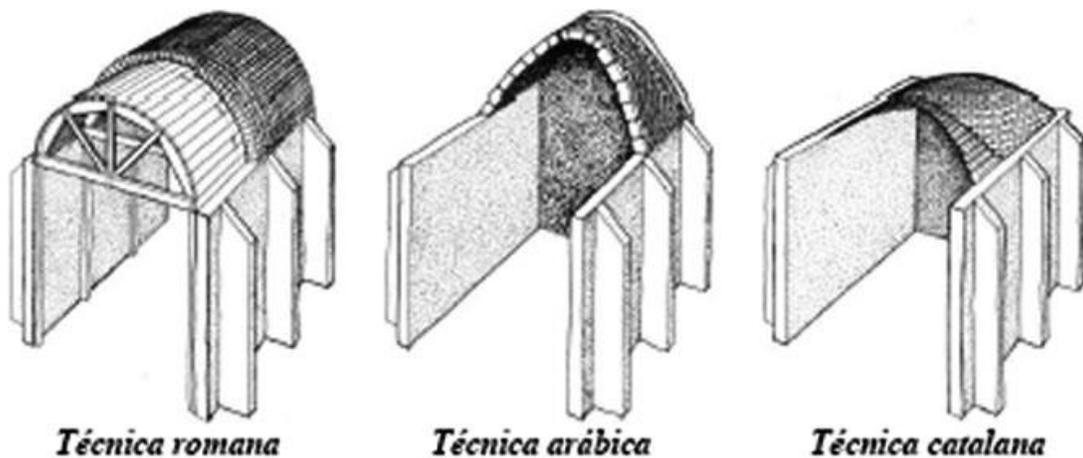
**FIGURA 6.** Dimensión de tabique de barro recocido y su colocación. Fuente: (Hernández, 2011).

*El tabique rojo, es una pieza de cerámica, generalmente en forma rectangular, obtenida por moldeo, secado y cocción a altas temperaturas, a partir de una pasta arcillosa; las dimensiones del tabique suelen rondar 24 x 12 x 6 cms. El uso del tabique recocido es muy extenso en todo trabajo de albañilería: el tabique rojo se encuentra en muros, bardas y en vivienda. (SlideShare, 2017).*

*Estos muros son reforzados en los vanos que forman puertas y ventanas, por dalas y castillos de concreto armado, teniendo en su interior acero de refuerzo a base de varillas corrugadas de acero Grado 42 con una resistencia a la tensión de 6300 kg/cm<sup>2</sup> y a la fluencia de 4200 kg/cm<sup>2</sup> (DEACERO, 2016).*

#### 2.1.2.6. CUBIERTAS A BASE DE BARRO RECOCIDO

En cuanto se refiere a las losas de cubierta en el sistema tradicional mexicano se tiene que, debido a la influencia con la cultura romana y árabe, de la cual se desprenden sistemas constructivos heredados por la cultura española, se utilizan tejas de barro recocido, el cual, en forma de canaletas conducen el agua de lluvia por medio de una pendiente baja, trabajando como un aislante ante este fenómeno natural. Sin embargo, al no presentar condiciones de sellado por puentes térmicos, es necesario instalarlo con el apoyo de en una estructura de madera y soporte a base de ladrillo de barro recocido para dar forma a la bóveda catalana, misma se encuentra en la mayor parte de las construcciones antiguas construidas por los primeros colonizadores españoles.



**FIGURA 7.** Etapa evolutiva de las cubiertas de barro recocido. Fuente: (wikiarquitectura.com, 2017).

En relación a la cultura indígena, primordialmente prehispánica, se tienen sistemas más rudimentarios como las fibras naturales extraídas de plantas y árboles, por tal motivo, el registro de construcciones donde la utilización de la piedra como elemento estructural de cubierta, es muy recurrente.

Para entender la elección de los sistemas constructivos utilizados en la época prehispánica, debemos recordar que los edificios construidos con materiales más resistentes, correspondían a centros ceremoniales y las construcciones destinadas a la vivienda eran, por lo general, hechas a base de troncos de árboles y hojas de palma o de fibras vegetales.

### 2.1.2.7. IMPACTO AMBIENTAL DE LA CONSTRUCCIÓN

La construcción de vivienda en México es, en su mayoría, a base de materiales cementantes y bloques de tierra tratada, ya sea recocida o compresa, comprendida por múltiples agregados, adhesivos y químicos que en su proceso dañan al medio ambiente y los seres vivos.

*En la actualidad, el deterioro ambiental, la disminución de recursos naturales y el evidente avance del calentamiento global exigen cada vez más un cambio de rumbo en la manera en que la humanidad está llevando a cabo sus actividades. La arquitectura y la construcción son uno de los motores que hacen crecer las ciudades, pero también generan impactos significativos en el medio ambiente y la calidad de vida de sus habitantes. Por ese motivo, es imperante que estas disciplinas puedan orientarse a una condición de sostenibilidad, donde se modere la huella que el avance urbano deja sobre los recursos naturales y se brinden condiciones que favorezcan el desarrollo. (Muñoz-Márquez, 2016).*

La versatilidad de las estructuras de acero y el procedimiento constructivo ha ido en aumento gracias a que se reconocen sus propiedades modulares y de reutilización, así como la seguridad que ofrece ante las fuerzas naturales ejercidas sobre las edificaciones y la posibilidad de establecer formas y soluciones arquitectónicas con mayor calidad.

*Los avances tecnológicos desarrollados en el ámbito de la producción de acero en los últimos 25 años han permitido una reducción sustancial de sus emisiones de dióxido de carbono. Sin embargo, a pesar de los esfuerzos invertidos por la industria internacional del acero para mejorar aún más la eficiencia involucrada en la fabricación y reciclado de acero, se espera que sea hasta el año 2020 que llegue la siguiente generación de avances tecnológicos que permitan una diferencia notable en términos de reducir su impacto al medio ambiente. (ASOCIATION, 2007).*

Sin embargo, en el ramo de la edificación de vivienda se tienen muy pocos casos en los que el acero sea utilizado como base estructural. Esto, debido a la preferencia de los sistemas constructivos tradicionales, que representan menor utilización de herramienta y equipo para producir este tipo de viviendas, posiblemente porque se supone, por parte de quien desea construir, que exista un incremento en los costos y que la durabilidad de las construcciones tradicionales está por encima de las que presentan características de prefabricación, por lo que se decide no utilizarla.

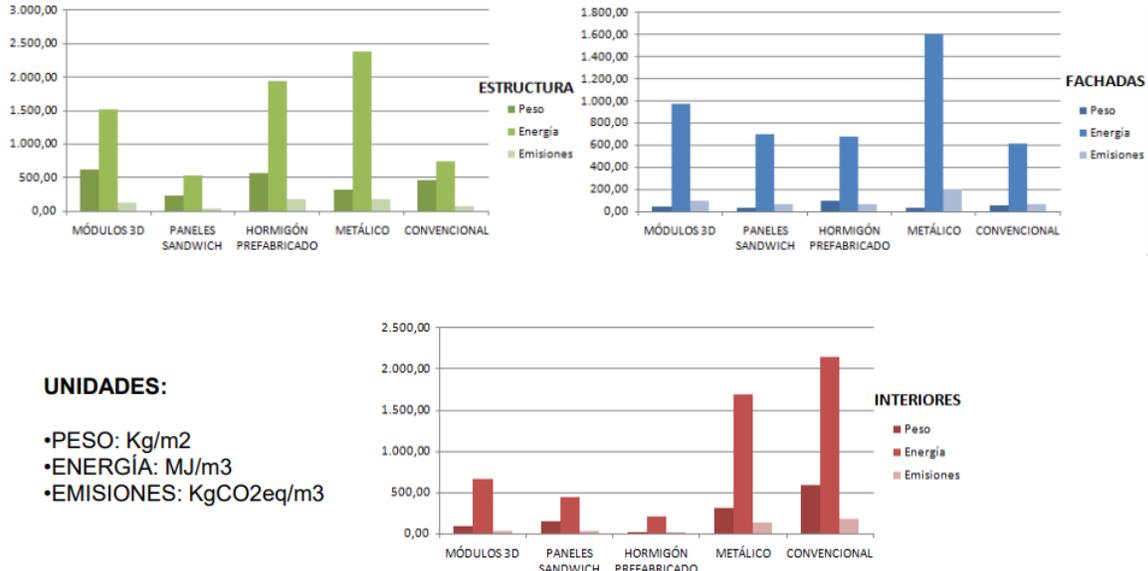
De esta forma, se desperdicia la posibilidad de establecer mejoras en los procedimientos constructivos y generar producción de vivienda sustentable con características como la modulación y reubicación como una de tantos beneficios, mismo con los que no podría cumplir un sistema tradicional, debido a que estos últimos son concebidos en un sitio permanentemente y sus componentes no pueden ser reutilizados en su mayoría.

*Mientras que el mundo de la construcción ha crecido como nunca en desperdicios, desechos, restos, demoliciones, entre otros... y en oficios especializados, En los procesos de ingeniería florece en una fluida integración de sus realizadores y actores, mediante la desaparición de fronteras entre los que crean y los que realizan. (Julian Salas, 2009)*

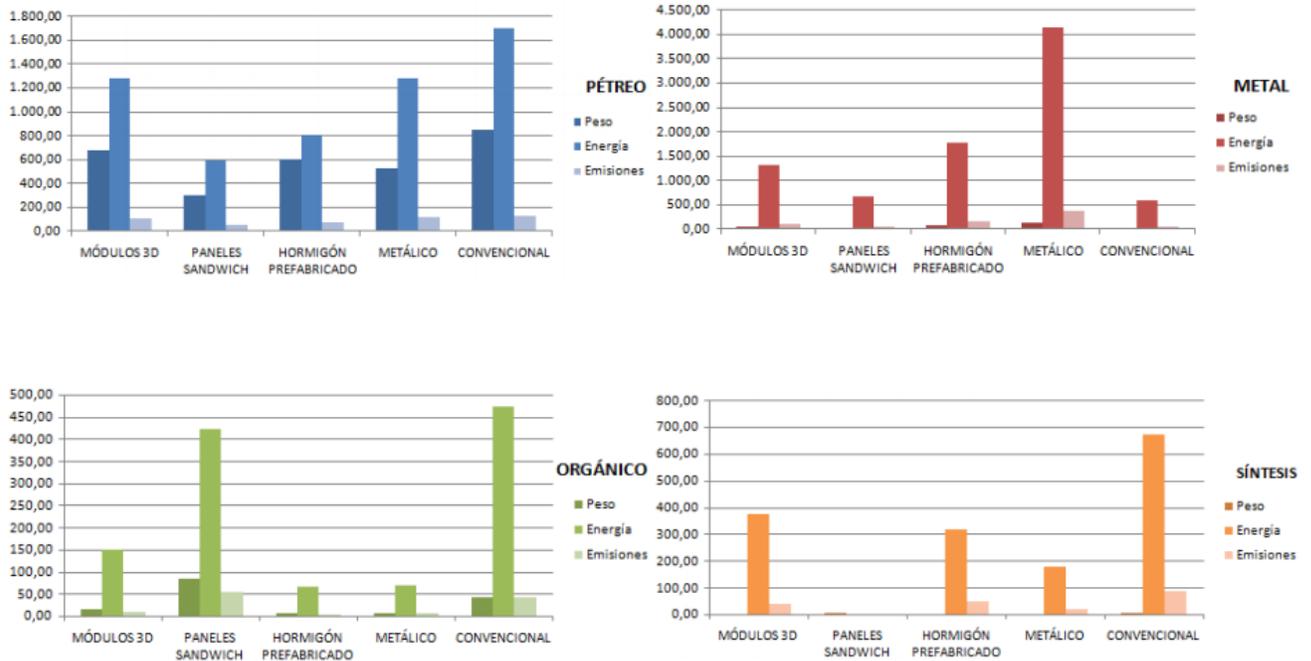
Valorización de materiales aplicados a los sistemas constructivos existentes, situación de los mismos.



**CUADRO 1.** Comparativa de tipos de sistemas constructivos. Fuente: (Cela, 2011).



**CUADRO 2.** Comparativa de tipos de materiales constructivos. Fuente: (Cela, 2011).



*Sustitución de materiales de mayor impacto ambiental por otros de menor impacto.*

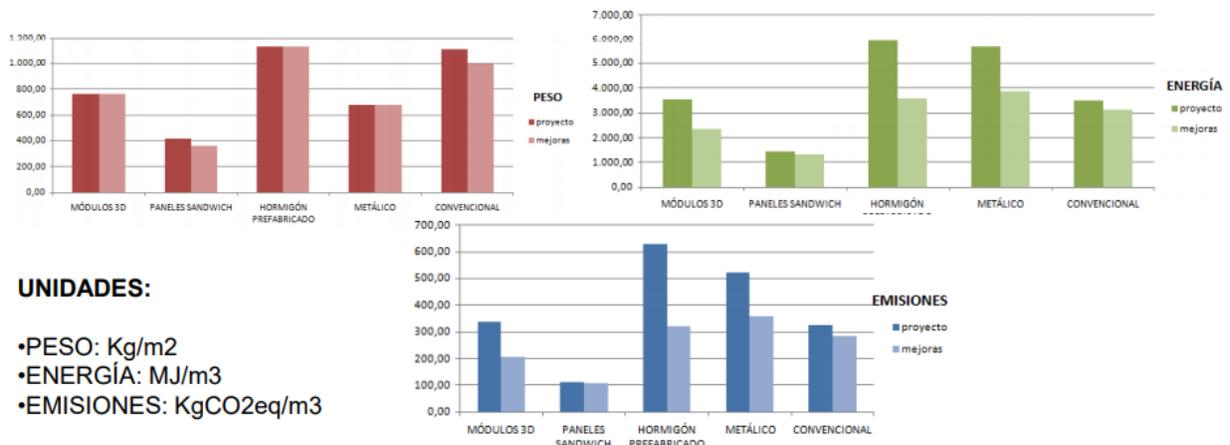
“1.- Metales de 1ª fusión por metales de 2ª fusión con mayor porcentaje de material reciclado.

2.- Sustituir materiales de origen sintético por materiales de origen orgánico.

3.- Materiales pesados por materiales ligeros”. (Cela, 2011).

**CUADRO 3.** Comparativa de peso, energía y emisiones relacionadas a los sistemas constructivos. Fuente: (Cela, 2011).

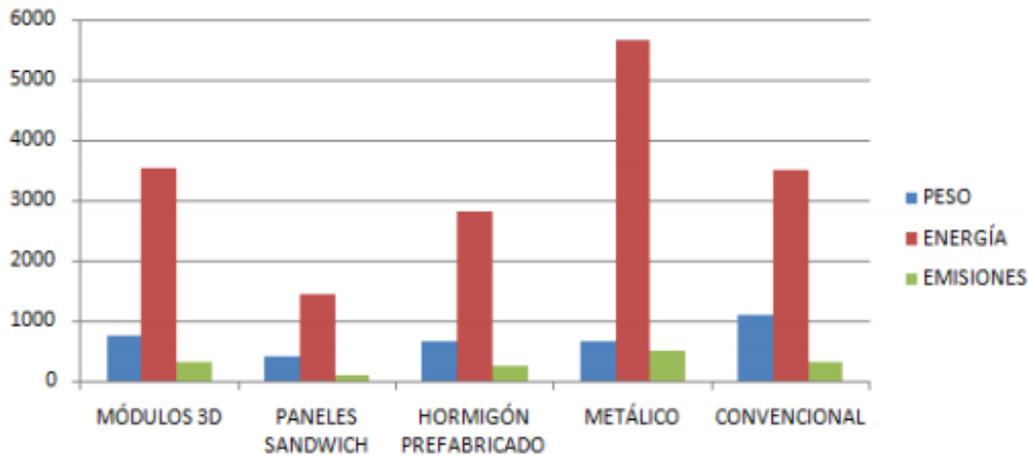
	PESO (kg/m <sup>2</sup> )			ENERGÍA (MJ/m <sup>3</sup> )			EMISIONES (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> )		
	proyecto	mejoras	REDUCCIÓN	proyecto	mejoras	REDUCCIÓN	proyecto	mejoras	REDUCCIÓN
<b>MÓDULOS 3D</b>	761	761	0%	3.539	2.334	34%	337	205	39%
<b>PANELES SANDWICH</b>	419	358	15%	1.446	1.330	8%	113	107	5%
<b>HORMIGÓN PREFABRICADO</b>	1.128	1.130	0%	6.016	3.585	40%	628	320	49%
<b>METÁLICO</b>	677	677	0%	5.681	3.881	32%	521	359	31%
<b>CONVENCIONAL</b>	1.108	996	10%	3.516	3.115	11%	325	284	13%



Del cuadro anterior se obtienen los siguientes datos:

- La repercusión del transporte en los sistemas convencionales es menor que en otros de carácter industrializado debido a que los materiales de un sistema convencional suelen ser locales.
- Los sistemas constructivos industrializados son fácilmente mejorables respecto al impacto ambiental simplemente actuando sobre los materiales de construcción. (Cela, 2011).

**CUADRO 4.** Comparativo de emisiones, energía y peso entre sistemas constructivos. Fuente: (Cela, 2011).



*La certeza de saber que se está afectando de forma irreversible la atmósfera, que la actividad humana emisora de los llamados gases de efecto invernadero parece encaminada a romper todos los equilibrios climáticos con sus catastróficos resultados, hace que parezca imprescindible tomar las medidas adecuadas destinadas a reducir nuestra balanza en el consumo de energía a partir de combustibles fósiles. (Nieva, 2005).*

El impacto que tiene en el medio ambiente la industria de la construcción y la industrialización de los productos relacionados con las actividades constructivas, requiere de un tratamiento consciente por parte de los desarrolladores de vivienda y de quienes adquieren las mismas, y en consecuencia la tendencia es desfavorable en términos no sólo de cuidado al medio ambiente, sino de, la capacidad de mantener un equilibrio adecuado para la proliferación de la vida en el planeta.

### 2.1.3. SUSTENTABILIDAD PROGRESIVA

Siendo que las opciones son pocas en cuanto a calidad de los acabados y estructura con que se construyen las viviendas hechas con el sistema constructivo tradicional, se reconoce que existen problemas de adaptabilidad con el contexto energético debido a que el uso de materiales como tabique rojo de barro cocido y block

de cemento arena que en su mayoría son seleccionados para este tipo de construcciones, no cuenta con la eficiencia energética necesaria para garantizar el adecuado rango de confort higrotérmico en lo que al ambiente dentro de las viviendas se requiere, teniendo que, en épocas de frío las viviendas consumen altos índices de energía eléctrica debido a que los usuarios dependen de un calentador de aire forzado o de aceite, donde ambos representan un consumo por encima del 40% del total de la energía demandada por este tipo de viviendas.

Del mismo modo en los meses de confort por calor que fluctúa entre los meses de mayo a septiembre se utilizan unidades condensadoras para contrarrestar los elevados índices de temperatura y humedad en el ambiente, provocando también un consumo muy importante de energía eléctrica. Todo esto provoca un deterioro en las finanzas de las familias queretanas que ven afectado su patrimonio al no poder modificar la estructura con que fueron construidas sus viviendas y que no tiene otro remedio que utilizar este tipo de equipos para hacer frente al confort por calor y frío de acuerdo a la época del año.

“El término construcción sostenible se ha entremezclado con la denominada arquitectura bioclimática, aquella que, a través de las estrategias adecuadas, consigue un ahorro sustancial en el consumo energético de la vivienda”. (Nieva, 2005, pág. 8).

Es importante resaltar que el uso de materiales sustentables no solo permite reducir el efecto de gases de efecto invernadero y contrarrestar la contaminación al medio ambiente de forma directa, sino que, proporciona grandes beneficios económicos y a su vez de tipo social por lo que en las poblaciones donde se ha concientizado y evaluado su utilización, genera grandes aportes a la sociedad.

Así mismo la utilización de materiales sustentables representa un área de oportunidad que genera grandes ingresos económicos y con ello la participación de la sociedad de forma activa debido al autoempleo y la concientización del cuidado al medio ambiente, derivando en empresas pequeñas y medianas donde participan familias que se benefician directamente de estas actividades.

*En la Unión Europea, la construcción de edificios consume el 40% de los materiales, genera el 40% de los residuos y consume el 40% de la energía primaria. Estos datos nos hablan de un sector profundamente impactante sobre el medio económico, ecológico y social, en definitiva, un sector insostenible. (Nieva, 2005, pág. 6).*

#### 2.1.4. IMPACTO AMBIENTAL DE LA CONSTRUCCIÓN

Los sistemas constructivos que se conocen como prefabricados, están compuestos por materiales que son sometidos a numerosos estudios y análisis para poder ser comercializados, situación que no sucede con los sistemas tradicionales, que dependen de materiales regionales y mano de obra que cuenta con habilidades adquiridas de generación en generación.

Dentro de las edificaciones residenciales son cada vez más utilizados los elementos constructivos prefabricados, esto debido a que, los constructores logran de esta forma reducir el tiempo en los procesos dentro de la construcción y porque también logran a través de estos, cuantificar más adecuadamente sus insumos, dando como resultado, un mejor control de los costos y alcances de trabajo en la construcción.

Los muros prefabricados cuentan con una extensa variedad de soluciones y materiales, para los cuales se describirán los siguientes:

##### 2.1.4.1. MUROS HUECOS PREFABRICADOS

En relación a los muros construidos con materiales prefabricados se dividen en interiores y exteriores, estos pueden ser:

##### 2.1.4.1.1. MUROS DIVISORIOS A BASE DE PANEL DE YESO

*“El tablero Tablaroca® normal es resistente al fuego, lo que significa que el núcleo de yeso, al ser mineral no flamable y resistente a temperaturas mayores a 80° C, impide que se genere combustión y retarda la propagación del fuego”.* (SlideShare, 2017)., Este sistema es útil para muros divisorios interiores rectos o curvos, plafones interiores corridos, arcos, nichos y cajillos; así como, detalles decorativos y sus dimensiones técnicas comerciales son fijadas por el sistema imperial que determina 4' x 8', lo que representa en el sistema métrico decimal 122 x 244 cms.

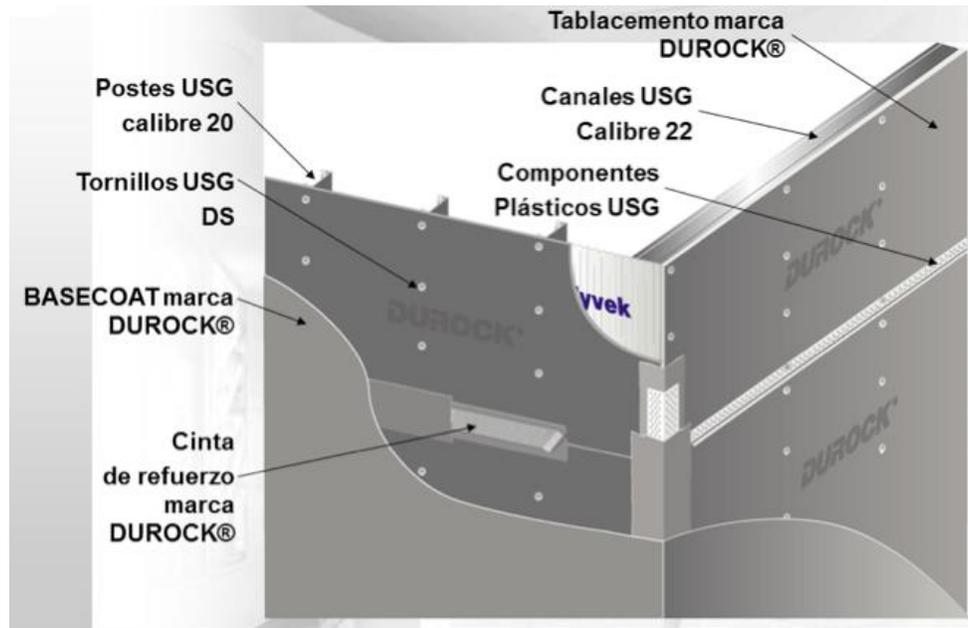
Los paneles de yeso se fijan a la estructura a base de perfiles ligeros de acero galvanizado calibre 26 en presentación de postes, canal de amarre, canal de carga, ángulo de amarre y canal listón; anclándose el panel de yeso a estos elementos de soporte, por medio de tornillos autoperforantes de acero galvanizado de 1" de longitud. Para generar un control térmico y acústico, se le añade al interior del muro hueco, una composición de lana mineral o fibra de vidrio de baja densidad o en otros casos materiales reciclables que permiten, tanto un control acústico como térmico, al interior de los espacios. Al unirse varios paneles entre sí, es necesario que las perforaciones y las juntas entre estos se resanen, esto se logra a base de una cinta de papel y macilla similar al yeso para ocultar las uniones.

Dentro de esta gama de soluciones, para cada tipo de necesidades al interior de la edificación se tienen variantes, que van desde, los resistentes al fuego, a la humedad y de refuerzo adicional a las transmisiones acústicas.

#### 2.1.4.1.2. MUROS EXTERIORES A BASE DE PANEL DE CEMENTO

En cuanto a los muros exteriores en este tipo de sistemas prefabricados, se tiene el panel de cemento, el cual corresponde a las dimensiones del panel de yeso, pero tiene características propias que lo hacen ideal para colocarse a la intemperie. Las características principales son su fácil instalación, ligereza que agrega un peso controlado a la estructura y cimentación del edificio, es ideal para zonas húmedas y exteriores y que permite recibir acabados diversos debido a su perfil de anclaje que garantiza el pegado de piezas cerámicas o piedras naturales.

Estos paneles de cemento se fijan a la estructura a base de perfiles ligeros de acero galvanizado calibre 22 en presentación de postes, canal de amarre, canal de carga, ángulo de amarre y canal listón; anclándose el panel de cemento a estos elementos de soporte, por medio de tornillos autoperforantes de acero galvanizado de 1 1/2" de longitud.



**FIGURA 8.** Conformación de un muro de tabla de cemento marca Durock®. Fuente: (Tablayeso, 2016).

*Este sistema es una solución definitiva para edificaciones en donde se busca optimización y reducción de consumo energético. Los costos de instalación son menores a otros productos exteriores porque se instalan fácilmente y los edificios se pueden cerrar más rápido, permitiendo así, la construcción de los sistemas interiores debido a su ligereza se pueden reducir costos en la selección y diseño de los elementos estructurales. (Tablayeso, 2016).*

#### 2.1.4.1.3. MUROS PREFABRICADOS A BASE DE CEMENTO-ARENA

Otro elemento para conformar muros es a base de block hueco de cemento-arena. Estos elementos toman su forma al ser comprimidos a través de moldes de acero, donde su composición, primordialmente cemento, arena y agua, se amalgaman para darle forma y consistencia al elemento constructivo.

En este caso, los muros de block hueco, representan una opción muy utilizada por constructores de vivienda en serie, esto debido a la modulación de los muros, es decir, es por medio de estas piezas constructivas que, es posible determinar con piezas completas la totalidad de volumen de un muro y en consecuencia el costo de material y mano de obra, lo que le permite al constructor acabar de forma más precisa su actividad. En cuanto a la autoconstrucción, sucede que, es muy solicitado, porque con este tipo de bloque, se puede avanzar más rápidamente que con otros de menos dimensión.

#### 2.1.4.1.4. LOSAS DE ENTREPISO Y CUBIERTAS

En cuanto a las cubiertas existe también otro elemento similar al block, se le llama “bovedilla”, misma que es colocada y soportada por viguetas de concreto armado, prefabricado y pretensado, listo solo para colocarse apoyado en un claro a cubrir, por medio de muros de carga.



**FIGURA 9.** Elementos prefabricados a base de cemento-arena. Fuente: (Qrobloc, 2017).



### 2.1.5. SISTEMAS MIXTOS Y ADECUACIONES

El seleccionar un sistema constructivo, no es excluyente en la posibilidad de combinar las soluciones técnicas que se adaptan mejor entre sí, como medidas de aligeramiento en carga y esfuerzos, esto por considerarse conveniente en ocasiones, por razones prácticas como economía y eficiencia en el montaje, maniobra o instalación de elementos constructivos prefabricados.

Los sistemas tradicionales de construcción, están compuestos en mayor medida, por elementos a los que se puede adaptar un sistema prefabricado progresivo, esto debido a que es susceptible de recibir anclajes mecánicos para fijar estructura de soporte y a su vez, el sistema prefabricado, puede adaptarse al dimensionamiento establecido.

La combinación de elementos de acero con concreto representa una solución muy utilizada para proyectos civiles, en cambio para la construcción de vivienda se tienen combinaciones con materiales artesanales derivados de la transformación de la arcilla y la tierra, donde la unión de ambos resulta en ocasiones poco efectiva. Esto se demuestra cuando se intenta habilitar un muro de tabique de barro recocado alineado en un eje donde la estructura es de acero de refuerzo, siendo el resultado de este, un anclaje por medio de alambón que sólo une el muro desde las juntas entre tabiques y la columna que lo retiene en sentido lateral, por lo que no queda del todo unido, simplemente se intenta alinear el muro para evitar, en la medida de lo posible, fisuras o grietas por separación de materiales, que en este caso, no son compatibles.

*Una construcción mixta se caracteriza esencialmente por la presentación en su estructura resistente de piezas que posean “secciones mixtas”; es decir, secciones resistentes en las cuales el acero estructural y el hormigón trabajan solidariamente; conjuntamente con estos elementos básicos pueden colaborar distintos tipos de materiales: armaduras pasivas, armaduras de pretensar, etc. (Calzón & Ortiz Herrera, 1978).*

Sin embargo, estos casos son repetitivos inclusive en estructuras donde, el concreto armado es utilizado para soporte y carga total del edificio, siendo un sistema de anclaje similar, con los mismos resultados.

*Estos materiales, aunque esencialmente diferentes, son totalmente compatibles y complementarios entre sí; tienen casi la misma dilatación térmica; tienen una combinación de resistencia ideal, ya que el hormigón es eficaz a compresión mientras que el acero lo es a tracción. Además, el hormigón proporciona protección contra la corrosión y aislamiento térmico al acero a temperaturas elevadas y puede proteger las secciones delgadas de acero contra abolladuras y pandeo lateral por torsión. (Calzón & Ortiz Herrera, 1978).*

Por lo anterior es que se debe entender que el adecuado funcionamiento de un sistema, depende en gran medida de su capacidad de adaptación y su cualidad progresiva, debido a que, en la mayor parte de los casos, se define o se opta por utilizar solo uno de estos.

En los casos donde intervienen elementos como madera y vidrio para cubiertas, se puede observar la versatilidad que proporciona en los anclajes y ensambles, siendo este factor de modularidad que permite generar variables y soluciones de diseño paramétrico, herramienta fundamental de la concepción arquitectónica. Por lo anterior resulta importante el uso de dos o más sistemas constructivos trabajando en conjunto, para dar solución a las necesidades de adaptabilidad y definición de proyectos constructivos.

Es indudable que, la evolución de los sistemas constructivos, permitirá contar con variables que, al incrustarlas en las construcciones anteriores a estas, deberá cumplir con la capacidad de adaptabilidad y progresividad de la edificación, siendo este un requisito fundamental de la selección de nuevos sistemas. La versatilidad es, en consecuencia, un factor determinante de cualquier sistema constructivo al momento de ofrecer soluciones encaminadas a la evolución del pensamiento y soluciones prácticas constructivas.

## 2.1.6. MODULACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN

Es importante considerar que las edificaciones que presentan propiedades de modularidad permiten ser aptas para replicarlas, reubicarlas y ampliarlas, de acuerdo a las necesidades requeridas. Esto debido a que, sus partes pueden ser desensambladas y clasificadas para su transporte al nuevo sitio donde se utilizarán para edificar nuevamente la vivienda en este caso.

Actualmente, la demanda de vivienda va en crecimiento y, paralelo a esto, la contaminación generada por este sector, provoca una inestabilidad en el ecosistema y un deterioro de la calidad de vida de los seres vivos, debido a la utilización de materiales basados en procesos emisores de contaminantes al medio ambiente, en especial el agua que consume el ser humano. Afortunadamente hay una fuerte demanda de viviendas enfocadas al ahorro de energía en su operación y en especial en que éstas sean producidas por materiales y sistemas sostenibles. Por lo anterior, el esfuerzo por conformar los mecanismos que permitan garantizar un modelo base que permita la vivienda en serie con características primordialmente accesibles a la sociedad y aportando menor impacto al medio ambiente.

*Tomando esto como premisa, los arquitectos tenemos que utilizar varias herramientas para que nuestros diseños logren ser más sostenibles, teniendo presentes la necesidad de reducir nuestro impacto al máximo sin dejar de lado el confort y satisfacción de las necesidades del usuario. (Olgay, 2010).*

Dentro de las cualidades más importantes de la propuesta del sistema de muros modulares se encuentra la adaptación, crecimiento y decrecimiento de la misma, esto con la finalidad de cumplir la necesidad de las familias de habitarla en determinadas etapas de la vida familiar, donde esta se compone de un determinado número de personas y con necesidades cambiantes a través de su vida en familia.

También es posible un reacomodo de ciudad o entorno, por lo que el principio fundamental genera la necesidad de que todos los componentes sean desmontables y

reutilizables, lo que le adiciona ser flexible durante su diseño y construcción como en sus posteriores modificaciones.

*La vivienda, a diferencia de la mayoría de los bienes producidos (automóvil, muebles, vestimenta, entre otros), tiene una duración prolongada. De modo tal que, suele sobrepasar a varias generaciones.*

*Por lo cual es pensable que la vivienda sea habitada no sólo por sus constructores, sino que trascienda a nuevas generaciones de una misma familia o se intercambie a través de las condiciones de mercado dominantes: valor del suelo por su ubicación, por la oferta de servicios e infraestructura, por el nivel de edificación de contexto, entre otros. Es más, a menudo son condiciones que van cambiando durante la vida útil de la vivienda. (Gatani, 2004).*

Del mismo modo, es necesario dotar al sistema modular de confinamiento y contención de propiedades térmicas que permitan mantener los espacios arquitectónicos dentro del rango de confort climático, repeliendo la radiación solar directa y difusa, así como, los cambios extremos de temperatura y los puentes térmicos ocasionados por juntas constructivas deficientes.

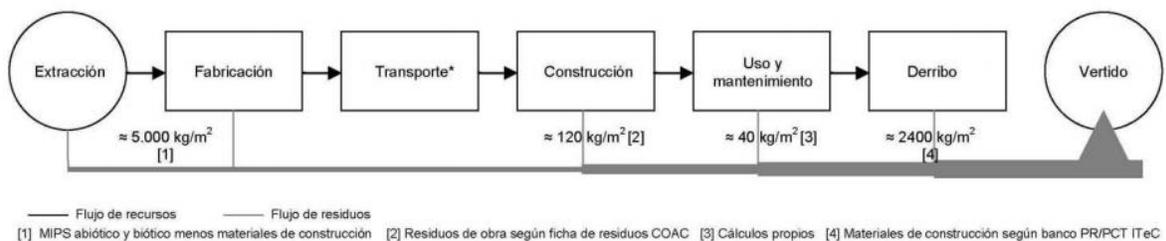
Todo lo anterior es posible si se conforma un sistema modular que permita su modificación, reutilización y traslado. Lo cual le da congruencia y lo posiciona como una personalización de la vivienda por encima de las construcciones tradicionales, provocando en el usuario experiencias significativas en su sentimiento de propiedad y patrimonio.

Este mismo concepto de modulación, adecuación y versatilidad constructiva lo posee el presente proyecto de que comprende los aspectos de confinamiento y contención de los espacios arquitectónicos interiores para una vivienda con estructura de acero modular. Además, de contrarrestar la adaptación de sistemas constructivos tradicionales a base de materiales perfectos e imperfectos que no cumplen con la

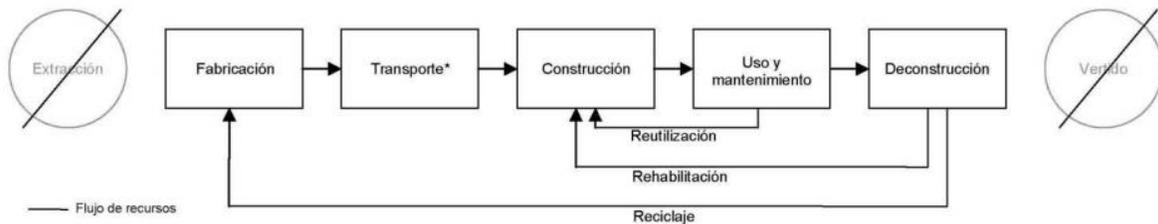
propiedad de ser reutilizables en su mayoría y que generan desperdicio y por ende contaminación.

Con esto se abre la posibilidad de reproducir con mayor facilidad, de forma ordenada y limpia, viviendas que tengan el valor agregado de ser sostenibles y que por sus características modulares ganen aceptación cada vez más en la población demandante de vivienda.

Diagrama de flujo de recursos y residuos de una construcción convencional



PROPUESTA DE CONSTRUCCIÓN MODULAR EN BASE A EDIFICIOS DESMONTABLES Y DE ALQUILER



**FIGURA 10.** Comparativa de construcción tradicional y modularidad de edificios desmontables.  
Fuente: (Wadel, 2010)

### 2.1.7. RELACIÓN COSTO-TÉCNICA CONSTRUCTIVA

En cuanto al costo derivado de las partes que componen una edificación se tiene lo siguiente:

*Según Mascaró (1999), resulta conveniente tomar los costos agrupados por planos horizontales, planos verticales, instalaciones y otros. Los planos horizontales y verticales son propiamente en función de la forma del edificio y éstos son motivo frecuente de cambio para reducir costos. Las instalaciones, al contrario, son motivo poco frecuente de cambio para*

reducir costos. De este modo, Mascaró ha elaborado los costos de los edificios y ha calculado los costos relativos mostrados en la Tabla 1. Se puede observar, que lo más caro son planos verticales. (Alfredo Esteves, 1999).

**CUADRO 5.** Comparativa de costos relativos de edificios. Fuente: (Mascaró, 1999).

Clasificación del elemento	Composición	(%)
Elementos que forman planos horizontales	Parte horizontal de estructura y fundaciones, techo, pisos y parte horizontal de revestimientos y de pintura	26.79
Elementos que forman Los planos verticales	Parte vertical de estructura y fundaciones, mampostería, aberturas, revestimiento interior y exterior, parte vertical de pintura.	44.84
Instalaciones	Eléctrica, telefónica, hidráulica, gas, artefactos sanitarios, grifería y ascensor.	24.33
Otros	Instalaciones provisionarias, limpieza de obra y otros trabajos no considerados	4.02

Por lo anterior, se entiende que el 44.84% del costo de la edificación radica en elementos verticales denominados muros. Por lo tanto, se pretende demostrar que el ahorro en el procedimiento en este rubro es significativo al momento de estimar los costos de obra. Del mismo modo, se puede hablar del porcentaje relacionado con las instalaciones que, en diversos ejes de acuerdo al proyecto arquitectónico, se destinan para servicios. Es necesario contemplar la contención de instalaciones hidráulicas, eléctricas, sanitarias y especiales, mismas que aportan un 24.33% del total de edificación, situación que se presenta como área de oportunidad al poder ser incluidas dentro de la conformación de dichos muros propuestos.

En otro orden de ideas y contemplando el panorama nacional en comparación a la situación que se presenta a nivel internacional, se debe considerar que, para abastecer la demanda de los insumos necesarios para la construcción, nuestro país depende de la producción de elementos prefabricados, que son hechos en países como Estados Unidos

principalmente, esto debido al intercambio comercial que existe entre los países del norte del continente.

*Lo que resta de 2017 continuará siendo complicado principalmente por la escasez y encarecimiento de recursos públicos y privados para el impulso de los proyectos de infraestructura.*

*Asimismo, la economía mexicana continúa sujeta a una serie de presiones provenientes del sector externo, como resultado de la indefinición en las políticas comercial y fiscal de Donald Trump que podrían obstaculizar el comercio exterior y la inversión extranjera. (Construcción, 2017, pág. 6).*

Es importante considerar la situación actual de país, que demuestra que el incremento de los precios de las materias primas utilizadas en la construcción, se ven afectadas mayormente, por factores políticos y económicos externos, como causa de la globalización.

*Durante el mes de marzo de 2017 el Índice general de Precios al Productor en los Materiales de la Construcción (anualizado), registró un crecimiento de 13.4%, como consecuencia de:*

*a.-Un aumento en el Subíndice materiales de Construcción de 15.2%.*

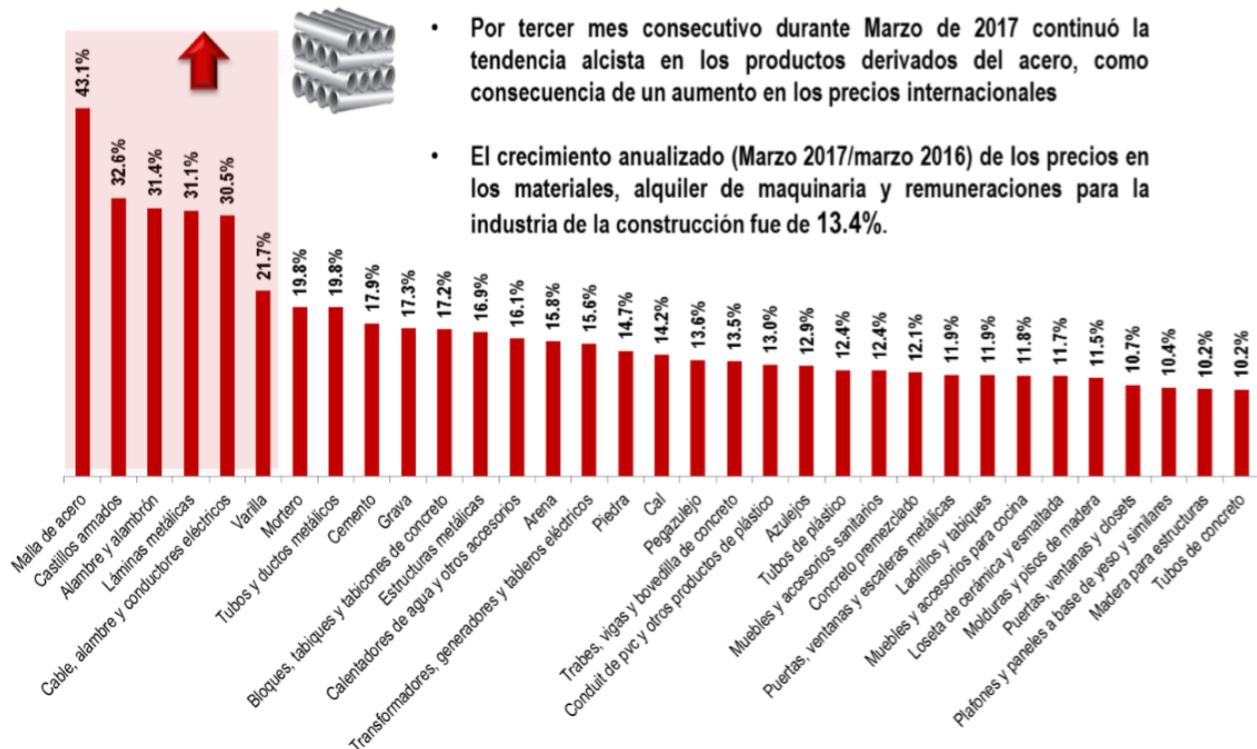
*b.-Incremento de 8.0% en Índice alquiler de maquinaria y equipo.*

*c.-Un comportamiento de 4.3% Índice de remuneraciones*

*(Construcción, 2017, pág. 14).*

**CUADRO 6.** Comparativo de incremento en el alza de precios de elementos constructivos.

Fuente: (Construcción, 2017, pág. 14).



*El crecimiento en los precios de los materiales e insumos de la construcción se está moderando, lo que indica que el impacto del gasolinazo casi se encuentra asimilado. Si no sucede otro evento similar al de principio de año, el aumento en los precios de los materiales e insumos para la construcción tenderá a suavizarse en lo que resta del año. (Construcción, 2017).*

De esta forma se observa que la industria del acero genera un incremento en el precio de sus productos, debido a la situación que impera en la industria petrolera, la cual se ve directamente reflejada en la actividad constructiva, en especial de vivienda, porque derivado de esto, al afectar el sector del transporte en el incremento de Diesel, gas y gasolina, el costo de las materias primas y los elementos constructivos prefabricados, se ve afectado al alza, como lo vemos reflejado en el estudio anterior.



## 2.2. DESDE LA ARQUITECTURA

### 2.2.1. TECNOLOGÍA Y PROCESOS CONSTRUCTIVOS

La tecnología representa, el factor más importante en el avance de los elementos constructivos siendo estos, un resultado de la combinación de ideas y análisis a cerca de las áreas de oportunidad que prevalecen en la construcción, esto porque cada vez se entiende que, la conformación de espacios arquitectónicos requiere de servicios y adecuaciones cada vez más complejas, situación que representa un reto cada vez mayor, que provoca una mejora en cada uno de los factores que se consideran al momento de utilizar los elementos que dan forma a los proyectos arquitectónicos.

El avance tecnológico es progresivo y exponencial, debido a que las técnicas utilizadas en las épocas anteriores a los ordenadores, permitían transformar

Del mismo modo, es necesario dotar al sistema modular de confinamiento y contención de propiedades térmicas que permitan mantener los espacios arquitectónicos dentro del rango de confort climático, repeliendo la radiación solar directa y difusa, así como, los cambios extremos de temperatura y los puentes térmicos ocasionados por juntas constructivas deficientes.

*Los sistemas de envolventes no sólo tienen que contrarrestar las diferencias de temperatura entre el interior y el exterior, sino también tienen que controlar el nivel de exposición del edificio a los efectos de la radiación solar, ya que está por consecuencia, se transforma en flujos de calor que generan ganancias térmicas adicionales sobre el edificio. (Paricio, 1997).*

Los procesos constructivos deben establecerse desde el punto de vista sustentable, considerando que, cada vez es más evidente que, la afectación generada por esta industria al medio ambiente, entorpece la calidad de vida de los habitantes de una ciudad. Por lo anterior las viviendas deben presentar avances tecnológicos que ayuden a reducir la utilización de energía y el manejo de desperdicios, transformándose en viviendas sustentables.

*Los resultados del ISV indican que la vivienda de interés social en México tiene una sustentabilidad media-baja, ubicándose en un rango de 41 a 48 puntos en una escala de 0 a 100. Este nivel de desempeño es propio de una vivienda con un cumplimiento mínimo de la normatividad a nivel nacional. Específicamente, se encontró que el gasto en vivienda y transporte conlleva un peso significativo en el presupuesto familiar, pues en promedio los usuarios destinan 40 % de sus ingresos a estos rubros. (Molina, 2012, pág. 3).*

Siendo que las opciones son pocas en cuanto a calidad de los acabados y estructura con que se construyen estas viviendas, se reconoce que existen problemas de adaptabilidad con el contexto energético debido a que el uso de materiales como tabique rojo de barro recocido y block de cemento arena que en su mayoría son seleccionados para este tipo de construcciones, no cuenta con la eficiencia energética necesaria para garantizar el adecuado rango de confort higrotérmico en lo que al ambiente dentro de las viviendas se requiere, teniendo que, en épocas de frío las viviendas consumen altos índices de energía eléctrica, por tal motivo, los usuarios dependen de un calentador de aire forzado o de aceite, donde ambos representan un consumo por encima del 40% del total de la energía demandada por este tipo de viviendas. Del mismo modo en los meses de confort por calor que fluctúa entre los meses de mayo a septiembre se utilizan unidades condensadoras para contrarrestar los elevados índices de temperatura y humedad en el ambiente, provocando también un consumo muy importante de energía eléctrica. Todo esto provoca un deterioro en las finanzas de las familias que ven afectado su patrimonio al no poder modificar la estructura con que fueron construidas sus viviendas y que no tiene otro remedio que utilizar este tipo de equipos para hacer frente al confort por calor y frío de acuerdo a la época del año.

*“El término construcción sostenible se ha entremezclado con la denominada arquitectura bioclimática, aquella que, a través de las estrategias adecuadas, consigue un ahorro sustancial en el consumo energético de la vivienda”. (Nieva, 2005, pág. 8)*

## 2.3. ASPECTO SOCIAL

### 2.3.1. EMPLEO Y COMERCIALIZACIÓN

La industria de la construcción aporta una importante fuente de trabajo para la población de una ciudad, quienes se integran al ámbito laboral de edificación de vivienda, por medio de constructoras de desarrollos o en gran medida a la construcción de residencias de particulares.

*1.-De acuerdo con cifras publicadas por el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), en el mes de FEBRERO de 2017 el empleo formal\* generado por el sector de la construcción presentó un crecimiento de 2.9% con relación al mismo mes de 2015.*

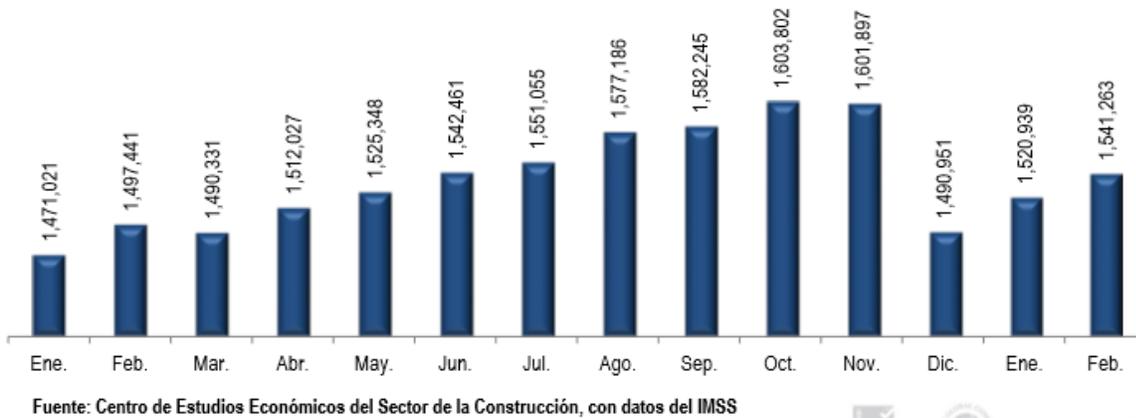
*2.-Durante el PERÍODO (Enero – Febrero), el empleo registrado al IMSS por parte de la industria de la construcción creció 3.2% con relación al año 2015 (+46 mil 870 nuevos empleos formales). (Construcción, 2017, pág. 13).*

En el cuadro 7, se muestra el comparativo de empleos registrados en el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) durante los meses de febrero de 2016 y 2017, relacionados con la industria de la construcción.

**CUADRO 7.** Comparativo de empleos registrados en el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) durante los meses de febrero de 2016 y 2017, relacionados con la industria de la construcción. Fuente: (Construcción, 2017, pág. 13).

	2016	2017	Variación % 2016 vs. 2015	Incremento en el número de empleos con relación al mismo periodo del año previo
<b>Febrero</b>	<b>1,497,441</b>	<b>1,541,263</b>	<b>2.9%</b>	<b>(+) 43,822</b>
<b>Enero - Febrero</b>	<b>1,484,231</b>	<b>1,531,101</b>	<b>3.2%</b>	<b>(+) 46,870</b>

**CUADRO 8.** Registro de trabajadores de la construcción ante el IMSS del mes de enero de 2016 al mes de febrero de 2017. Fuente: (Construcción, 2017, pág. 13).



La industria de la construcción también depende de la participación de las empresas nacionales y extranjeras que dan certidumbre al mercado, esto debido a que la actividad no se puede centralizar sólo en esfuerzos puntualizados, pero esto requiere de mayor control para evitar que el desarrollo sea simplemente con motivos económicos y se permita un adecuado desarrollo de las actividades relacionadas a la construcción.

*Los proyectos estratégicos que se desarrollarán en el futuro próximo, demandarán de empresas globales con alta capacidad técnica, tecnológica y de financiamiento. Las oportunidades que ofrece el mercado mexicano en la industria de la construcción, se pueden materializar de mejor manera si*

*se complementan capacidades y se suma la experiencia de las empresas participantes. (Construcción, 2017).*

### 2.3.2. EVOLUCIÓN EN AUTOCONSTRUCCIÓN, TECNOLOGÍA VS TRADICIÓN

Mientras que las técnicas y procedimientos aplicados a la construcción tradicional mexicana representan, una vasta tradición heredada de padres a hijos durante siglos, utilizando los materiales existentes en la zona y siendo que arquitectónicamente hablando, forma y función corresponden a tipologías representativas de las poblaciones y sus preferencias artísticas y técnicas , los sistemas prefabricados son basados en una amplia gama de variantes técnicas, respaldadas por investigaciones realizadas por métodos científicos, donde, cada producto, resultado de la investigación, es sometido a pruebas y esfuerzos aplicados a este, para poder incluirlo a las propuestas de aplicación dentro de nuevos sistemas constructivos. Siendo estos últimos, quienes evolucionan cada vez más, debido al avance de las tecnologías aplicadas a este sector.

Los sistemas constructivos tradicionales mexicanos, representan una solución aceptada por la sociedad a través del tiempo, de acuerdo al conocimiento desarrollado por sus habitantes y su demanda corresponde más a la precepción de seguridad y firmeza, que podría no ser tal en caso de los sismos, tal como se ha observado en el pasado 19 de septiembre en nuestro país, donde se demostró nuevamente que, las estructuras a base de concreto armado y muros de carga, potencialmente son un riesgo cuando existen fallas derivadas de su inadecuada conformación y de la aplicación de criterios estructurales erróneos que someten a las estructuras ante los efectos de la naturaleza.

Los medios de transporte necesarios para el traslado de materias primas llevadas, desde el lugar de extracción hasta el lugar donde se fabricarán los elementos constructivos, son variados y su capacidad de carga y traslado dependen en gran medida de las características de la materia a trasladar. El factor que une a estos medios de transporte es, la utilización de combustibles pétreos de restos fósiles que, para producir

la energía necesaria para la operación de los medios de transporte, emiten contaminantes en altas cantidades, por lo que la necesidad de industrialización de materiales que sean fabricados con procedimientos y materias primas resultado de procesos ecológicos y sustentables.

En cuanto a la ampliación y adecuación de viviendas en donde se combinan procedimientos y materiales prefabricados e industrializados con los sistemas constructivos tradicionales, los denominamos “híbridos”, consideremos que entre estos existe una complejidad en su adaptación y anclaje, esto debido a que, si pensamos en el adobe como base de una construcción que se pretende ampliar, entendemos que, al utilizar un sistema que para su conformación necesite anclajes a base de tornillos y taquetes, observaremos una falta de adherencia entre ambos sistemas, del mismo modo utilizando elementos constructivos a base de concreto armado, situación que genera un margen de error y una posible falla ante los esfuerzos que esta construcción recibe en caso de fenómenos naturales, tales como un sismo,

Por tal motivo es importante definir cuáles son las características que conllevan a seleccionar un sistema constructivo previo a la concepción de ideas arquitectónicas funcio-formales, debido a que, esta es la principal variante que determinará el éxito del proyecto, logrando así los alcances para que fue diseñado.

Sin embargo, es importante enfatizar el efecto que tiene la utilización de sistemas constructivos que dañan al medio ambiente aun cuando, se presentan como avances tecnológicos, sus procedimientos de fabricación en algunos casos siguen siendo rudimentarios.

*“Todo esto en un contexto de vertiginosa urbanización en el que aproximadamente 33% de las familias mexicanas experimentan un rezago habitacional, ya sea por hacinamiento, por deterioro de la vivienda o por el uso de materiales de poca duración”. (Federal, 2010).*

Derivado de esto, el desecho que resulta de utilizar un sistema que produce escombros debido al ensamble inexacto de sus componentes y los procesos de colocación de este tipo de materiales constructivos genera un remanente poco utilizable y en su

mayoría debe ser arrojado a todo tipo de terrenos sin autorización de los dueños y en zonas con cada vez más complicaciones debido a la numerosa cantidad que se genera por desecho de este tipo de materiales en las construcciones.

Derivado al acelerado incremento de las prácticas constructivas, se producen contaminantes que dañan directamente a la salud de las personas debido a la emisión de gases de efecto invernadero que estas producen, especialmente el bióxido de carbono resultante de los procesos de elaboración de elementos constructivos como el tabique de barro recocido, donde de acuerdo al diario El Universal comenta:

*“Los suelos de la zona han sido contaminados por compuestos de alto peso molecular, compuestos halogenados y diversos metales. Estos metales pesados son un factor restrictivo en la recuperación de un sitio”.*

(Redacción, 2013)

## 2.4. TÉCNICA APLICADA EN LA ARQUITECTURA

### 2.4.1. NUEVO PENSAMIENTO CONSTRUCTIVO

La intención principal de este estudio y análisis de los sistemas constructivos, se encamina al planteamiento de una propuesta, que permita el debate acerca de la utilidad real de cada elemento utilizado en la edificación, puesto que existen casos de estudio donde se demuestra que, la forma de construir y la elección de los tecnicismos relacionados con este aunado a la selección de materiales para conformar el edificio a construir, se ve afectado por la tradición, la conveniencia técnica-económica y la falta de propuestas objetivas en el tema. Lo anterior no quiere decir que los esfuerzos no sean los adecuados, sino que, la trascendencia de la selección de las materias, no debería estar sometida a estos factores, sino que, deben ser profundamente analizados para permitir un avance en la evolución de los sistemas constructivos y sus aplicaciones.

Existen actualmente sistemas constructivos a base de materiales reciclados que resultan ser más eficientes por ser modulares, sustentables y amables con el medio ambiente, desafortunadamente su desconocimiento y falta de promoción ha ocasionado que no se utilicen, desaprovechando así un área de oportunidad donde se reflejan beneficios directos en la salud y calidad de vida de los habitantes, así como de fuentes de trabajo y en su caso del autoempleo.

De esto se desprende la idea de generar soluciones que permitan la versatilidad, utilidad y economía en los procesos constructivos y en especial en el caso de los muros como elementos significativos de una edificación, deben ser replanteados y establecidos de acuerdo a su utilidad real, no así, designar en su composición, factores que entorpezcan la resistencia y aporte estructural de los elementos que, en conjunto, trabajan para dar forma a una edificación.

Además de este orden de ideas, se debe contemplar que, la construcción tradicional mexicana no ha tenido modificaciones significativas, en cambio sigue siendo un referente de la forma de construir vivienda en América latina, sin embargo, debemos reconocer que las estructuras hechas con este sistema a base de concreto armado y materiales artesanales, no son confiables en cuanto a resistir los efectos de la naturaleza, tales como sismos, situación que ha quedado comprobada no solo en nuestro país, sino que, a través del mundo, donde se encuentran modelos similares.

El interés se basa en la necesidad de priorizar la seguridad por encima de los factores previamente planteados, además de permitir que el pensamiento progresivo, sea el factor principal de mejora y evolución, dejando atrás, el conformismo y la ignorancia constructiva que, en el caso de un sistema poco confiable, ofrece. En la mayor parte de la población de nuestro país, se encuentra arraigado el pensamiento de una construcción tradicional a base de materiales que serán instalados y fijados para siempre y que esa es la solución más duradera y segura, siendo que históricamente se ha ponderado y preferido por la resistencia de los elementos constructivos a la intemperie, pero en ocasiones este factor no es necesariamente favorecedor de factores de confort climático, resultando en una contravención de ideas, como un ejemplo de varios factores análogos.



### 3. CAPÍTULO III

#### METODOLOGÍA, DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

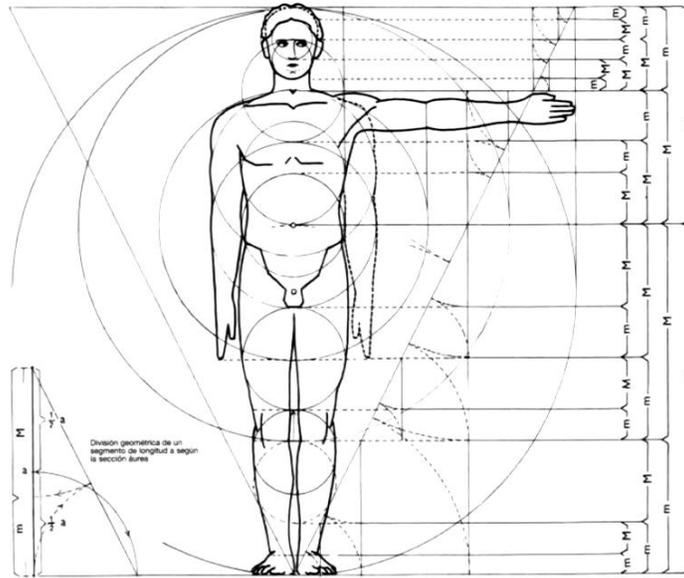
##### 3.1. PROPUESTA DE VARIABLES

###### 3.1.1. DIMENSIONAMIENTO DE ESPACIOS HABITABLES

La propuesta del sistema modular de muros, busca acoplarse no solo a vivienda unifamiliar, sino a aquellas construcciones hechas con base en estructuras de acero de refuerzo, mismas que se definirán en lo sucesivo, derivado de esto, existe la condicionante en su conformación que dependa de una base configurada de esta forma, donde los anclajes y el acoplamiento es la solución y propuesta de este tema de tesis, pudiéndose replicar y modificar de acuerdo al grado de complejidad y re dimensionamiento a futuro, siendo esta propuesta, la inicial de una serie de soluciones versátiles posibles en temas acordes en líneas de investigación futuras.

En el caso específico del contexto en que se encuentra contenido el análisis de caso y la demostración de la presente tesis, es importante aclarar que el dimensionamiento será aplicable para una vivienda con estructura de acero de refuerzo, por lo que y de acuerdo a los espacios y la escala propuesta se determinan las siguientes consideraciones espaciales.

En la figura 11, se muestra el estudio de la relación de espacio generada por el cuerpo humano.



**FIGURA 11.** El ser humano como medida en la arquitectura. (NEUFERT, 2013, PÁG. 39)

El estudio realizado por Ernst Neufert a cerca de la proporción de ser humano ha ayudado a comprender el comportamiento espacial del cuerpo humano en relación a las funciones que se realizan dentro de un espacio diseñado para diferentes acciones y posturas, registrando dimensiones de espacio necesario.

El siguiente esquema establece las dimensiones necesarias para dar forma a espacios habitables adecuados a las actividades humanas más relevantes, sin embargo es importante resaltar que, dentro de la amplia variedad de actividades que en ocasiones cada espacio alberga, estos pueden ser versátiles, por lo que no resulta apropiado descartar que, todo espacio puede ser susceptible de subdivisión y no así de ampliación cuando se consideran espacios demasiado ajustados simplemente a las actividades que se pretenden en primer orden realizarse.

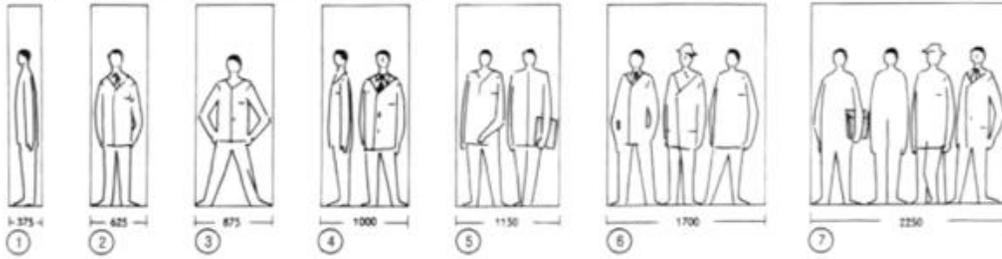
Esta característica permite inferir que es beneficioso proporcionar a los espacios propuestos, dimensiones tales que favorezcan esa versatilidad y promueva un dinamismo en su función.

**EL HOMBRE**

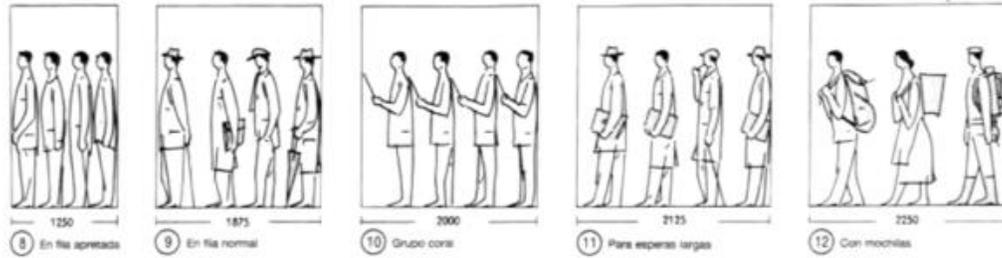
**DIMENSIONES Y ESPACIO NECESARIO**  
(Medidas promedio → □ y consumo energético)

**ESPACIO NECESARIO ENTRE PAREDES**

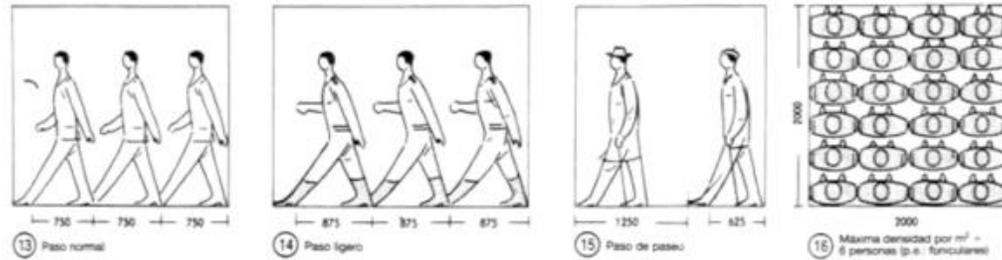
para personas en movimiento, aumentar la anchura  $\geq 10\%$



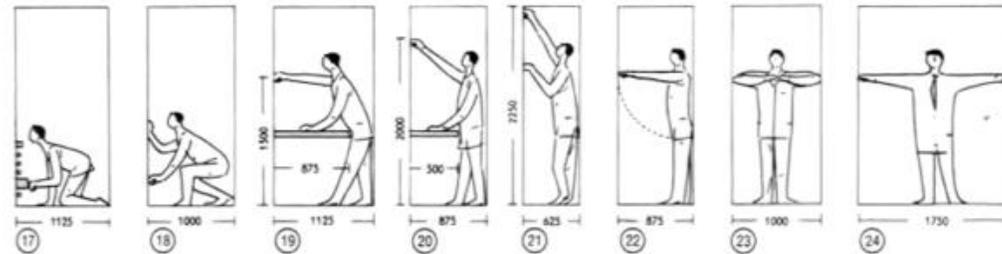
**ESPACIO NECESARIO PARA GRUPOS**



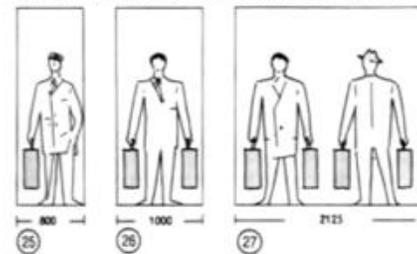
**MEDIDAS DE UN PASO**



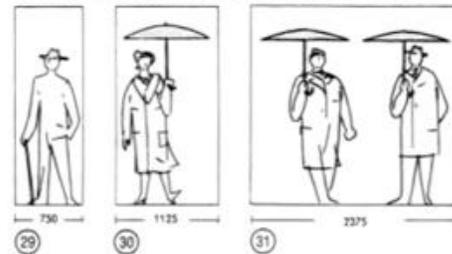
**ESPACIO NECESARIO SEGÚN LA POSICIÓN DEL CUERPO**



**ESPACIO NECESARIO CON EQUIPAJE DE MANO**



**ESPACIO NECESARIO CON BASTÓN Y PARAGUAS**

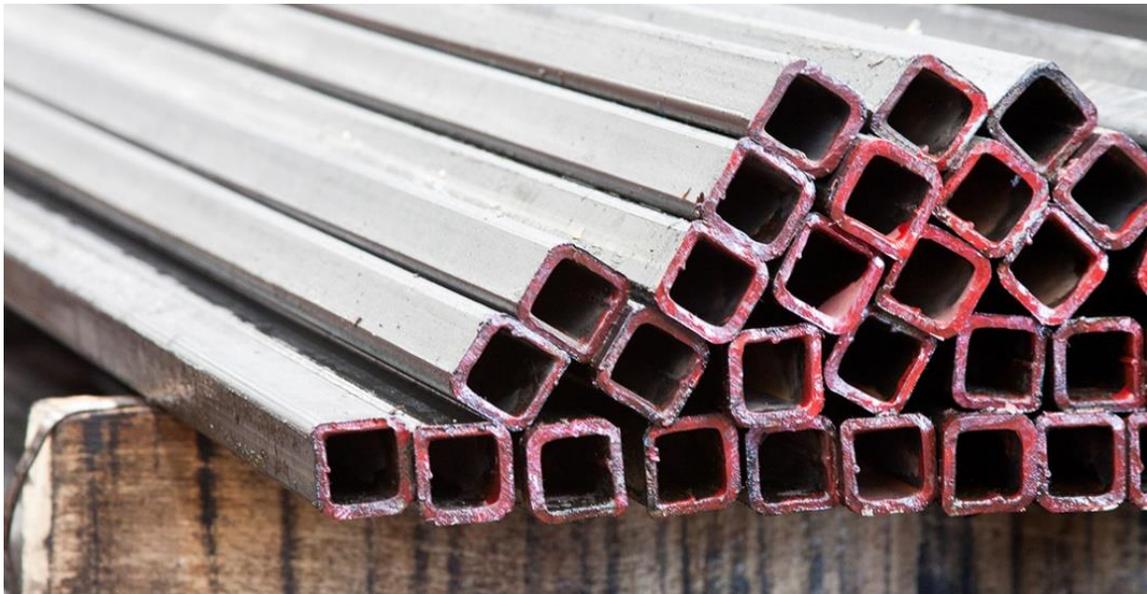


**FIGURA 12.** El ser humano en actividad dentro de su espacio habitable. (NEUFERT, 2013).

Considerando los datos obtenidos del análisis de la relación espacial entre ser humano, movimiento de extremidades y desplazamientos dentro de un espacio, resulta una serie de necesidades espaciales para cada caso, siendo que el espacio mínimo, corresponde a la actividad desempeñada dentro del espacio arquitectónico.

De acuerdo a las consideraciones anteriores se procede a proponer medidas espaciales para espacios interiores de acuerdo a las funciones a realizar, por lo que la variable adicional a considerar será el material a utilizar para generar la estructura base, por lo que se presenta la referencia comercial del acero de refuerzo.

En este caso, no se contemplará el cálculo estructural para demostrar la elección del perfil reflejado por el análisis, sino que, en lo que se refiere al diseño del muro modular, se contempla únicamente la conformación del mismo con los mecanismos de anclaje a esta estructura, por lo que se consideran los perfiles comerciales PTR cuadrado de 1", 2", 3", 4" y 6", en general para refuerzos verticales así como, PTR 2 x 4" y 3 x 4", estos últimos para refuerzo horizontal.



**FIGURA 13.** Perfil tubular rectangular. Fuente: (SERVIACERO, 2017).

**CUADRO 9.** Relación de perfiles tubulares rectangulares comerciales. Fuente: (SERVIACERO, 2017)

**PTR Estructurales Norma A500**

Dimensiones exteriores DXB	Espesor		Cal.	Tabla de Pesos Teóricos							
				Peso		Area		Momento de Inercia I		Momento de sección S	
	P	A		Eje xx	Eje yy	Eje xx	Eje yy	Eje xx	Eje yy	Eje xx	Eje yy
	Kg/m	cm2		cm4	cm4	cm3	cm3	cm	cm		
Pulg.	mm.										
1 x 1	0.075	1.9	14	1.46	1.52	1.42	1.42	1.12	1.12	0.96	0.96
	0.105	2.7	12	1.97	2.07	1.75	1.75	1.38	1.38	0.92	0.92
	0.135	3.4	10	2.13	2.68	2.01	2.01	1.58	1.58	0.87	0.87
1 1/4 x 1 1/4	0.075	1.9	14	1.85	1.94	2.91	2.91	1.83	1.83	1.22	1.22
	0.105	2.7	12	2.52	2.44	3.55	3.55	2.23	2.23	1.20	1.20
	0.120	3	11	2.56	3.07	4.22	4.22	2.66	2.66	1.17	1.17
1 1/2 x 1 1/2	0.075	1.9	14	2.24	2.36	5.20	5.20	2.73	2.73	1.48	1.48
	0.105	2.7	12	3.07	3.74	7.56	7.56	3.96	3.96	1.42	1.42
	0.120	3	11	3.16	4.17	8.21	8.21	4.3	4.3	1.40	1.40
1 3/4 x 1 3/4	0.075	1.9	14	2.64	2.78	8.45	8.45	3.80	3.80	1.74	1.74
	0.105	2.7	12	3.03	3.20	12.84	12.84	5.05	5.05	2.00	2.00
	0.120	3	11	4.38	5.79	21.4	21.4	8.42	8.42	1.92	1.92
2 x 2	0.075	1.9	14	3.82	4.04	25.68	25.68	8.08	8.08	2.51	2.51
	0.120	3	11	5.59	7.40	44.07	44.07	13.88	13.88	2.44	2.44
	0.148	3.8	9	6.47	8.26	48.3	48.3	15.2	15.2	2.42	2.42
2 1/2 X 2 1/2	0.190	4.8	7	8.32	10.6	59.1	59.1	18.7	18.7	2.36	2.36
	0.075	1.9	14	4.61	4.88	45.07	45.07	11.83	11.83	3.03	3.03
	0.120	3	11	6.81	9.01	78.93	78.93	20.71	20.71	2.95	2.95
3 x 3	0.148	3.8	9	8.26	11	93.7	93.7	24.6	24.6	2.92	2.92
	0.190	4.8	7	10.20	13.00	108.00	108.00	28.30	28.30	2.90	2.90
	0.075	1.9	14	3.82	4.04	33.44	17.93	8.77	7.06	2.87	2.1
3 1/2 X 3 1/2	0.120	3	11	8.02	10.62	128.53	128.53	28.91	28.91	3.47	3.47
	0.148	3.80	9	9.75	13	154	154	34.6	34.6	3.45	3.45
	0.190	4.8	7	12.1	15.4	179	179	40.1	40.1	3.4	3.4
3 X 2	0.250	6.4	1/4	15.6	19.9	220	220	49.5	49.5	3.33	3.33
	0.075	1.9	14	3.82	4.04	33.44	17.93	8.77	7.06	2.87	2.1
	0.120	3	11	5.59	7.4	57.41	30.53	15.07	12.02	2.78	2.03
4 X 2	0.135	3.4	10	6.22	8.26	63.3	33.4	16.6	13.2	2.77	2.01
	0.190	4.8	7	8.32	10.6	77.4	40.7	20.3	16.00	2.69	1.96
	0.075	1.9	14	4.61	4.88	67.07	23.01	13.2	9.06	3.70	2.17
4 X 3	0.120	3	11	6.81	9.01	117.34	39.69	23.09	15.62	3.6	2.09
	0.148	3.8	9	8.62	11	139	46.6	27.5	18.4	3.56	2.07
	0.190	4.8	7	10.2	13	161	53.7	31.8	21.1	3.51	2.03
4 x 4	0.075	1.9	14	5.40	5.72	88.02	56.76	17.32	14.9	4.02	3.14
	0.120	3	11	8.02	10.62	156.41	100.45	30.79	26.36	3.93	3.07
	0.148	3.8	9	9.75	13	187	120	36.9	31.5	3.81	3.05
5 x 5	0.190	4.8	7	12.1	15.4	218	139	42.9	36.5	3.76	3
	0.250	6.4	1/4	15.60	19.9	269	171	52.9	44.8	3.67	2.93
	0.075	1.9	14	6.19	5.72	108.72	108.72	21.44	21.44	4.07	4.07
6 x 4	0.120	3	11	9.23	10.70	172.32	172.32	33.92	33.92	4.01	4.01
	0.148	3.8	9	11.25	15.27	241.01	241.01	48.48	48.48	3.98	3.98
	0.190	4.8	7	14.04	17.81	273.84	273.84	53.90	53.90	3.92	3.92
	0.250	6.4	1/4	18.20	23.20	342	342	67.3	67.3	3.84	3.84

Por lo anterior, se considera primordial generar la modularidad con base en las dimensiones comerciales que se presentan en la industria de fabricación de perfiles

tubulares, con la finalidad de aprovechamiento y eficiencia en la modularidad de los mismos.

### 3.1.2. REQUERIMIENTOS Y FUNCIONALIDAD DE MÓDULOS

Mientras que en el mercado aparecen cada vez más soluciones prácticas constructivas con la finalidad de encofrar y dar forma a muros fijos que preservan la idea de establecer la edificación en un solo sitio, existen pocas opciones que proporcionen posibilidades de emplazamiento y cambio de ubicación sin sufrir deformaciones o pérdida de material, debido a su destrucción parcial o total al momento de ser retirados.

La propiedad fundamental del muro modular, es el de poder ser ensamblado y desensamblado de forma sencilla y acorde a esto, es necesario detectar las áreas de interés que permitan justificar los requerimientos necesarios para cumplir esta función en la composición del mismo.

Para poder determinar las variables bioclimáticas más incidentes que afectan la estabilidad y de la cual se desprende la necesidad de acciones preventivas y en su caso correctivas, se propone recurrir a soluciones tecnológicas aplicables en el tema, como la domótica, teniendo en cuenta que la tecnología aplicada, puede brindar múltiples soluciones que, en la mayoría de los casos, resultan ser más económicas y prácticas.

Por lo anterior, se propone en primera instancia, un dispositivo que permita la medición de la radiación solar que es recibida por el muro de acuerdo a su orientación y ubicación, así como, la temperatura a la que es expuesta, siendo estos dos factores, variables controlables en los casos de emplazamiento y propuesta previa del elemento arquitectónico a habilitar, por tanto, el muro modular.

La finalidad de proponer un sistema que detecte y reaccione en consecuencia a la forma y posición del muro propuesto, permitirá realizar estudios posteriores y líneas de investigación futura, sin embargo, es importante la medición de las condiciones ambientales dentro del diseño previo de emplazamiento de los elementos conformantes del sistema de muro modular.

### 3.1.2.1. DISEÑO DE MÓDULO DE MEDICIÓN DE RADIACIÓN SOLAR Y TEMPERATURA PARA DETERMINAR NIVEL DE ESTRÉS Y CORRECCIÓN ACTIVA A IMPLEMENTAR.

## INTRODUCCIÓN

El diseño de nuevos sistemas constructivos acordes a proporcionar una mejor propuesta de habitabilidad, requiere de soluciones que permitan generar mejores condiciones y procedimientos de utilización de los espacios arquitectónicos, considerando estos como reutilizables y reubicables. Para tal efecto, es necesario cambiar el pensamiento de establecer una construcción de forma definitiva a un pensamiento de aprovechamiento de cada elemento que se utiliza para dar forma a una edificación, reduciendo el desperdicio y generando mejores condiciones de sustentabilidad y conciencia ecológica.

Aunado a este esfuerzo, es necesario incorporar tecnología aplicable al tema de la sustentabilidad en la vivienda, siendo que cada vez existen soluciones de tipo electromecánico prácticas y económicas que están al alcance de más personas, manteniendo una amplia gama de soluciones para implementar por medio de la programación, acciones correctivas que permitan una mejoría en las condiciones de la habitabilidad.

## DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Dentro de las necesidades de medición y adaptación del sistema de muros modulares, se busca implementar mecanismos que permitan automatizar las soluciones electromecánicas necesarias para garantizar el adecuado estado de conservación y funcionalidad en materia bioclimática del elemento arquitectónico. Esto es importante, debido a que el diseño de muros modulares propuesto en el tema de tesis, no sólo abarca obra nueva, sino aquellas situaciones en donde, se tienen problemas por mala o nula

implementación de consideraciones bioclimáticas, siendo esta una solución que permita hacer efectivas las estrategias de control de temperatura y radiación directa sobre la superficie del muro a tratar.

Las características del muro modular, incluyen la versatilidad de ubicación y de utilización en diversas variantes, como son, uso de ventanas, donde este sistema puede ayudar a controlar el paso de rayos solares por medio de mamparas ligeras de sombreado de áreas expuestas a pérdida o ganancia de calor por conductividad.

Además de los beneficios de la implementación de mecanismos automatizados, se tiene la activación de un muro ventilado, que permita del mismo modo, programar un comando PWM, para lograr hacer factible tener equipos de ventilación y control directo de temperatura al interior del muro, permitiendo que la transferencia de calor al interior de los espacios arquitectónicos sea la adecuada.

La profundidad y el alcance de las variables a operar dentro de la automatización es grande y tiene efectos benéficos, sobre todo porque los dispositivos son de bajo costo y la solución que representa en casos donde no es posible reorientar muros ya construidos y con problemas de humedad o por sobreexposición de calor por radiación solar, podrán ser tratados de forma inteligente y libres de operación manual por parte del usuario, esto es, que es posible generar una solución a los problemas de mal emplazamiento y orientación.

Del mismo modo, este dispositivo puede tener programado un registro de incidencia solar, reflejando gráficamente los periodos de mayor actividad y reacción ante los fenómenos climáticos adversos, situación que es importante para tomar decisiones a futuro en cuanto a correcciones posteriores en las construcciones.

En relación al tema de tesis, este dispositivo permitirá tener un adecuado registro, propuesta y demostración de cómo reacciona el módulo y sus diferentes variables ante las condiciones bioclimáticas y considerar que el material y su forma son trascendentes



para cumplir con las necesidades para lo que es diseñado, siendo esta herramienta el registro más importante.

## MARCO TEÓRICO

Este comprende el acervo de ejemplos que contienen características similares en su conformación y modularidad, sin embargo, se presentan actualmente en el mercado de materiales prefabricados relacionados con soluciones de muros modulares, en su mayoría, sistemas con base en materiales cementantes y que para su colocación se utilizan aglutinantes derivados de estos y de plásticos que fijan cada elemento de forma definitiva, siendo imposible en la mayoría de los casos, el retiro o reutilización de las piezas que componen el sistema, por lo que se consideran sistemas de una sola utilización que permanecerán en su lugar de colocación y ensamblaje de forma permanente.

Lo anterior no es la finalidad del sistema de muro modular propuesto, esto debido a que, se intenta proponer un sistema que no utilice elementos perforantes o invasivos en los sistemas estructurales basados en acero, pero tampoco que dependa de los cementantes para ser fijado.

En cambio se hace una relación de estos sistemas que son usualmente fácil de encontrar actualmente en el mercado, donde se presentan algunos que requieren de la aplicación de cementantes en diversas etapas de su conformación, hasta aquellos que son simplemente colocados de una sola pieza pero que no utilizan mecanismos de anclaje y fijación que permitan ser reutilizados, además de que, al considerarse una remodelación o ampliación, estos deben ser retirados y demolidos en algunos casos, ocasionando contaminación y generando desperdicio del material en su totalidad, debido a que no puede ser reintegrado dentro del sistema constructivo por haber sido dañado parcial o totalmente.

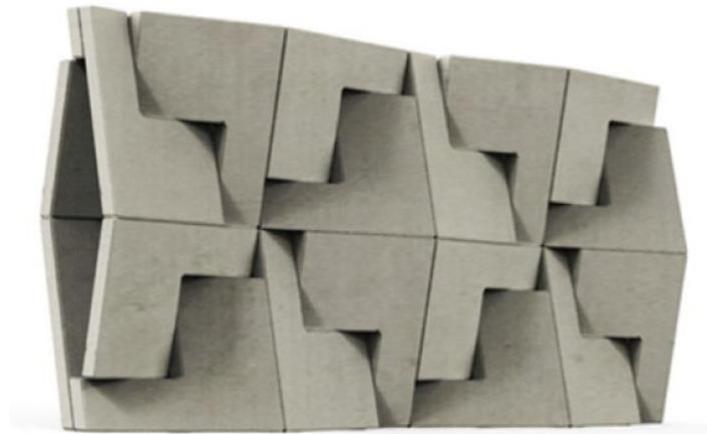
Se anexan casos de referencia de muros modulares.



**FIGURA 14.** Muro modular autoportante. (CIVILGEEKS, 2015)

Sistema de muros a base de madera o plástico, donde la colocación de las piezas horizontalmente con uniones tipo riel, general paneles modulares y logran conformar muros en distancias no mayores a 4 mts., esto debido a la resistencia de los soportes intermedios.

Los nodos representados en la gráfica, pueden ser de acero de refuerzo o del mismo material que los paneles utilizados para conformar los muros modulares.



**FIGURA 15.** Muro sistema constructivo plegable. (iarquitectos, 2012)

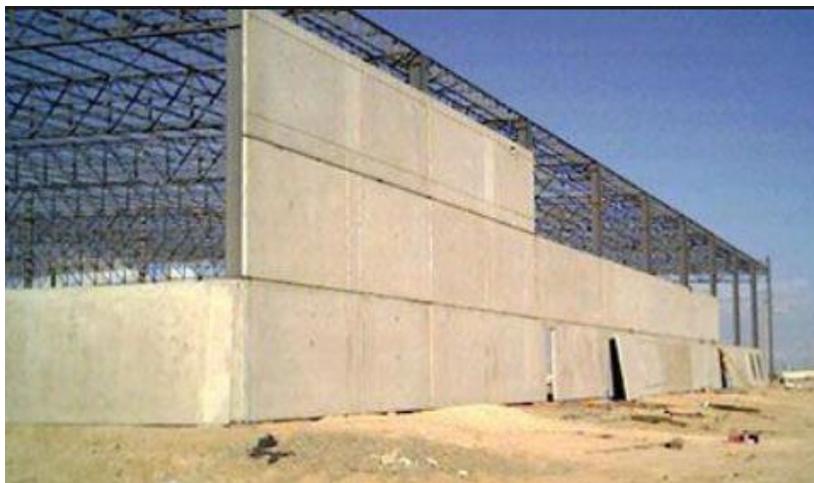
En este caso se contempla utilizar moldes prefabricados buscando ensambles geométricos derivados de saques en las esquinas del material utilizado. Este tipo de muros puede generar formas estéticas agradables, debido a que el principal distintivo es la modularidad y el tratamiento de las superficies que pueden ser logradas con diversas variantes en la forma de colocarlos e intercalarlos entre sí.

El material puede ser de todo tipo, siempre que la resistencia sea la adecuada para soportar la conjugación de cargas superiores aplicada por las piezas subsecuentes.



**FIGURA 16.** Muro premoldeados de concreto armado. (FORTÍN, 2016)

En este caso en particular, se contemplan paneles de concreto armado buscando reducir el peso de los mismos para ser ensamblados de forma horizontal, siendo estos no mayores de 0.30 x 1.22 mts y anclándose hacia el menor de sus lados por medio de castillos de concreto armado previamente cimentados en firme.



**FIGURA 17.** Muro prefabricado con panel de concreto ligero. (ARQUIGRÁFICO, 2015).

Paneles de concreto prefabricado de dimensiones 1.22 x 2.44 mts, siendo estas las medidas más utilizadas en el mercado, debido a que se refiere al sistema de medición

inglés 6' x 8', los cuales son fijados con brocapijas o pijas autoperforantes directamente sobre la estructura base. Para lograr la unión entre estos paneles se utiliza cinta de fibra de vidrio y masilla del mismo material cementante para evitar la entrada de aire y agua.



**FIGURA 18.** Opticretos Modulares. (JACQUES, 2018).

Paneles prefabricados de acuerdo a proyecto arquitectónico, no basado en el sistema inglés, sino seccionando los mismos según las necesidades espaciales considerando los anclajes entre estos y la estructura base que puede ser de concreto armado o acero de refuerzo. Estos paneles se colocan previamente armados y terminados en todas sus partes, siendo que cuentan con los acabados finales como texturas y pinturas de superficie expuesta, así como la fijación de cancelería de vidrio y aluminio.



**FIGURA 19.** Paneles prefabricados Cannapanel. (MARCO MONTELONGO VIDAL, 2015, PÁG. 16)

En algunos casos existen paneles de recuperación de materiales resultado de la industria de la construcción como el aserrín o madera triturada, tratada y mejorada, así como, fibras naturales o sintéticas con la finalidad de cumplir con normas internacionales de diseño sustentable en la construcción.



**FIGURA 20.** Sistema de muros modulares Panel W\*. (W, 2015)

El tipo de panel que permite la deformación del material previo a ser aplanado con materiales cementantes para rigidizar y dar forma final, teniendo a bien logran formas caprichosas geométricamente, gracias a la estructura de acero ligero y flexible y el interior de poliestireno de alta densidad que permite la deformación más adecuada al proyecto arquitectónico deseado.

## DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Proporcionar un sistema modular de muros, que permita una solución a la necesidad de seguridad, versatilidad y economía en la edificación de espacios arquitectónicos en su anclaje con estructuras de acero, permitiendo habilitar instalaciones, debido a sus propiedades de ensamblaje y reutilización, dando la oportunidad de establecer un modelo capaz de ser utilizado por la sociedad para la construcción y ampliación de vivienda replicable.

Preguntas de investigación:

¿Cómo contribuir a la reducción de emisión de gases contaminantes, resultado de los procesos constructivos?

¿Cómo generar una mejora en los procedimientos constructivos que genere un valor agregado a la vivienda?

¿Como demostrar que, al proponer un sistema replicable, reutilizable y reubicable, es posible reducir la producción de materiales constructivos tradicionales más contaminantes?

¿Cuáles serían los tecnicismos necesarios para lograr proporcionar un sistema de muros de este tipo?

## JUSTIFICACIÓN

El problema de investigación establece mecanismos que permitan proporcionar soluciones prácticas y versátiles, tales como habilitar y deshabilitar este elemento arquitectónico con la finalidad de reutilizarlo sin tener que dañarlo, teniendo así, una opción que modifique el pensamiento constructivo actual, donde se privilegia del uso de materiales y elementos constructivos emplazados permanentemente.

De esta forma y derivado de la investigación del estado del arte, se desprende la necesidad de diseñar un muro que favorezca condiciones tales como la modularidad y la contención de instalaciones derivadas de las necesidades de la vivienda. Para este efecto, es importante contar con variables en su conformación debido a las diversas necesidades y opciones a utilizar, donde la orientación del mismo, requiere de mediciones y en su caso, acciones a tomar para garantizar que, los materiales que se elegirán como adecuados para su fabricación, sean favorables bioclimáticamente, debido a que siendo de forma desfavorable, es necesario detectar las estrategias a implementar.

La medición de radiación solar sobre la superficie del muro y la temperatura que este registra de acuerdo a su orientación, es un factor indispensable que influye de manera directa en el ambiente espacial interior.

## METODOLOGÍA

Análisis de los aspectos funcionales del muro modular.

Definir la radiación actual

Definir la temperatura actual

Indicar dos variables

Indicar rango mayor de temperatura

Indicar rango mayor de radiación solar

Alertar incidencia excesiva

Visual + Sonora

Selección de las variables a definir

1. Radiación solar

Sensor de radiación

Velm6070

2.- Temperatura

Sensor de temperatura

Lm35

Acciones a tomar

Indicador visual

Led

Color verde x 2 (Alta radiación)

Color Magenta x 1 (Intensidad de radiación)

Indicador Sonoro

Buzzer

Zumbador 20 pcs (Alta radiación)

Registro e indicación de medición

LCD

16 x 2 LCD

## DISPOSITIVO

Fabricación de módulo de contención de piezas electrónicas y colocación de dispositivos de indicación y visualización, energización y ventilación para colocación en muro a analizar.

Material a utilizar que permita traslado y colocación para toma de registro de superficies.

Forma del dispositivo que permita una colocación en relación a la nivelación del material a analizar, en este caso ortogonal, resultando en la forma cúbica como la ideal.

## ELABORACIÓN DEL PROYECTO

Las funciones a realizar se determinan en la metodología y la justificación del tema de tesis, siendo que la utilidad del dispositivo tiene congruencia con el desarrollo del diseño de muro modular, teniendo a bien la medición de las condiciones bioclimáticas aplicables al emplazamiento del muro a analizar, por lo que se inicia proponiendo definir las variables a determinar, entre las que figuran de mayor importancia, la radiación solar y la temperatura, esto para poder determinar las condiciones de estrés al que es sometido el muro a analizar.

Se opta por utilizar sensor de luz ultravioleta Veml6070 y sensor de temperatura Lm35. Se adiciona un indicador de exceso de radiación solar para alertar del mismo cuando la medición en luxes llegue a 6.0 o mayor, debido a esto se incluye un Buzzer que alerta con un sonido agudo, siendo estos los indicadores principales de discomfort por radiación solar y temperatura excedente.

Dentro de la programación se determinan las condicionantes necesarias para que el PIC cuente con área de operación considerado como “área de confort”, el cual oscila entre los 24 y 35° C, siendo que la radiación superior a 6.0 y/o la temperatura mayor a 50° C, dispara las alertas.



Adicional a este se propone un Pin para proveer como opcional, un PWM y poder controlar un dispositivo electromecánico, en este caso un servomotor y así ejecutar soluciones activas sobre las condiciones de materiales que conforman el muro modular.

## RECURSOS HUMANOS

En el proyecto se involucra una sola persona, no es necesario aporte adicional.

## PROTOTIPO

La fabricación del dispositivo y su envoltente es a base de madera de triplay de pino con chapa de cedro, teniendo como anclaje tornillos de 1/2" Long. tropicalizados, unidos a taquetes de 1 x 2 x 4 cms, unidos con pegamento blanco y clavo de 1" para madera sin cabeza.

Las perforaciones se hacen a base de brocas para madera y broca espátula para los casos de diámetros mayores a 3/16" con taladro de mesa fijo.

Los cortes se efectúan en la mesa de trabajo de sierra radial y se aplica lijado en los bordes de las tablas de triplay para evitar desgarres.

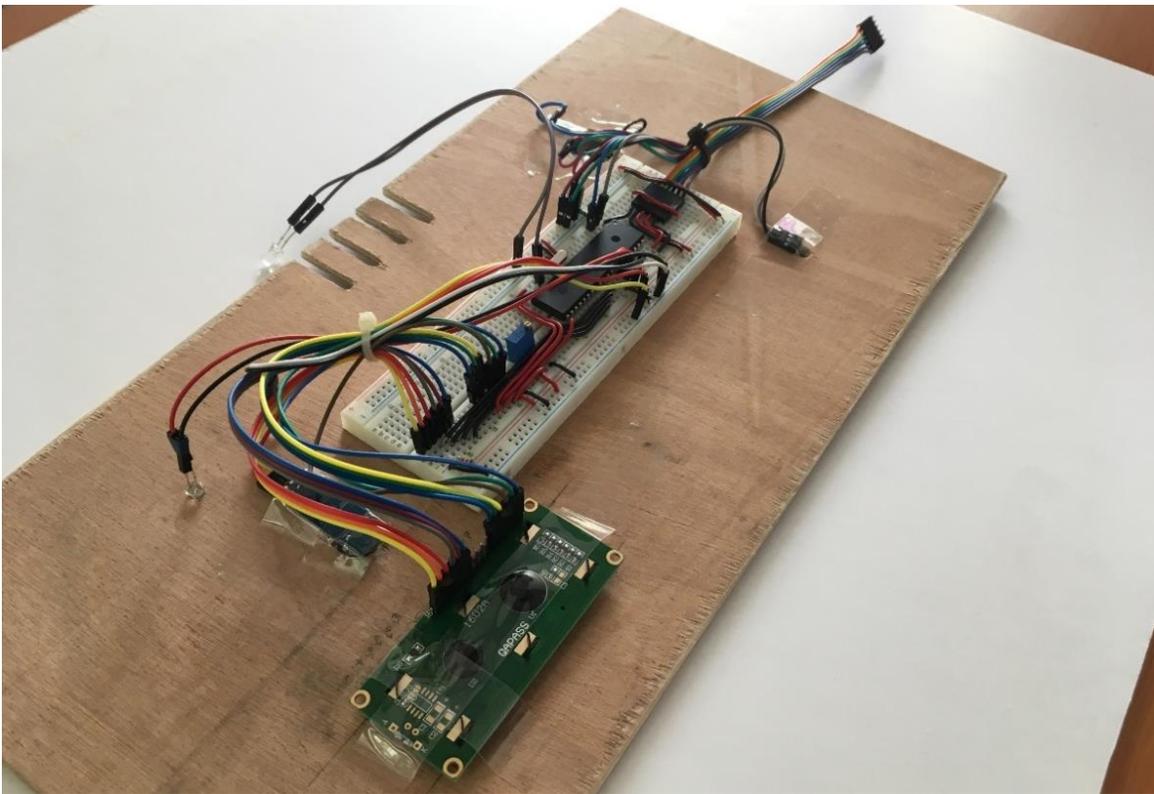


**FIGURA 21.** Medidor de radiación y temperatura (Foto tomada por el autor).

## SIMULACIONES

El dispositivo responde correctamente habiendo podido garantizar sus datos de medición, al realizar la comparativa con aparatos alternos de medición luxes y temperatura, siendo estos datos confiables para efectuar el registro deseado.

Del mismo modo se procede a efectuar lecturas en ambos variables en espacios interiores y exteriores, teniendo en todos los casos mediciones similares a las arrojadas por los aparatos de medición en comparativa.



**FIGURA 22.** Construcción de medidor de radiación (Foto tomada por el autor).

## COTIZACIONES

El costo en pesos mexicanos del dispositivo es el siguiente:

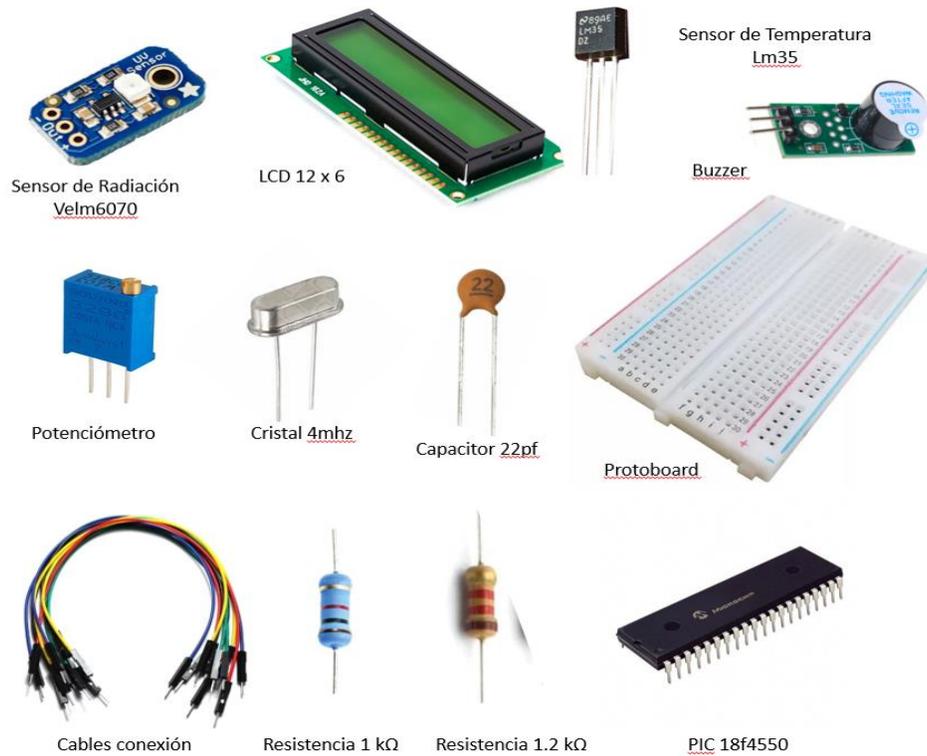
**CUADRO 10.** Descripción de elementos del sistema y costos (Elaborado por el autor).

COSTO DE DISPOSITIVO			
Descripción	Código	Cantidad	costo
Pic 18f4550		1	\$ 110.00
Sensor de temperatura	lm35	1	\$ 20.00
Protoboard		1	\$ 60.00
Jumpers		30	\$ 60.00
Sensor de luz ultravioleta	Veml6070	1	\$ 60.00
Potenciómetro	3296W	1	\$ 20.00
Cristal 4mhz		1	\$ 20.00
LCD 16 x 2	Dis1147	1	\$ 160.00
Buzzer		1	\$ 50.00
Led		3	\$ 15.00
Resistencia 1.2 K $\Omega$		1	\$ 2.00
Resistencia 1 K $\Omega$		1	\$ 2.00
Capacitor 22pf		2	\$ 10.00
módulo triplay cedro		1	\$ 150.00
			<b>\$ 739.00</b>

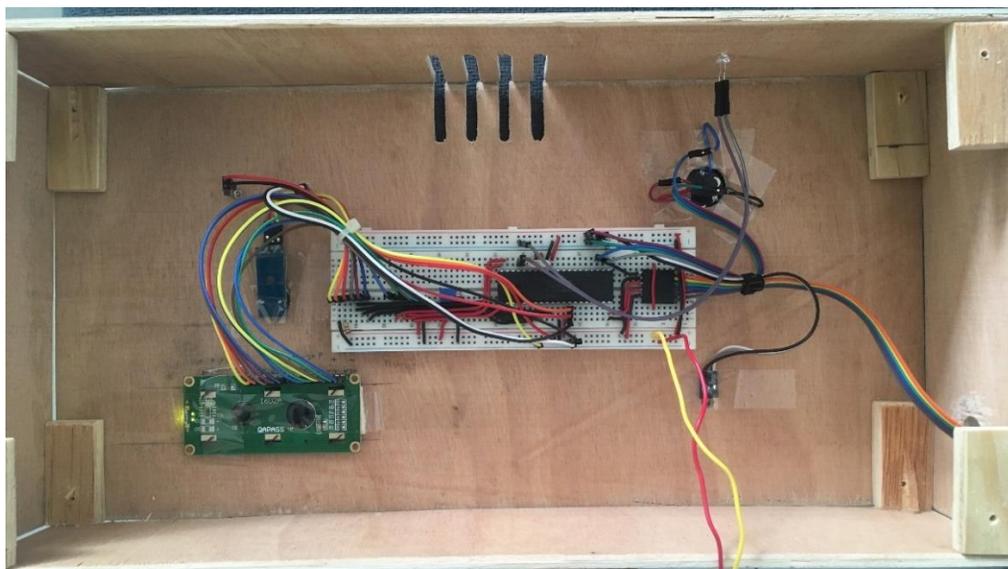
El sistema se puede concretar disponiendo de un costo menor a \$750.00 mx pesos (esto de acuerdo a la fecha de emisión del presente trabajo de investigación), y proporciona la información necesaria para considerar la selección adecuada del material necesario y las características al interior del mismo, ya que la incidencia de radiación en el muro puede ser rechazada si la exposición de radiación en el muro es mayor en tiempo de calor o puede ser utilizada para generar transferencia térmica en temporadas de frío, permitiendo generar espacios confortables al interior.

A continuación, se desglosa y presentan los componentes del sistema de medición de radiación solar y temperatura necesarios para habilitar el dispositivo de medición en campo de las condiciones ambientales.

Materiales necesarios para habilitar sistema de medición de radiación solar.



**FIGURA 23.** Elementos electrónicos utilizados para la fabricación del prototipo (Foto tomada por el autor).

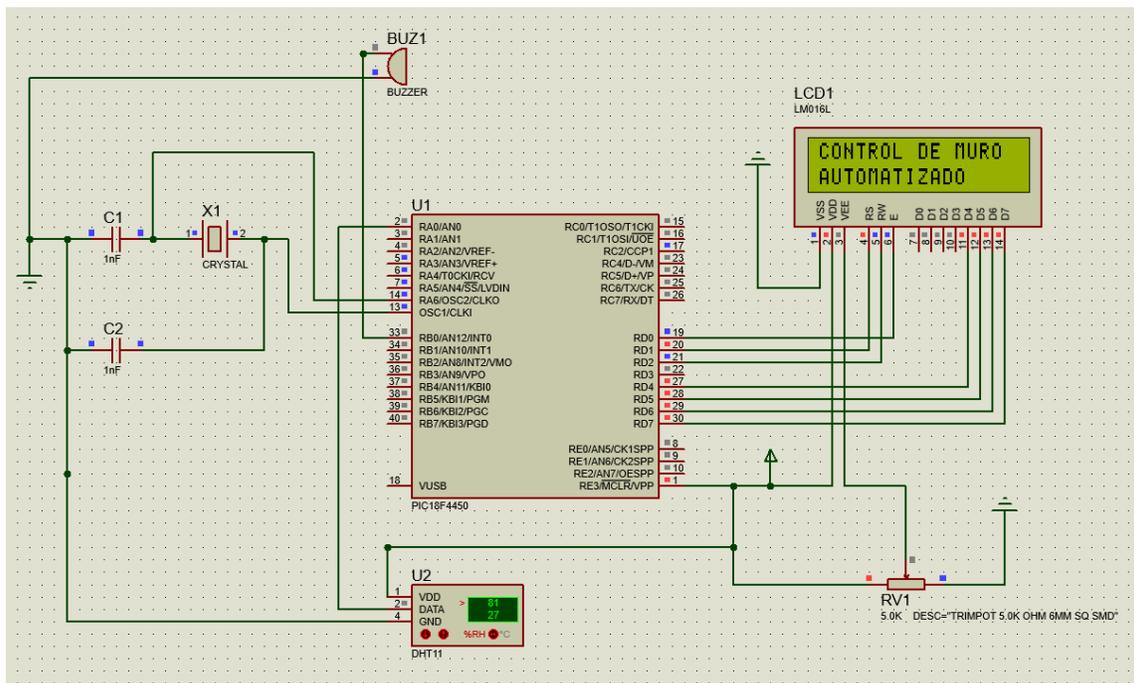


**FIGURA 24.** Modelo armado, componentes conectados y en función (Foto tomada por el autor).

## TRABAJOS A FUTURO

Es importante precisar que existe la necesidad de implementar acciones correctivas en los muros a proponer, esto debido al emplazamiento y de las diversas variables en la forma y función de los mismos, provocando que sus condiciones de operación serán, en todos los casos particulares y demandan soluciones precisas. Por lo tanto, se abre una línea de investigación que permita operar adecuadamente soluciones electro-mecánicas que permitan aperturas y cierres de mamparas o elementos que provoquen una acción correctiva sobre la superficie analizada, tales como segunda piel que provoque sombreadamiento y reduzca la temperatura de la superficie del muro, teniendo así un resultado en una escala adecuada a la necesidad de soluciones activas sobre los muros en estudio.

## CIRCUITOS ARMADOS



**FIGURA 25.** Circuitos armados en programa Proteus 8 (Elaborado por el autor).

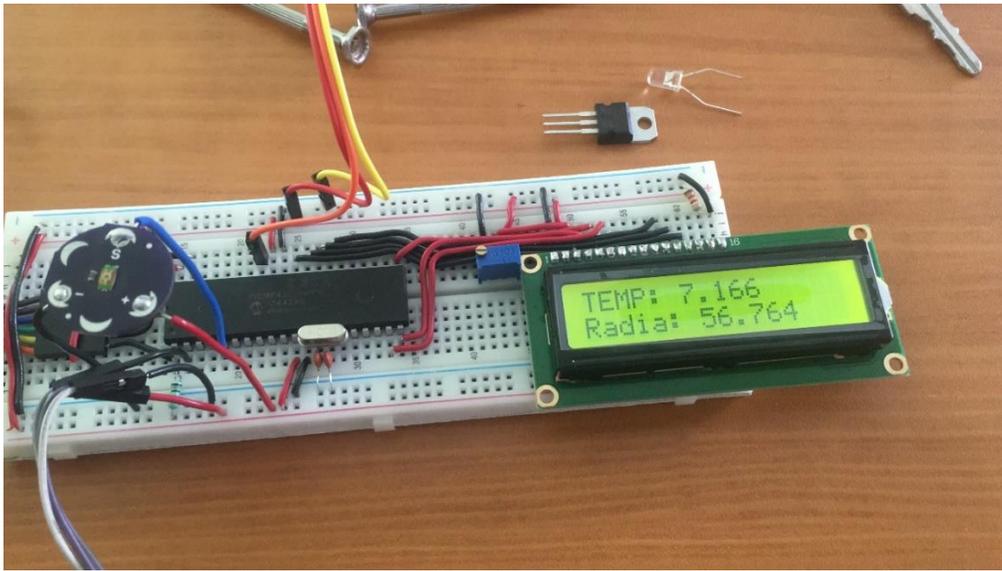
```

ENTREGA FINAL.C
1  #include <18f4550.h>
2  #device adc=8
3  #fuses XT, NOPROTECT, NOWDT, NOWLP, cpudiv1// Fusible de operación
4  #use delay (clock=4M)//Definición del tiempo base
5  //!define LCD_DATA_PORT getenv("SFR:PORTD")
6  #include <lcd.c>
7
8  void main()
9  {
10     // Variables del programa
11     int16 temp=0;//Para la resolución
12     float temp2=0;//para ver los decimales
13     float temp3=0;
14     int16 radiacion=0;
15     float radiacion2=0;
16     float radiacion3=0;
17     //! int i,j;
18
19     // Inicializa la LCD
20     lcd_init();
21
22     //Define el ADC
23     setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);//Define el puerto del ADC
24     setup_adc_ports(AN0_to_AN1,VSS_VDD);// declaras canal analogico 0 y 1, declaras los voltajes de referencia 0 y 5 volts
25     set_tris_a(0b00000111);// declara las patas que vas a ocupar
26
27     //define Pwm
28     setup_ccp1(CCP_PWM);
29     setup_timer_2(T2_DIV_BY_16,255,1);
30
31     //Mensaje de bienvenida del LCD
32     lcd_gotoxy(1,1);
33     printf(lcd_putc,"CONTROL DE MURO");
34     delay_ms(1000);
35     lcd_gotoxy(1,2);
36     printf(lcd_putc,"AUTOMATIZADO");
37     delay_ms(1000);
38
39
40     while(true)
41     {
42         // Lee el ADC de temperatura
43         set_adc_channel(0);
44         delay_ms(10);
45         temp= read_adc();
46         temp2= (float) (temp*5.25)/255;
47         temp3 = (float) (temp2*100);
48         delay_ms(10);
49
50         //lee ADC de radiación
51         set_adc_channel(1);
52         delay_ms(10);
53         radiacion=read_adc();
54         radiacion2=(float)((radiacion*7.0)/255);
55         radiacion3=(float) (radiacion2*1);// rango de sensor
56
57         //Activación de buffer para alta radiación
58         if(radiacion3>=6.00)
59             output_high(PIN_B0);
60         else
61             output_low(PIN_B0);
62
63
64         //Activación de buffer para alta temperatura
65         //! if(temp3>=50.00)
66         //!     output_high(PIN_B0);
67         //!     else
68         //!         output_low(PIN_B0);
69
70         //Imprime variables leidas
71         lcd_gotoxy(1,1);
72         printf(lcd_putc,"TEMP oC: %.3f  ",temp3);
73         lcd_gotoxy(1,2);
74         printf (lcd_putc,"Radi L: %.3f  ",radiacion3);
75         printf(lcd_putc,"\n/n");
76         delay_ms(1000);
77
78         set_pwm1_duty(radiacion);
79
80
81     }
82 }

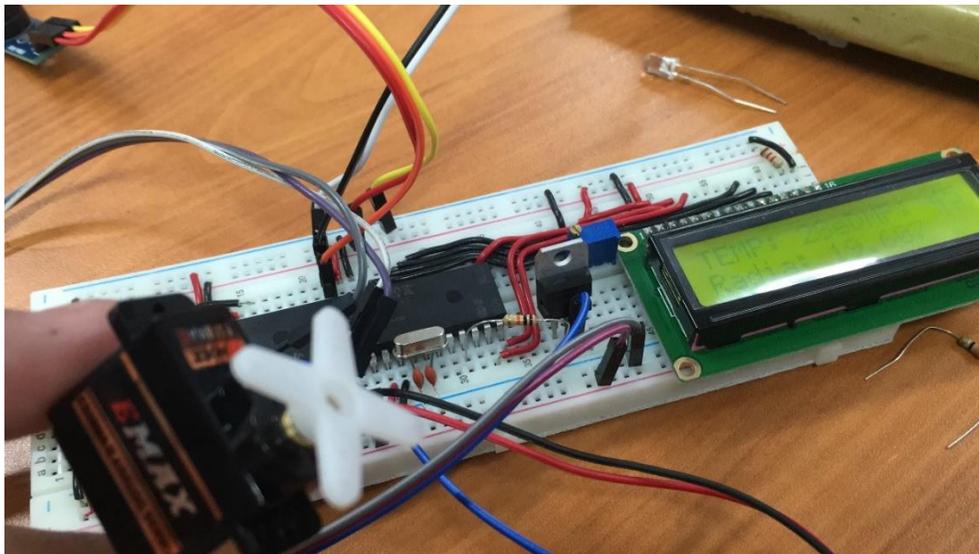
```

FIGURA 26. PROGRAMACIÓN EN PIC C COMPILER (Elaborado por el autor).

## DESCRIPCIÓN DE LOS RESULTADOS



**FIGURA 27.** Circuitos y sensores integrados (Foto tomada por el autor).



**FIGURA 28.** Conexión de servomotor (Foto tomada por el autor).

En definitiva, es importante considerar que la aplicación de la tecnología en la solución de problemas automatizados es una opción adicional a las propuestas relacionadas con la composición misma de los materiales utilizados, por ello, la conjunción de ambas consideraciones dará un resultado más acorde a los requerimientos del proyecto.

## CONCLUSIONES DEL PROYECTO

El dispositivo permite la medición adecuada de las variables más significativas que afectan la superficie y estado térmico del muro modular, siendo que la radiación solar y la temperatura inciden directamente en las condiciones de trabajo y de confort de los espacios interiores, por lo que refleja el estado real de la exposición a las condiciones bioclimáticas en que se posiciona dentro del proyecto arquitectónico.

Adicional a esta medición de variables, es posible determinar las condiciones de control automático y acciones electromecánicas que actúen a favor de proporcionar estabilidad en temperatura, siendo de esta forma posible detectar y reaccionar ante los rangos mínimos y máximos, el dispositivo genera soluciones reales que afectan al muro y en consecuencia al espacio interior que depende de este.

Por lo anterior, dentro de la investigación presente, se considerará como opcional la utilización de dispositivos de control interno del muro controlado por medio de mecanismos tipo inductor de flujo de aire, cuando el sensor de temperatura registre altos rangos, éste se activará, buscando compensar y corregir esta variable que puede generar discomfort por calor. Del mismo modo es posible generar acciones correctivas cuando la temperatura interior sea muy baja, accionando automáticamente un calefactor para generar estabilidad y evitar el discomfort en el espacio interior por baja temperatura.



### 3.1.3. CONSIDERACIONES DE MODULACIÓN ESPACIAL

La determinación de las dimensiones definidas para el diseño del muro modular, depende de la propuesta de la estructura base, que en este caso es considerado el acero de refuerzo A-500 en perfiles tubulares cuadrados y rectangulares, mismos que son los más utilizados por su interrelación y acoplamiento geométrico, que permite un ensamble perfecto y reduce el costo de maniobra al momento del corte de las piezas y también debido a su propiedad de trabajo a la flexión, tensión y torsión.

Los perfiles de acero de refuerzo son fabricados en dimensión longitudinal a 6.10 y 12.20 mts lineales, es decir, el equivalente a 20' y 40', (PIES) en el sistema de medición inglés. Por tal motivo, es importante considerar el modularidad de la estructura principal con base en esta medida y de esta forma garantizar que la utilización de los materiales que conformen el prototipo de muro modular, corresponda a la selección de los elementos estructurales para que el resultado sea el más eficiente.

Es conocido que, los perfiles tienen un excedente de dimensión longitudinal, debido a que se considera 40 pies, (40') el equivalente a 12.19 mts, y en 20 pies, (20') el equivalente a 6.10 mts, es decir, es considerado el corte inicial y de ajuste de un extremo para dimensionar en obra las secciones establecidas de acuerdo al proyecto estructural, esto para permitir tramos no mayores a 6 o 12 mts, pero que no tengan una menor medida derivado de errores de fábrica, situación que favorece la modulación y despiece determinado, debido a que permite mayor precisión y menor desperdicio.

#### 3.1.3.1. CASO DE ESTUDIO

Caso de estudio, Casa solar experimental, proyecto de investigación a cargo de la Universidad Autónoma de Querétaro, por parte de la Facultad de Ingeniería.

Estudio de caso de CASA SOLAR EXPERIMENTAL, como referencia de la necesidad de implementar un sistema que sea congruente con la estructura de acero de refuerzo utilizada para su edificación, debido a que, para conformar los muros de la

vivienda, se utilizaron paneles prefabricados de Durock\* al exterior y Tablaroca\* al interior, demostrando así, que no existe en el mercado un sistema que permita el ensamble y retiro de sus piezas para poder ser replicado en otro sitio.



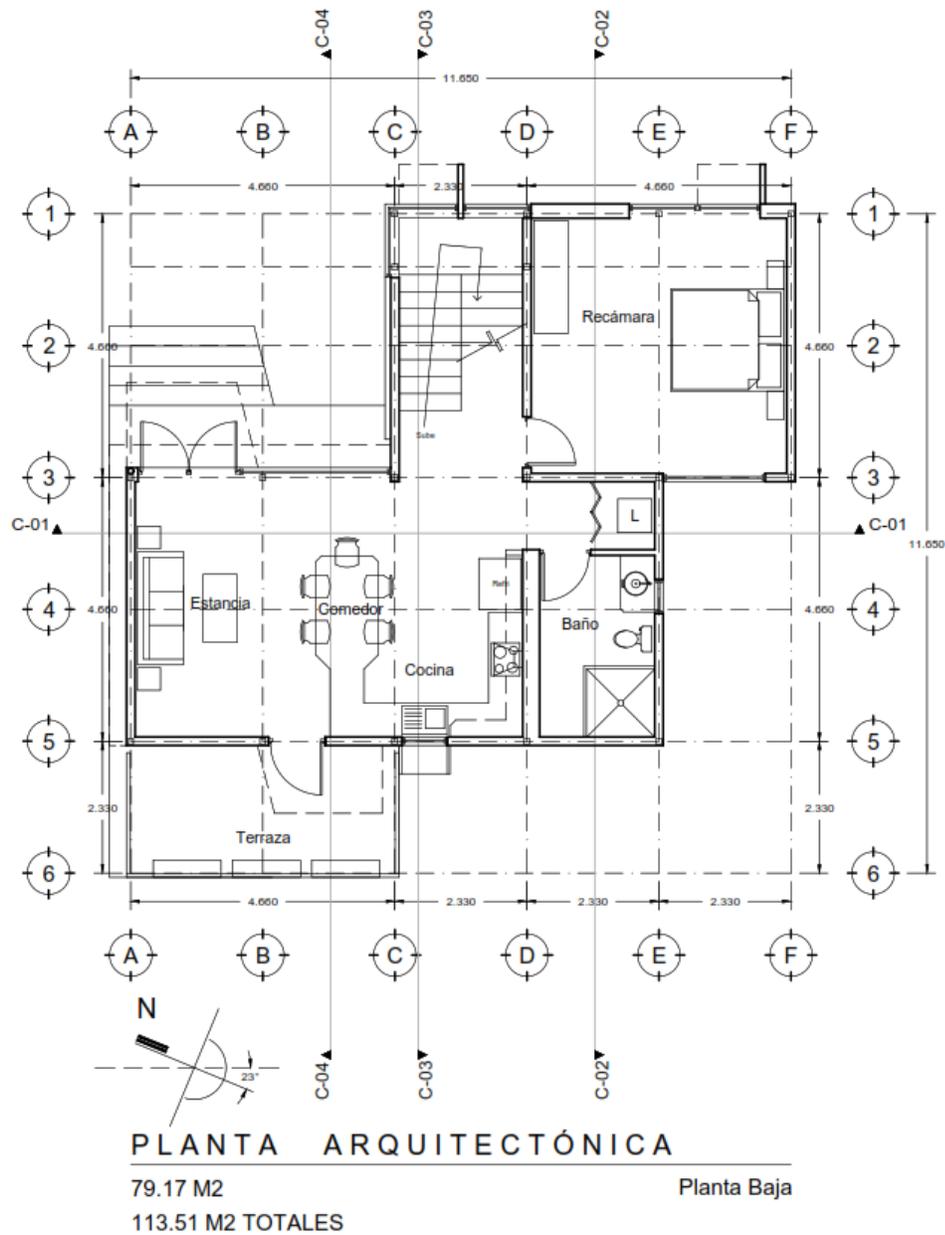
**FIGURA 29.** Casa solar experimental (foto tomada por el autor).

En este caso de estudio, se observa una edificación propuesta con base a acero de refuerzo tipo A-500 en los elementos principales y A-36 en los elementos secundarios.

El propósito del concepto de diseño de la casa solar experimental contempla el ser un laboratorio de medición del hábitat por medio de sistemas e implementaciones aportadas y reguladas por los alumnos de la facultad de ingeniería, mismos que ayuden a evidenciar y registrar las funciones que se desempeñan en el quehacer humano en una casa habitación tipo, utilizando para ello dispositivos de medición electrónicos y módulos de base de datos que registren dichas funciones dentro de la vivienda.

Del mismo modo el proyecto casa solar experimental, alberga temas de tesis y análisis de alumnos que disponen de los espacios para ejecutar sus diseños en pro de una mejora en las condiciones del hábitat humano.

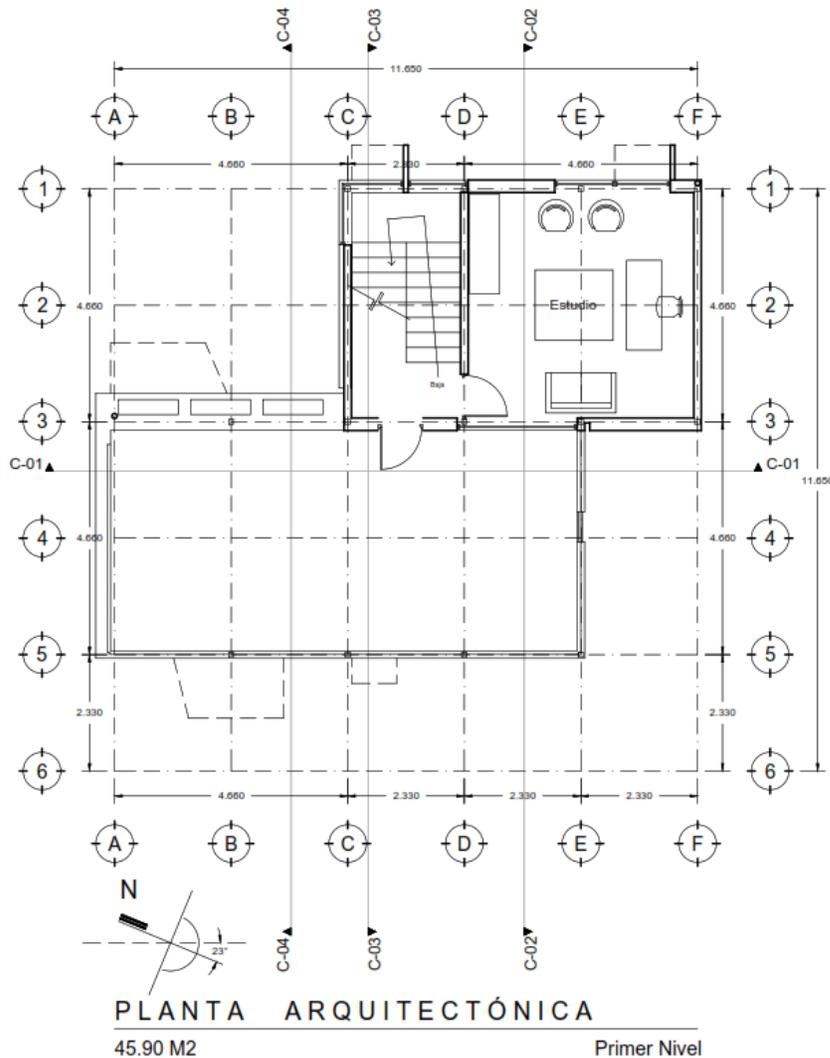
La casa solar experimental contempla espacios tales como: estancia, comedor/cocina, recámara, baño, área de centro de lavado y una terraza posterior, esto en planta baja, así como; el desplante de la escalera de acceso al primer nivel, donde sólo se contempla un espacio destinado a un estudio, que puede funcionar como recámara. Del mismo modo existe un acceso hacia la cubierta que forma el espacio principal comprendido por la estancia, comedor/cocina, baño y centro de lavado, donde se ubican los paneles policristalinos que energizan la vivienda, sin omitir que existen otros paneles ubicados en la azotea junto con un calentador de agua con base en tubos de borosilicato u un termotanque de almacenamiento de 160 lts de agua.



**FIGURA 30.** Planta arquitectónica casa solar experimental (Dibujo hecho en AutoCAD 16 por el autor).

Debajo de las escaleras se dispuso de un espacio para ubicar el aparato inversor de corriente directa a alterna, debido a que ahí se concentra la llegada de todos los paneles policristalinos y los paneles traslucidos que están instalados en las ventanas de la recámara y el estudio en planta alta, así como en el cuerpo que forma el cubo de la escalera en doble altura.

Las instalaciones eléctricas e hidro sanitarias, son canalizadas a través de la parte inferior de la casa que está suspendida 60 cms del firme de tierra de tepetate apisonado, permitiendo así, un control adecuado al momento de una modificación de los sistemas y poder anexar un sistema adicional a la vivienda.



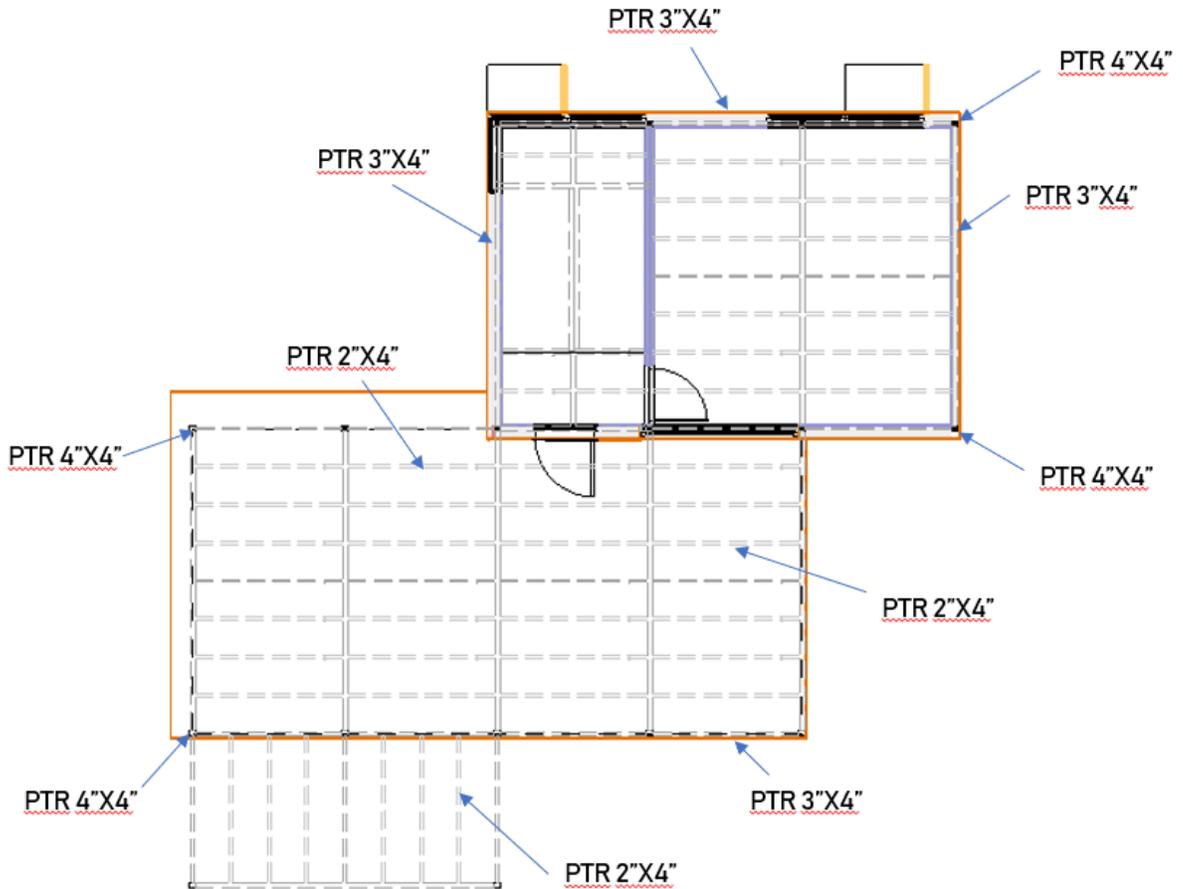
**FIGURA 31.** Planta arquitectónica casa solar experimental (Dibujo hecho en AutoCAD 16 por el autor).

Para poder dar forma a la estructura base de acero de refuerzo, se propuso una modulación de 4.66 mts y 2.33 mts, esto debido a consideraciones relacionadas con el transporte de las piezas al momento de requerir ubicarlas en otro emplazamiento.

Esta situación derivó en el diseño de anclaje de los nodos estructurales propuestos para la casa solar experimental, resultando en un sistema de placas de acero perforadas para recibir 08 tornillos galvanizados de 3/16"  $\varnothing$ , mismo que presenta una dificultad en la maniobrabilidad al momento del ensamblaje, esto por la no coincidencia de las perforaciones que son demasiadas y varían en posicionamiento al momento de introducir los tornillos especificados.

Del mismo modo, las perforaciones hechas a los elementos estructurales tales como PTR de 3x4" y PTR de 2x4", debilitan su composición ya que reduce el área de trabajo de forma irregular, es decir, al perforar cada uno de los agujeros, existe el riesgo de generar una fisura que provoque un daño transversal en la superficie del perfil.

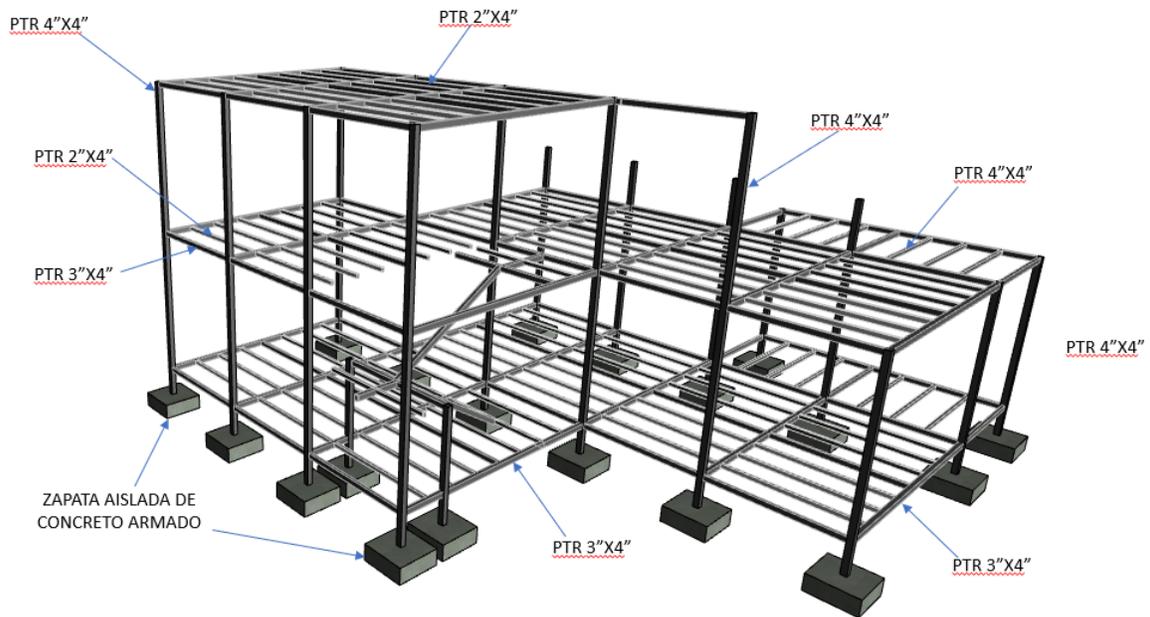
Por lo anterior se considera que este sistema de anclaje entre nodos, aunque funciona de inicio, no se tiene registro del resultado que pueda obtenerse de un esfuerzo mayor en caso de un movimiento excesivo, derivado de sus cargas o por estar expuesto a un temblor.



**FIGURA 32.** Planta estructural casa solar experimental (Dibujo hecho en AutoCAD 16 por el autor).

Planta arquitectónica de vivienda tipo con estructura de acero de refuerzo con base en perfiles tubulares rectangulares, mismos que corresponden al grado A-500, estos colocados de la forma en que se indica en la figura anterior.

Modelo tridimensional de la conformación de elementos estructurales para propuesta de vivienda modular.



**FIGURA 33.** Perspectiva estructural casa solar experimental (Dibujo hecho en Archicad 20 por el autor).

Se puede apreciar en perspectiva, la colocación y el funcionamiento de la estructura de acero de refuerzo con base en perfiles tubulares grado A-500, esto de acuerdo al proyecto estructural y correspondiendo en cada una de sus uniones por medio de tornillos de acero galvanizado para generar la propiedad de modularidad y a su vez, la posibilidad de desarme de sus piezas.



**FIGURA 34.** Estructura montada de casa solar experimental (Foto tomada por el autor).



Estructura de suspensión de muro con base en materiales prefabricados, adosado a la estructura base.

De esta forma se observa como la estructura se conforma por columnas de PTR de 4" x 4", PTR de 3" x 4" como arriostramientos laterales para conformar marcos rígidos, así como PTR 2" x 4" a cada 60 cms de espaciamiento máximo, para conformar los firmes y los soportes donde se anclará el piso de la vivienda, añadiendo además, venteos en cada una de las esquinas que forman los nodos principales, esto por medio de tensores con base en perfil de acero de refuerzo A-36 redondo sólido con extremos roscados para ser sujetos por anclas soldadas en punta de la estructura base y ajustada por tensores en ambos extremos.

### 3.1.3.2. ANÁLISIS DE CONSTRUCCIÓN Y COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA DE MUROS IMPLEMENTADOS EN LA CASA SOLAR EXPERIMENTAL.

Para dar forma a los muros exteriores en el caso de la casa solar experimental, se utilizó tabla de cemento conocida comercialmente como Permabase\* de 1.75 cms de espesor, mismo que está compuesto por materiales cementantes con aditivos aglutinantes y materiales fibrosos para proporcionarle flexibilidad al elemento constructivo. Este tipo de materiales son atornillados directamente sobre la estructura de acero galvanizado que, a su vez, se sujeta por medio de tornillos autoperforantes a la estructura base. Una vez que el panel es atornillado a la estructura de acero galvanizado, se aplica una cinta tipo malla de fibra de vidrio y se aplica encima de esta, una masilla de cemento rígido para resanar las cavidades entre las juntas de los paneles y las perforaciones de los tornillos, por lo que este sistema no puede ser retirado y reutilizado, debido a que las los paneles quedan destrozados y reducidos en sus dimensiones utilizables por la perforación previa de los anclajes necesarios para su fijación.



**FIGURA 35.** Montaje de suspensión para muro prefabricado (Foto tomada por el autor).

Colocación de placas de Durock\* al exterior de la vivienda y resane de juntas entre piezas.

Para dar forma a los muros interiores, se utilizó un material denominado tabla de yeso conocida comercialmente como Tablaroca\*, de 1.5 cms de espesor, mismo que está compuesto en su interior por yeso compactado y confinado por dos caras de papel encerado adicionado con aditivos aglutinantes y materiales fibrosos para proporcionarle flexibilidad al elemento constructivo. Este tipo de placas son atornilladas directamente sobre la estructura de acero galvanizado que, a su vez, se sujeta por medio de tornillos autoperforantes a la estructura base. Una vez que el panel es atornillado a la estructura de acero galvanizado, se aplica una cinta de papel y se aplica debajo y encima de esta, una masilla de cemento rígido para resanar las cavidades entre las juntas de los paneles y las perforaciones de los tornillos, por lo que este sistema no puede ser retirado y reutilizado, debido a que los paneles quedan destrozados y reducidos en sus

dimensiones utilizables por la perforación previa de los anclajes necesarios para su fijación.



**FIGURA 36.** Habilitado de muros interiores (Foto tomada por el autor).

Plafones de Tablaroca, suspendida a la estructura por medio de tensores de acero galvanizado cal 18.

Entre los paneles exteriores e interiores, se crea un espacio de aire que es llenado por medio de hojas de fibra de vidrio de baja densidad, de 8 cms de espesor, mismo que se secciona de acuerdo a los espacios donde se implementa este aislamiento, que funciona para reducir el ruido al interior y para control de temperatura interior.

Para los habilitar los plafones, se dispuso de 20 cms de margen entre la estructura de soporte de la cubierta y el espacio interior, para esconder visualmente la estructura y las instalaciones eléctricas que son suspendidas y ancladas a los elementos estructurales de soporte de la cubierta.

### 3.1.3.3. PROBLEMÁTICA DE ANCLAJE DE SISTEMA DE MUROS DE CASA SOLAR EXPERIMENTAL

Como resultado de la elección del sistema de muros prefabricados antes mencionados, se tienen las siguientes desventajas.

1.- Los elementos constructivos utilizados no pueden ser desmontados sin ser dañados en su composición, quedando reducidos en sus dimensiones originales y en la mayor parte de los casos, inservibles, por lo que no son congruentes con el sistema estructural diseñado para la vivienda, siendo que además, al anclarse a esta estructura, sufre el riesgo de ser dañada en su composición y estabilidad, esto debido a que, los tornillos autoperforante que se utilizan pueden generar daños microscópicos que derivan en el surgimiento de fisuras en la superficie de los perfiles estructurales, poniendo en riesgo su estabilidad y resistencia ante esfuerzos máximos.

2.- Aunque los paneles poseen una modulación en sus dimensiones, 1.22 x 2.44 mts o 48" x 96" en medida inglesa, al momento de referenciar estos paneles, no coinciden con la modulación de la estructura base, tampoco con su separación entre ejes, resultando en la necesidad de recortar cada pieza para hacerla coincidir en los ejes generados por la estructura de suspensión con base en perfiles de acero galvanizados, mismo que a su vez, están sujetos a la estructura base.

3.- En el caso de los pretilas habilitados en la azotea, estos dependen de la estructura de la cubierta utilizada, en este caso el material denominado panel compuesto de una hoja superior de acero acanalado con acabado esmalte alquidálico anticorrosivo y una hoja plana de material similar debajo, teniendo entre ambas, un relleno de poliuretano de mediana densidad, conocido comercialmente como Multipanel\*, como se muestra en la imagen siguiente:



**FIGURA 37.** Anclaje de pretilas en azotea (Foto tomada por el autor).

Sistema de anclaje de estructura de suspensión de pretilas en azotea donde se perfora la cubierta para lograr dicho anclaje.

La afectación en este caso representa la utilización de tronillos perforantes que pueden resultar en filtraciones de agua al interior de los materiales prefabricados, reduciendo el tiempo de vida, pero que, además, no resultan posibles de retirar y reutilizar, siendo la misma situación que presentan los muros utilizados y analizados anteriormente.

Por lo anterior se demuestra que la correlación entre materiales utilizados para conformar los muros interiores y exteriores, no es congruente de primera instancia, con la modularidad planteada inicialmente en la conformación de la estructura base y del mismo modo, con la esencia del proyecto de investigación, que tiene como base principal, la concientización en el uso de materiales sustentables y la mejora del hábitat.

Tratando de reducir los daños ocasionados por las perforaciones que regularmente se utilizan para anclar las estructuras de suspensión para este tipo de paneles, se propuso utilizar soleras de 1/2" de ancho x 3/16" de espesor, que sirven como

abrazaderas de sacrificio para recibir la perforación de los perfiles galvanizados y respetar la composición de la estructura base, como se muestra en las siguientes imágenes:



**FIGURA 38.** Anclaje sin perforar en estructura base de acero de refuerzo (Foto tomada por el autor).

Fijación por medio de tornillos galvanizados autoperforantes de  $\frac{1}{2}$ " Long. sobre abrazadera.

En estas imágenes se muestra la suspensión que permite la abrazadera en un PTR de 3x4" para evitar ser perforado.



**FIGURA 39.** Abrazaderas de anclaje en estructura base (Foto tomada por el autor).

Habilitado de sistema de estructura de suspensión de muro prefabricado.

En relación a los postes de acero galvanizado y los canales de amarre para dar forma a la estructura interior y exterior de los muros, se permitió perforar sobre el firme de triplay de madera de pino de 1" de espesor, con la finalidad de respetar la composición de la estructura base, como se muestra en las siguientes imágenes:



**FIGURA 40.** Anclaje de muro prefabricado en firme de vivienda (Foto tomada por el autor).

Sistema de anclaje de estructura de suspensión de pretilas en azotea donde se perfora la cubierta para lograr dicho anclaje.

En estas imágenes se muestra la perforación que fija el perfil galvanizado con la hoja de triplay de 1" de madera de pino, esto para evitar que el PTR de 3x4" sea perforado.

## CONCLUSIONES

De acuerdo al análisis se puede demostrar que el sistema utilizado para conformar los muros de la casa solar experimental, no representan una solución congruente con el objetivo primordial de esta, y que además, tampoco lo es en el sentido de proporcionar procedimientos, materiales y sistemas constructivos que mejoren las condiciones de vida de los seres humanos, además de que no cumple con los principios de mejora del hábitat, por tal motivo, es necesario plantear objetivos encaminados a promover la sustentabilidad a través de mecanismos y sistemas constructivos que cumplan con principio de modularidad y utilización de materiales que en su producción y utilización no dañen el medio ambiente debido a la poca eficiencia al momento de ser utilizados.



### **3.2.PROPUESTA DE SISTEMA CONSTRUCTIVO CON BASE EN MUROS MODULARES.**

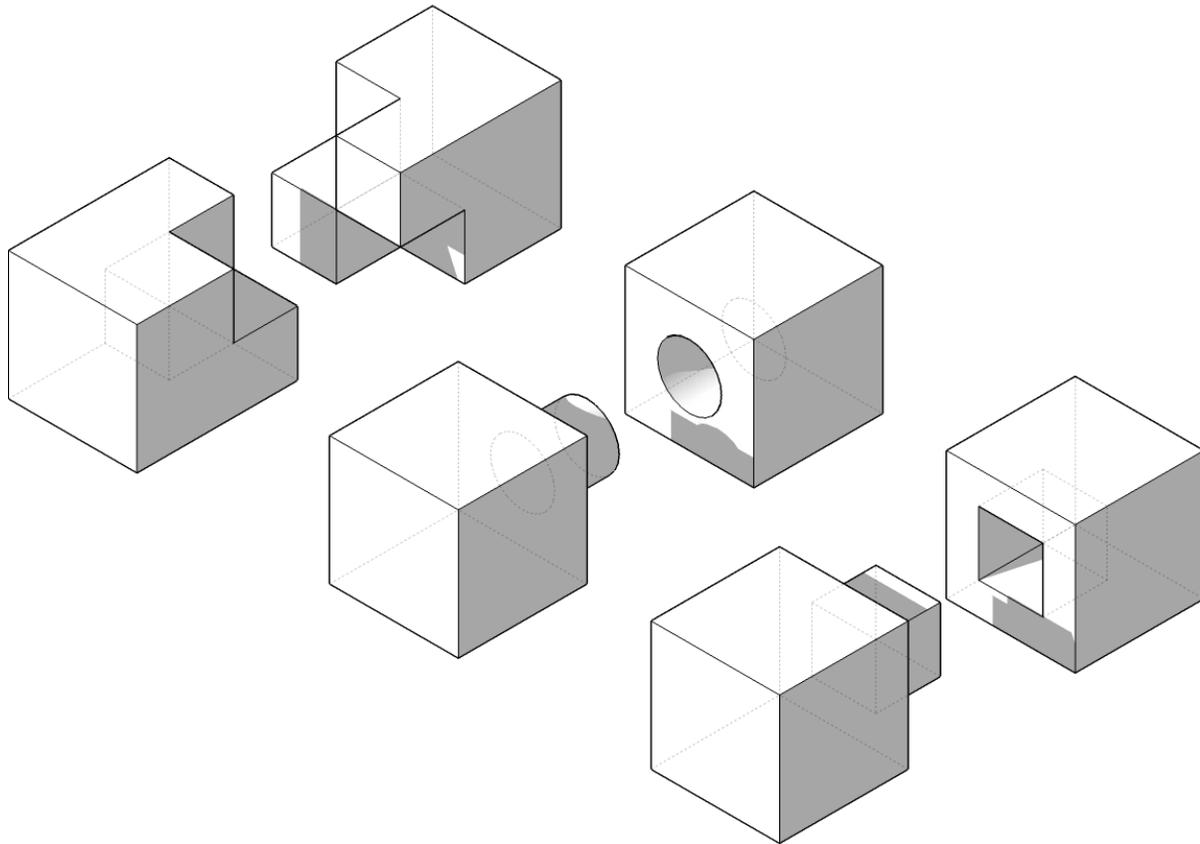
Para dar inicio a la propuesta del sistema modular, se tienen las siguientes consideraciones:

- 1.- analizar y diseñar propuestas de interconexión entre los elementos verticales.
- 2.- Definir tipos de ensambles a utilizar para uniones y juntas de los paneles propuestos
- 3.- Proponer empalmes para las uniones en serie, que determinan la continuidad de elementos lineales y de segmento.

De esta forma, se tienen presentadas las posibilidades de interconexión entre partes y las diversas variables que puede contener el sistema.

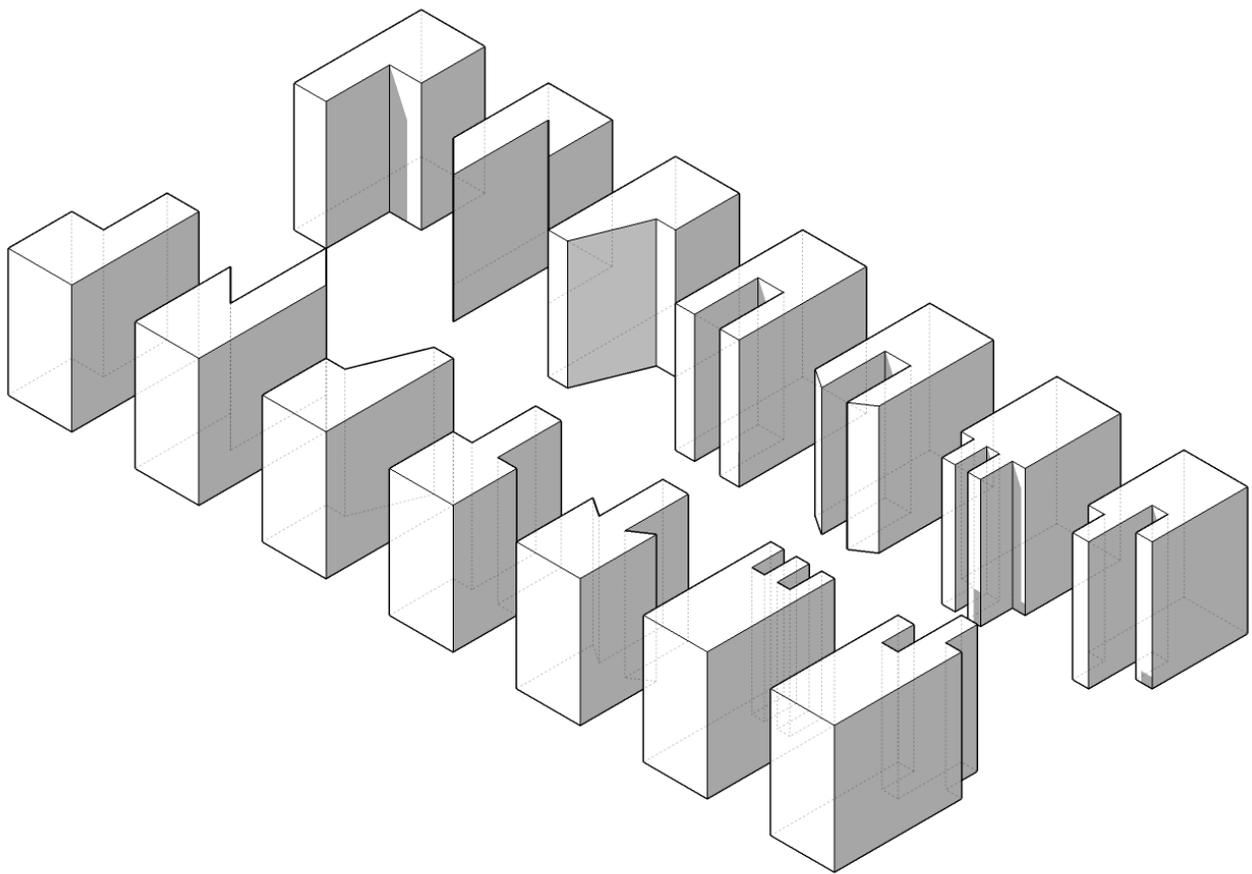
#### **3.2.1. PROPIEDADES PROPUESTAS E INTERCONEXIÓN**

Es primordial considerar que la soportería de anclaje que se propondrá está encaminada en buscar no dañar la estructura base, es decir, que no se utilicen elementos mecánicos perforantes, debido a que, un barreno en la estructura representa microscópicamente, una falla física que puede derivar en un esfuerzo mayor sobre una superficie ínfimamente menor, situación que sucede con en una hoja de vidrio cuando se utiliza la herramienta denominada “carretilla” para guiar un corte que se desea hacer y con esto, lograr separar en dos partes una placa de vidrio, este efecto responde al esfuerzo máximo aplicado de forma puntual. De esta manera, la consideración o aporte principal en la propuesta de anclaje de la soportería, debe cumplir con esta condicionante, por lo que se presentan ejemplos de las variables en unión y ensamble con la estructura base con utilización de uniones atornilladas o en su caso, adosada por medio de soldadura, previamente de acuerdo a proyecto estructural.



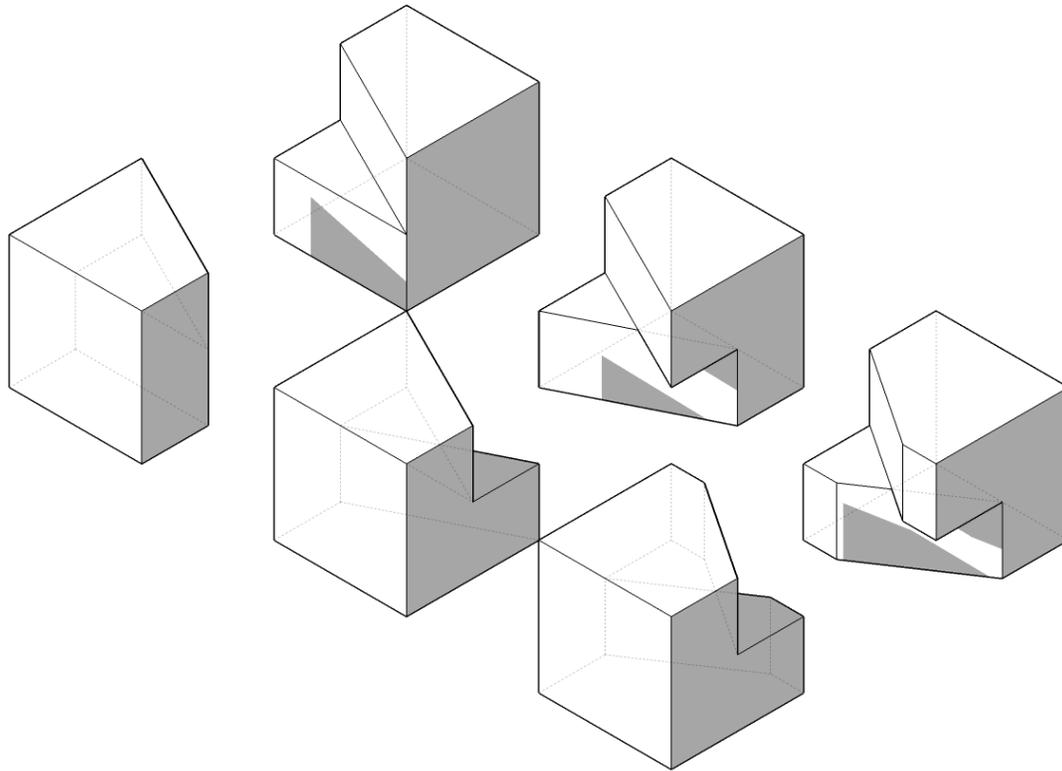
**FIGURA 41.** Propuesta de anclajes (dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).

Es recomendable considerar que en las uniones donde se presentan elementos estructurales destinados a brindar un soporte puntual de las cargas ejercidas sobre la edificación, deben utilizarse uniones que permitan traslapes entre elementos lo suficientemente rígidas y con un dimensionamiento adecuado que a su vez, garantice la estabilidad de la estructura, por lo que se propone designar secciones de 50 cms de longitud de traslape entre elementos verticales de soporte, tales como PTR de 4x4", adicionando a estos un anclaje de PTR de 3x3" que permite el ensamble perfecto y la continuidad de la edificación.



**FIGURA 42.** Propuesta de ensambles (dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).

Para las uniones entre paneles y con la finalidad de cuidar el sello térmico y acústico entre los elementos accesorios, se considera utilizar perfiles de anclaje del perfil de neopreno diseñado para ser instalado en el perímetro del canto de cada panel, teniendo a bien direccionarlo de forma continua y presentarlo de forma individual para que coincida al momento de la unión de todas las caras con cada panel, por lo que la consideración de ensamblaje que se representa en la anterior figura, demuestra que, se contemplan diversos tipos de anclajes, pero se selecciona el más adecuado a la necesidad prevista.



**FIGURA 43.** Propuesta de empalmes (dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).

Entre elementos accesorios que respaldan el sello perfecto de las uniones entre paneles, se considera utilizar empalmes que permitan la continuidad y embone perfecto de los claros que quedan expuestos al momento de colocar los paneles que se encuentran regidos por la modulación asignada para estos, por lo que en referencia a los ejes preestablecidos de los elementos estructurales principales, es conveniente la utilización de estos traslapes tanto en pretilos como en placas de terminación verticales, como se explicará a continuación.

Las variantes presentadas anteriormente en relación al tipo de anclajes existentes presentan soluciones prácticas a cerca de la forma en que se interrelacionará la estructura base con la soportería adicional que tendrá como finalidad, el soporte integral de los módulos que conforman el muro, ya que la propiedad principal es que sea desmontable y reutilizable.

### 3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

#### 3.3.1. MATERIALES SUSTENTABLES

En relación a los tipos de materiales que pueden ser utilizados para dar forma física al prototipo de muro modular, se tienen los siguientes:

En la selección del material para la cara externa e interna de cada módulo a diseñar para dar forma al muro modular, se consideran dos hojas de acero galvanizado, siendo este material es totalmente reciclable, se puede afirmar que, aunque su sustracción y fabricación genera contaminantes, no sufre desperdicio alguno al momento de ser desincorporado o reutilizado, teniendo además un porcentaje de reciclaje del 98%, siendo este principio primordial para asignarle mayor utilidad a los materiales que componen el *sistema modular*.

*Alta relación resistencia-peso: el acero tiene la mejor relación peso resistencia de los materiales estructurales conocidos, lo que significa que se pueden obtener las mismas prestaciones estructurales de otro material de construcción, pero con una cantidad de material mucho menor. Si a lo anterior se agrega la baja huella de carbono de acero (en promedio, la producción de acero emite aproximadamente 1,7ton CO<sub>2</sub>e por tonelada de acero crudo) da como resultado una reducción global del carbono incorporado en comparación a edificios construidos con otros materiales estructurales. (ARQUITECTURA+ACERO, 2018).*

La cara exterior se compone de una superficie con perfil de anclaje con material semi rugoso con base en fibra de acero de recuperación aplicado con aspersor a presión y aglutinante con base en pre pintado en continuo tipo pinto.

En cuanto a el interior entre hojas de acero, se considera utilizar poliuretano ecológico, fabricado a base de fibra hecha con base en soja.

*Históricamente los polioles y diisocianatos utilizados por la industria productora de poliuretano se han obtenido a partir de petroquímicos (petróleo y gas natural), pero estas materias primas contaminantes no renovables de origen fósil escasearán y se encarecerán cada vez más en el futuro. (Qiminet, 2012)*

*La explotación, producción, y el uso industrial (petroquímica) de petróleo y gas natural tiene efectos ambientales irreversibles lo que ha llevado a la necesidad de plantear un nuevo modelo de desarrollo industrial basado en la sostenibilidad ambiental que busca fuentes alternas renovables y ecológicas que disminuyan y eventualmente sustituyan el uso del petróleo y el gas natural como fuentes de energía y petroquímica. (Qiminet, 2012)*

*“Los recursos renovables ofrecen una posibilidad de ampliar estas fuentes de materias primas para obtener polioles y diisocianatos y así obtener poliuretanos realmente ecológicos a precios competitivos con respecto a los precios actuales de las materias primas de origen fósil”. (Qiminet, 2012)*

Al interior espuma de poliuretano de tipo ecológico con base en aislamiento en base de soja, clase 1 al fuego, representando por cada kg de poliuretano ecológico, 1 kg menos de petróleo utilizado para su fabricación. Siendo de esta forma 96% de contenido biológico, reduciendo por cada kg de polioliol agrol proyectado, de 5 a 10 kg de CO<sub>2</sub> a la atmosfera. Además, el bio aislamiento no se deshace o hunde con el tiempo al contrario del aislamiento convencional con base en fibra de vidrio o aquellos que requieren solventes y petróleo en su composición química, esto significa mayor durabilidad y eficacia con el tiempo.

De acuerdo al laboratorio de reacción al fuego de la asociación para el fomento de la investigación y la tecnología de la seguridad contra incendios, en su informe de ensayo No. 1703T08, indica que, las características de la espuma de poliuretano con base en soja según las normas:

*“Materiales de construcción. Determinación de la resistencia térmica por el método de la placa caliente guardada y el método del medidor de flujo de calor. Productos de alta y media resistencia térmica, de acuerdo con la norma UNE-EN 12667:2002”. (AFITI, 2008)*

*“Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Determinación del comportamiento a compresión, de acuerdo con la norma UNE-EN 82:1996”. (AFITI, 2008)*

*“Productos de aislamiento térmico para construcción. Espuma rígida de poliuretano producida in situ por proyección. Parte 1: Especificaciones para los sistemas de poliuretano antes de la instalación, de acuerdo con la norma UNE92120-1:1998”. (AFITI, 2008)*

mismo que son ensayos para verificación de las condiciones físicas del material y ante condiciones de exposición a fuego y esfuerzos determinados por las mismas, por lo que los resultados observados son los siguientes:

#### **1.- MUESTRAS DE ENSAYO**

**Recepción:** 01-dic-08

- Unidades: 1 muestras de 1200 mm x 1200 mm x 120 mm.
- La muestra se recibe embalada en plástico.
- La muestra han sido enviada y seleccionada por el solicitante.
- La muestra decepcionada en AFITI-LICOF se identifica según T1703A.

#### **Descripción:**

Espuma de poliuretano desnudo de color amarillo-verdoso, con aspecto piel de naranja, con un espesor de 120 mm y una densidad de 50 kg/m<sup>3</sup>.

Las principales características descriptivas de la muestra han sido suministradas por el solicitante. Dicha información se incluye en el Anexo 1 del presente Informe de Ensayo.

#### **Información sobre el destino de aplicación de las muestras (material):**

No se informa al laboratorio sobre la condición final de uso.

**Figura 44.** Muestras de ensayo (AFITI, 2008).

## 2.- ENSAYOS REALIZADOS

Los métodos seguidos para la realización de los ensayos son los especificados en las Normas:

UNE-EN 12667:2002 “*Materiales de construcción. Determinación de la resistencia térmica por el método de la placa caliente guardada y el método del medidor de flujo de calor. Productos de alta y media resistencia térmica*”.

UNE-EN 826:1996 “*Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Determinación del comportamiento a compresión*”.

UNE 92120-1:1998 “*Productos de aislamiento térmico para construcción. Espuma rígida de poliuretano producida in situ por proyección. Parte 1: Especificaciones para los sistemas de poliuretano antes de la instalación*”.

Figura 45. Ensayos realizados (AFITI, 2008)

## 3.- RESULTADOS

Todos los ensayos recogidos en este apartado han sido realizados por CEIS (Centro de Ensayos, Innovación y Servicios). Los resultados presentados son los especificados en el informe correspondiente (ver anexo 2).

### Determinación de la resistencia térmica. UNE-EN 12667:2002

Probeta n°	Longitud (mm)	Anchura (mm)	Espesor (m)	Masa (kg)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
1	596	594	0,0656	1,1340	49,3

	q (W/m <sup>2</sup> )	R (m <sup>2</sup> ·K/W)	λ (W/m·K)
Probeta 1	3,705	2,75	0,024

Observación: Este ensayo ha sido realizado 9 días después de la aplicación.

Figura 46. Resultados (AFITI, 2008).



**Determinación del comportamiento a compresión. UNE-EN 826:1996.**

Probeta n°	Longitud (mm)	Anchura (mm)	Espesor (mm)
1	53,0	53,0	53,2
2	53,4	53,0	53,3
3	53,2	51,6	52,0
4	54,2	53,4	53,6
5	53,4	52,8	53,0

Probeta n°	$\sigma_{10}$ (kPa)
1	280
2	276
3	261
4	261
5	292
<b>Valor medio</b>	<b>274</b>

**Determinación de la densidad aparente. UNE 92120-1:1998**

Probeta n°	kg/m <sup>3</sup>
1	50,3
2	51,4
3	52,4
4	52,9
5	53,8
<b>Valor medio</b>	<b>52,1</b>

Toledo, 17 de febrero de 2009







Fdo: Diana Luengo Rojo  
 Director Técnico del LICOF

Fdo: Sergio López Castillo  
 Director Técnico del Laboratorio  
 de Reacción al Fuego

DOCUMENTO FIRMADO DIGITALMENTE

**Figura 47.** Resultados. (AFITI, 2008).

Por lo anterior se demuestra un comportamiento favorable del material denominado “poliuretano ecológico con base en soja”, tanto ante la presencia de fuego, como ante los esfuerzos a los que fue sometido el material en presentación de bloque sólido, así como a la exposición a temperatura y efectos sonoros.

### 3.3.1.1. MATERIALES NATURALES

El bambú es una opción con características favorables en cuanto a rigidez, sin embargo, su tiempo de vida puede ser corto debido a la exposición al medio ambiente, por lo que no se considera una opción para ser utilizada al exterior, no así, en el recubrimiento al interior, misma que puede brindar calidez a los espacios generados con el sistema propuesto, pero no considerando sus características estructurales.

Virutas de madera pueden ser contenidas en un panel denominado OSB, que aglutina las mismas para dar forma a paneles de 1.22 x 2.44 mts, medidas comerciales de producción, donde el triplay y el plástico reciclable también encuentran su dimensionamiento para ser vendido y distribuido.

Fibras de tela con base en algodón, piel, cartón o papel procesado, pueden ser utilizados para dar forma a las superficies interiores, pero del mismo modo que el bambú, y por no ser resistentes a la intemperie, no son considerados al exterior de la capa expuesta de los paneles.

### 3.3.1.2. METALES

Las características de este material permiten una adaptabilidad en la forma deseada, ya sea en forma de hoja o perfiles para generar la estructura base de los módulos. Es posible también considerar que la combinación de metales con otros componentes similares, den como resultado aleaciones que son favorables para evitar corrosión y también para prolongar el tiempo de vida útil de los paneles en su caso. De esta forma, los metales compuestos o híbridos permiten generar perfiles tubulares para dar paso a formas más complejas de estructuras metálicas, por lo que resulta un material imprescindible para la estructura propuesta en la fabricación de los módulos.

Existen tipos de materiales sustentables pueden ser utilizados para dar un valor agregado al aporte de este tema de tesis, sin embargo, de inicio se procederá a considerar los más utilizados y los que permitan lograr las condiciones de estabilidad y forma, esto por la facilidad de maniobrabilidad y ajuste al momento de modificar la

geometría del componente, por lo que los primeros prototipos serán considerados en este material.

### 3.3.1.3. POLÍMEROS

Los materiales derivados del plástico en sus diversas etapas, son más versátiles y ligeros, pudiendo contener características tales como acabados rugosos y suaves con colores diversos y hasta presentar propiedades de transparencia en su composición. Estos pueden ser derivados de poliestireno, polietileno, poliuretano, tereftalato, PVC, etc. sin embargo en el caso del PVC, este ha sido considerado como un material que genera un alto grado de emisión de monóxido de carbono en su fabricación, por lo que no será considerado en este apartado.

Los polímeros pueden presentarse en diversas formas y características como:

1.- TERMOPLÁSTICOS: Estos son moldeables y adquieren la forma deseada de acuerdo a su función estructural, como es el caso de las láminas acanaladas que sirven para ser apoyadas en dos extremos y su forma acanalada le permite librar claros amplios.

2.- ELASTÓMEROS: Con este tipo de polímeros se puede trabajar a la tensión permitiendo cambiar su forma de acuerdo al esfuerzo aplicado en ellos. Del mismo modo permiten general uniones que evitan el paso de aire y ruido, así como sellar perfectamente las juntas entre diversos tipos de materiales. Son altamente utilizados para sistemas de soporte y ajuste entre piezas de peso considerable y para evitar la fricción o colisión entre partes.

3.- TERMOESTABLES: Estos polímeros una vez calentados y deformados, ya no pueden ser moldeados de nuevo, pero llegan a ser demasiado rígidos, asemejándose en características a el cristal, teniendo gran uso en la fabricación de piezas herméticas, se pueden considerar entre este tipo las resinas epóxicas, el poliuretano y el poliéster.

4.- FIBRA DE CARBONO: La técnica aplicada en la utilización de polímeros delgados en forma de hilos, permite generar este material ligero y resistente, ya que en su composición contiene carbono, que es un elemento que rigidiza los filamentos de plástico en forma de finos hilos y aporta resistencia. Esta se fabrica a base de

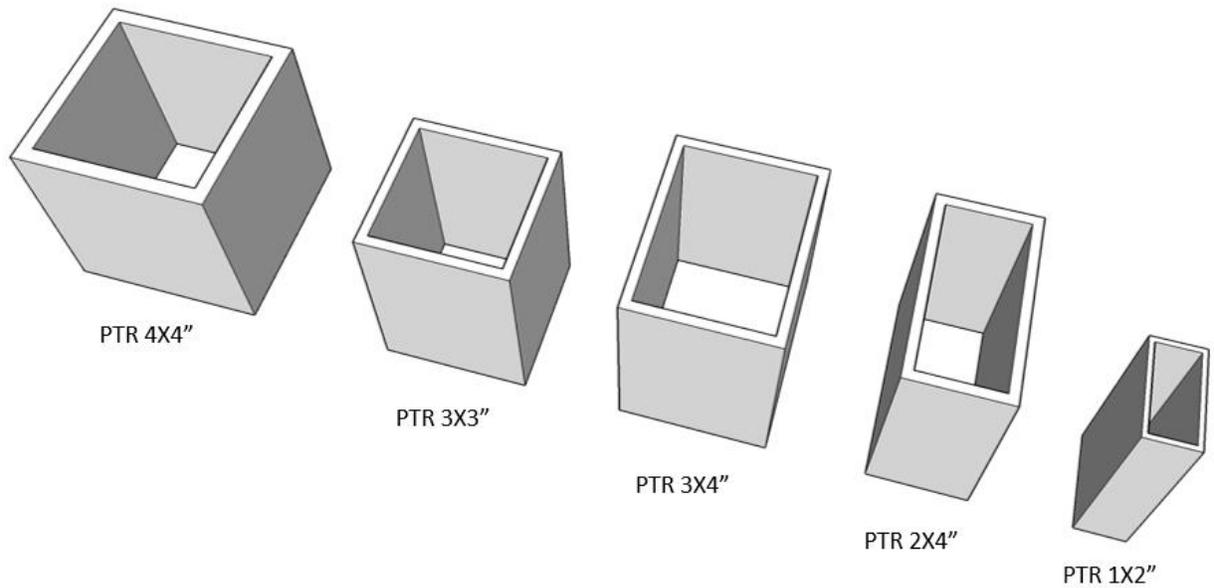
poliacrilonitrilo, siendo que también presenta características similares a la del acero, siendo muy ligero del mismo modo de la madera o el plástico convencional.

### 3.3.2. ELEMENTOS EN ACERO DE REFUERZO

Las principales consideraciones de soportería, no sólo son consideradas para el ensamble que sucede entre la estructura hecha a base de perfil tubular rectangular (PTR) y el modelo a proponer, sino de la que permite que el muro modular tenga la rigidez suficiente para poder ser estable al momento de trabajar en conjunto con la estructura, existiendo así, una combinación de esfuerzos por medio de los cuales generan solución al tema de confinamiento y contención de los espacios arquitectónicos.

Se consideran esfuerzos que puedan provocar deformaciones en el módulo tales como torsión, flexión, tensión y los que resultan de la combinación de estos, no así la compresión, debido a que al proponer la suspensión de este dependiendo de la estructura base, el muro modular no sufre este tipo de esfuerzo.

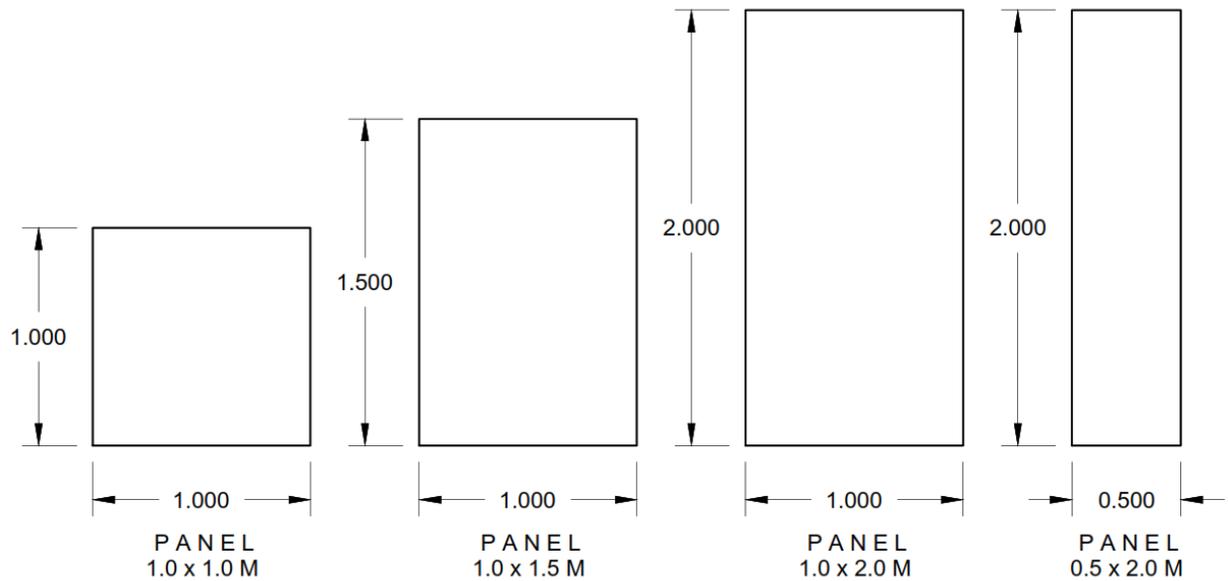
La forma y función del muro modular requiere de elementos fijos que proporcionen principalmente, errores por deformación, tales como arriostamientos y venteos, siendo estos fundamentales para poder garantizar el ensamblaje entre módulos y que complementa las secciones de muro a instalar.



**FIGURA 48.** Perfiles de acero tubular propuestos para estructura base (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).

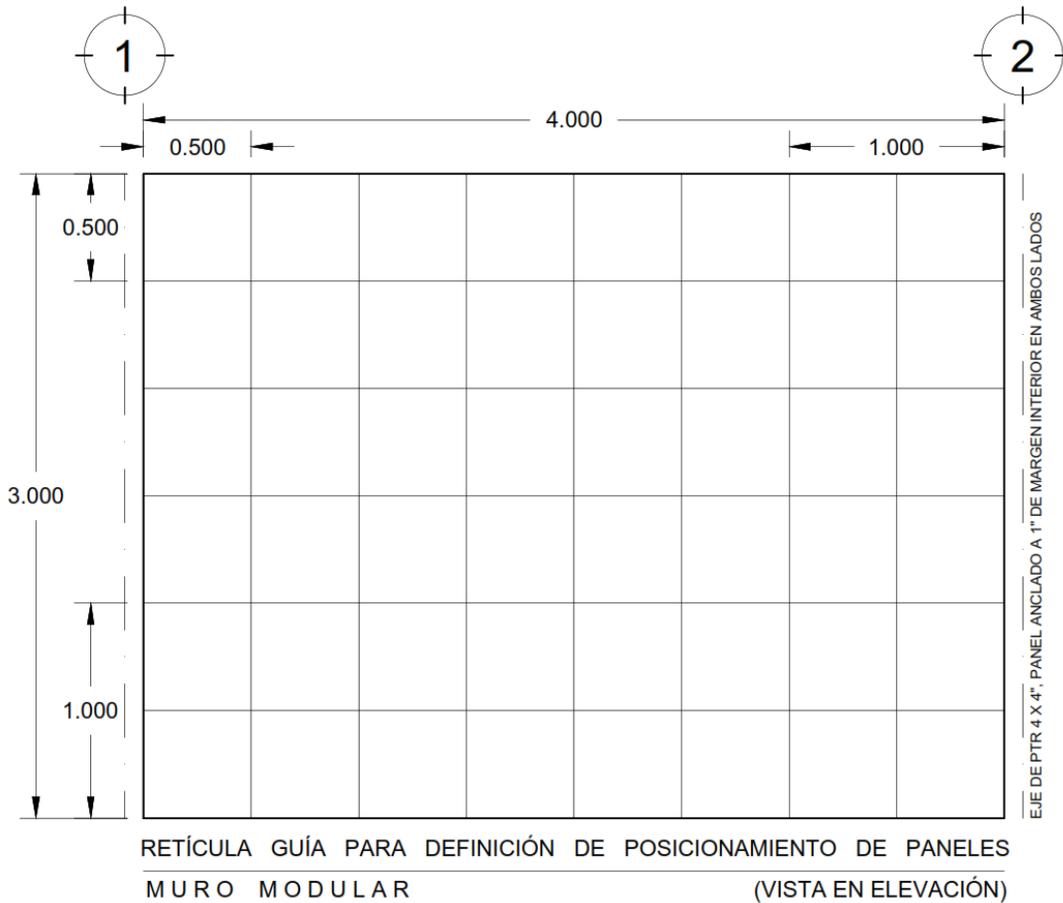
### 3.3.3. COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA MODULAR

En esta sección se muestra la forma geométrica elegida para modular los paneles y como se relacionan entre sí las partes que componen el sistema, siendo el dimensionamiento de los módulos propuestos de manera básica por medio de medidas fijas establecidas por las siguientes proporciones en metros: 1.0 x 1.0, 1.0 x 1.5, 1.0 x 2.0, 0.5 x 2.0 mts, siendo estos los necesarios para conformar cualquier tipo de composición dentro del dimensionamiento propuesto para la estructura base como se muestra en la imagen siguiente:



**FIGURA 49.** Propuesta básica de modulación de paneles (Dibujo hecho en AutoCAD 2016, por el autor).

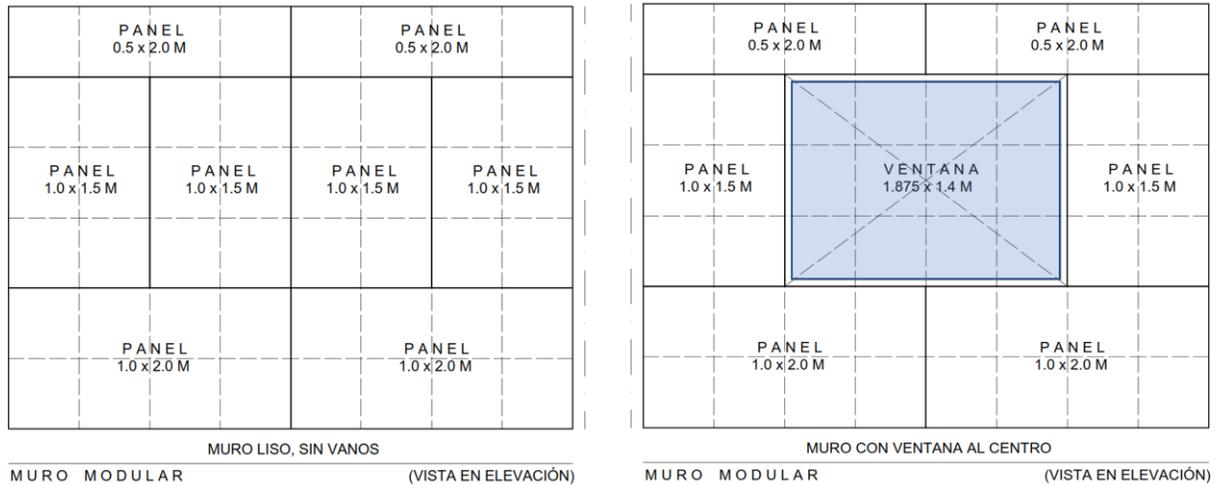
En la imagen anterior se puede observar que, la propuesta de paneles se limita a cuatro opciones de formas simples, mismas que permiten una rápida identificación al momento de disponer de ellas para diseñar las secciones de muros de acuerdo a las necesidades del proyecto arquitectónico, generando para esto, una gama amplia de posibilidades como se muestra a continuación:



**FIGURA 50.** Modelo base de configuración de variables de muros (Dibujo hecho en AutoCAD 2016, por el autor).

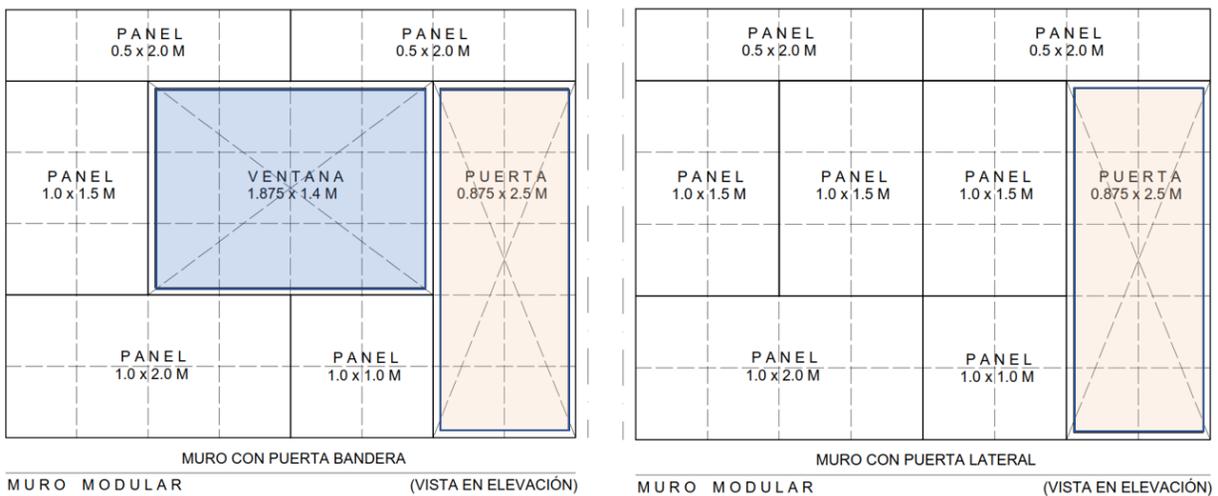
En consecuencia, se generan una serie de variantes posibles para dar forma a cualquier necesidad espacial y dimensionamiento de muro deseado.

Se presentan modelos con muros lisos sin vanos y aquellos donde se contempla una ventana al centro del muro, teniendo la oportunidad de mover la posición de la ventana hacia ambos lados, permitiendo, además otras variables en dimensiones.



**FIGURA 51.** Diseño y función de muros (Dibujo hecho en AutoCAD 2016, por el autor).

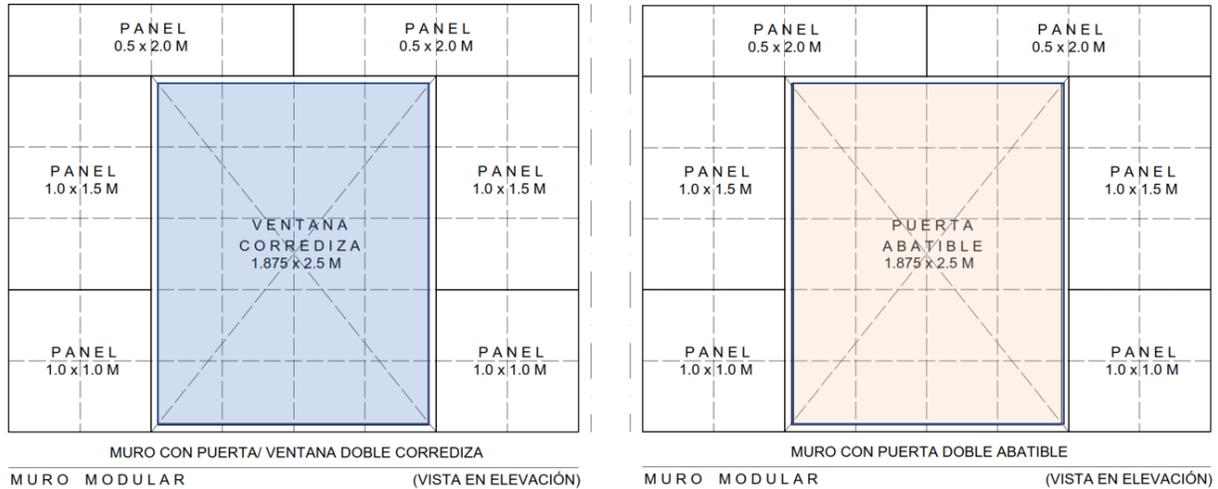
En estos casos se combinan ventana y puerta, surgiendo la opción de puerta bandera y adicional a este, la variable de tener una puerta ubicada en la parte lateral del muro, teniendo también la opción de mover la misma, recorriéndola en múltiplos de 0.50 mts, gracias a la retícula de trabajo propuesta para el diseño de muro deseado.



**FIGURA 52.** Diseño y función de muros (Dibujo hecho en AutoCAD 2016, por el autor).

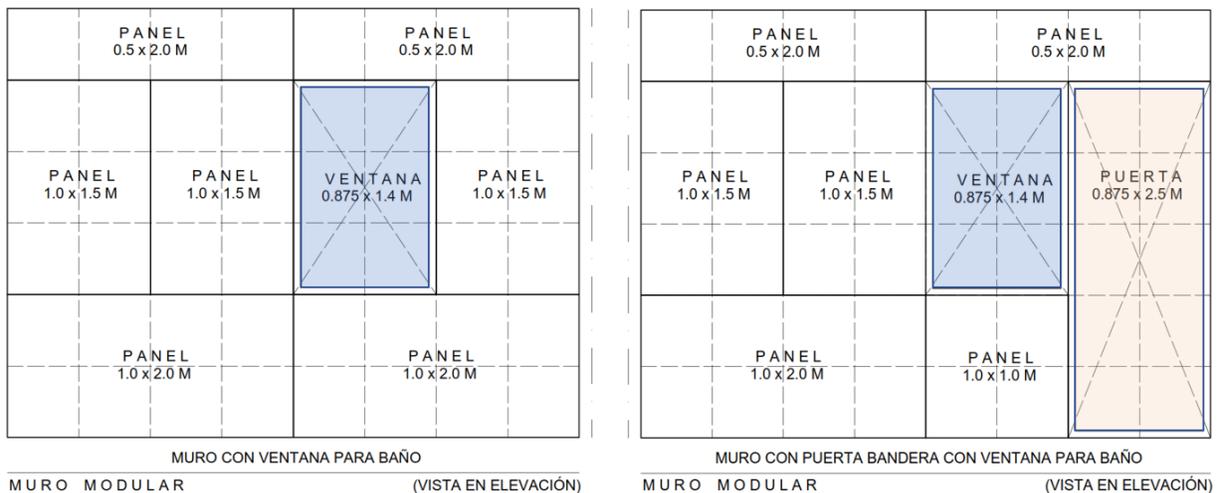
En estas opciones se presenta la apertura de vanos de 2 mts ejes, considerando un vano aprovechable de 1.875 mts considerando los elementos accesorios como boquillas laterales que reducen el espacio, pero ocultan el PTR de 1x2" que rige los ejes centrales de la estructura oculta del muro.





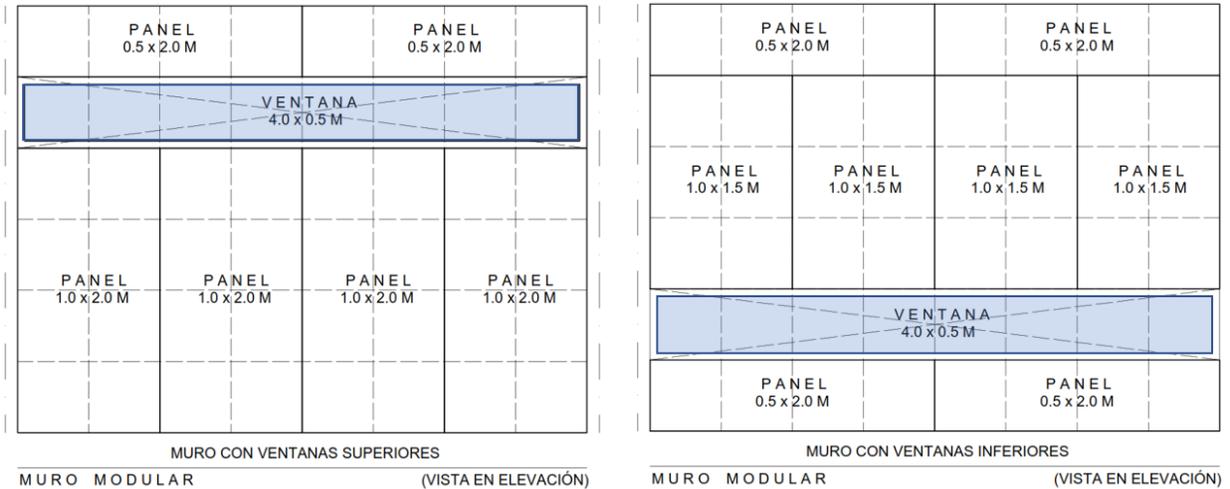
**FIGURA 53.** Diseño y función de muros (Dibujo hecho en AutoCAD 2016, por el autor).

Las conexiones entre puertas y ventanas y la estructura de acero de refuerzo, dependen de los elementos accesorios y complementarios, ya que es necesario que se genere el marco rígido con el mismo material de los muros para poder recibir el trabajo de vidrio y aluminio y carpintería, según sea el caso.



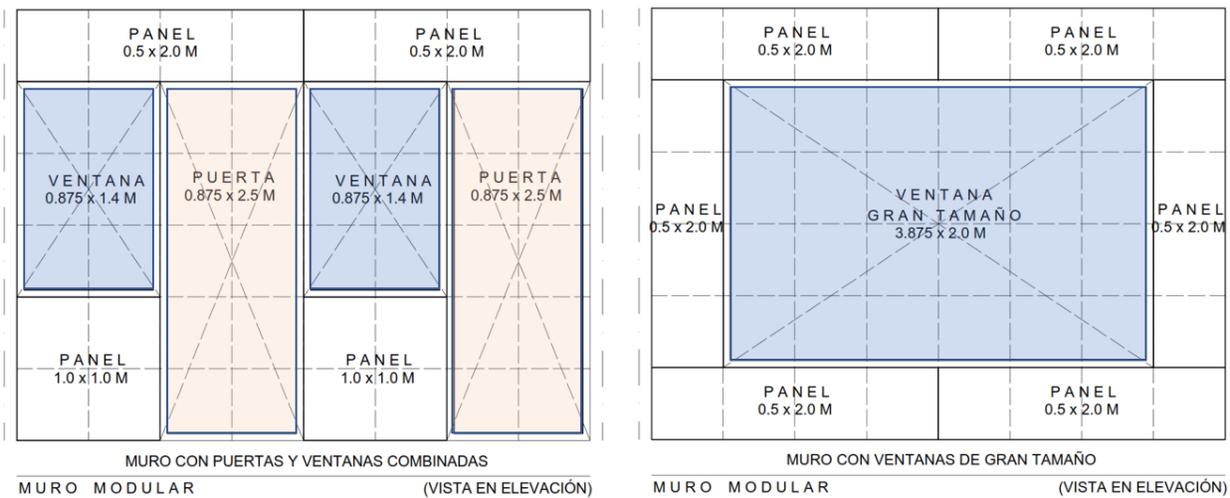
**FIGURA 54.** Diseño y función de muros (Dibujo hecho en AutoCAD 2016, por el autor).

Cuando se presenta la necesidad de implementar muros con ventanas inferiores o superiores en vanos horizontales y reducidos en su verticalidad, existen opciones múltiples que el sistema modular puede ofrecer, como se muestra en la siguiente imagen:



**FIGURA 55.** Diseño y función de muros (Dibujo hecho en AutoCAD 2016, por el autor).

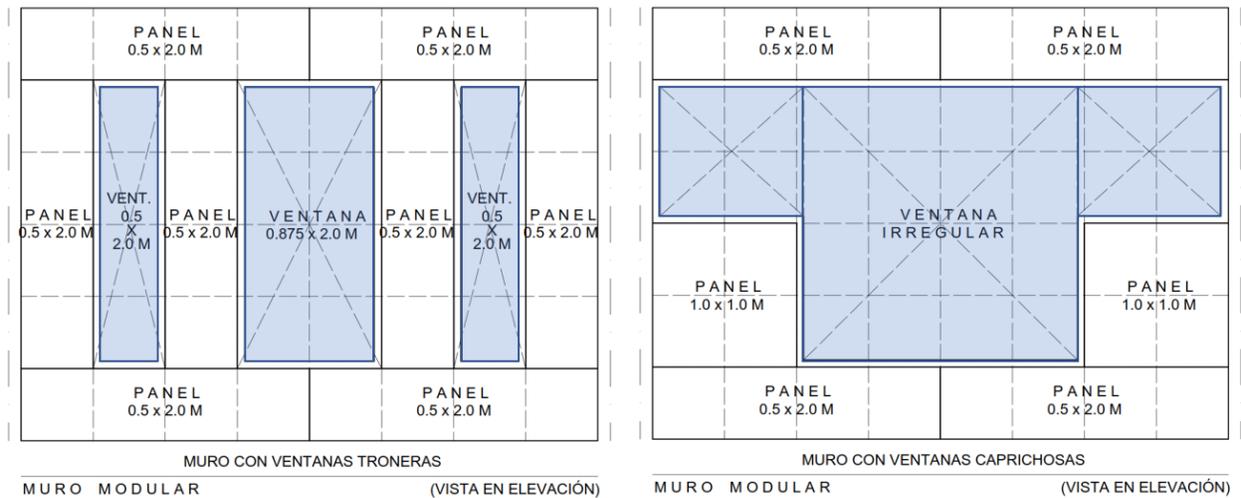
Es importante señalar, que el sistema obliga a utilizar los paneles de 2.0 x 0.5 mts colocados a los extremos inferior y superior, esto con la finalidad de incluir y esconder los firmes de los niveles interiores y las losas de azotea, del mismo modo, para poder transferir la continuidad de las instalaciones eléctricas que los paneles contienen en algunos casos.



**FIGURA 56.** Diseño y función de muros (Dibujo hecho en AutoCAD 2016, por el autor).

El sistema permite que existan amplias posibilidades de diseño de ventanas de gran formato o combinaciones resultantes de la función que se le determine al muro de acuerdo a su ubicación en el perímetro que compone el espacio arquitectónico.

La composición de diseños variados en relación a la ventanería es resuelta de forma modular y de forma congruente con el sistema, que genera formas caprichosas y resuelve todo tipo de necesidades geométricas ortogonales al utilizar los paneles con los dimensionamientos preestablecidos para este fin.



**FIGURA 57.** Diseño y función de muros (Dibujo hecho en AutoCAD 2016, por el autor).

De acuerdo a la generación de espacios determinados como vanos de puertas y ventanas, así como, el ajuste entre estos debido al término de dimensionamiento y modulación de los paneles, se generan algunos elementos accesorios complementarios y se determinan las dimensiones establecidas para los tipos de puertas y ventanas que se utilizarán, más no son limitativas, ya que el sistema permite adecuar cualquier tipo de dimensión que se encuentre dentro de la modularidad que se explica en la imagen anterior en relación al dimensionamiento final de cada panel.

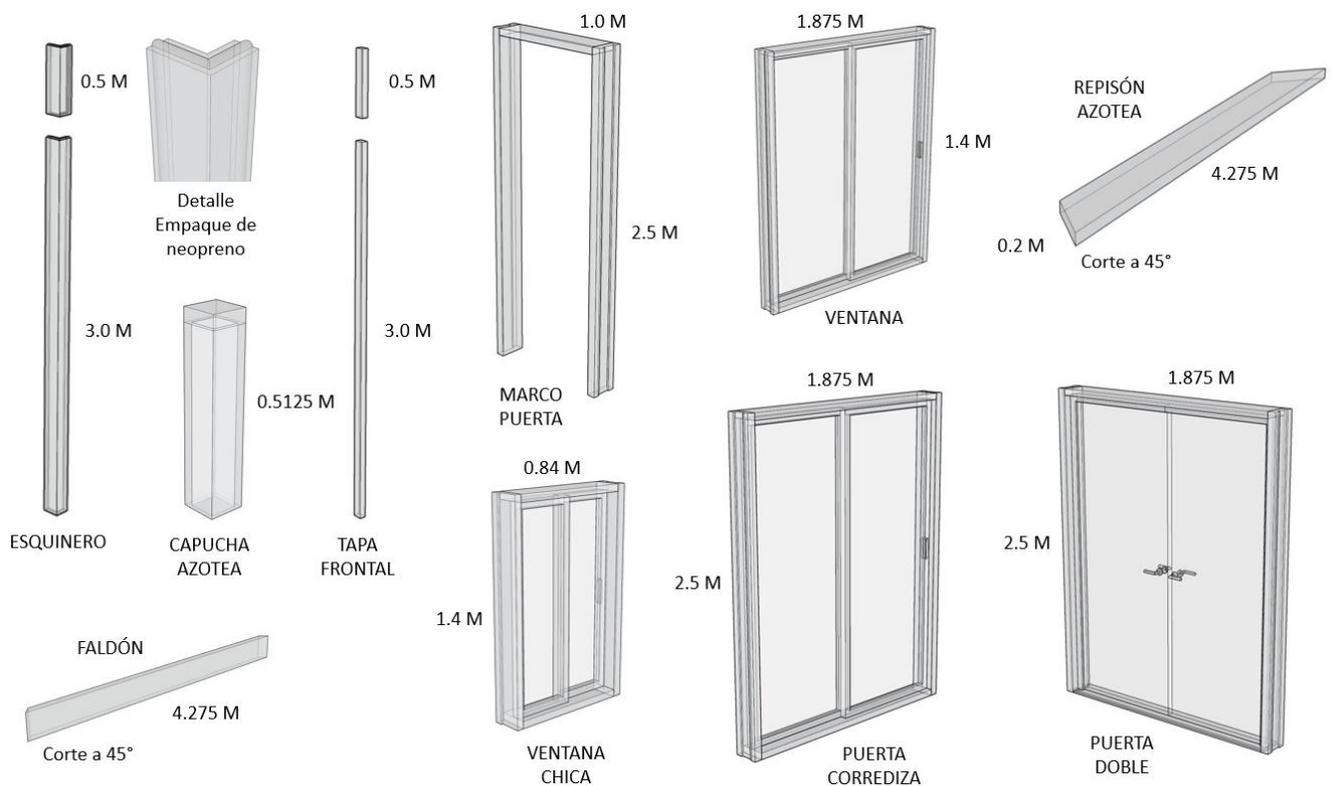
De esta forma, la composición de cada sección de muro, dependerá de las necesidades funcionales y estéticas deseadas para cada caso y se podrá generar una composición dentro de los lineamientos establecidos por la modularidad establecida.

A continuación, se muestran los elementos accesorios y complementarios que hacen posible la conformación de los muros modulares en sus diversas variantes:

### 3.3.4. ENSAMBLE Y CORRELACIÓN ENTRE COMPONENTES

La relación que existe entre elementos modulares, necesita un ensamble suficientemente resistente ante las acciones de los elementos líquidos, en este caso el agua y la humedad exterior, por lo que se considera de gran utilidad el empleo de materiales sintéticos que al interactuar por medio del contacto entre ambos, permita sellar de forma adecuada las separaciones entre paneles, siendo de igual forma importante que la consistencia de este material sintético posea la propiedad de retracción y que sea posible que esté anclado al panel a través de todo lo largo de su perímetro, precisamente en la cara lateral, permitiendo una correlación entre partes.

## ELEMENTOS ACCESORIOS Y COMPLEMENTARIOS

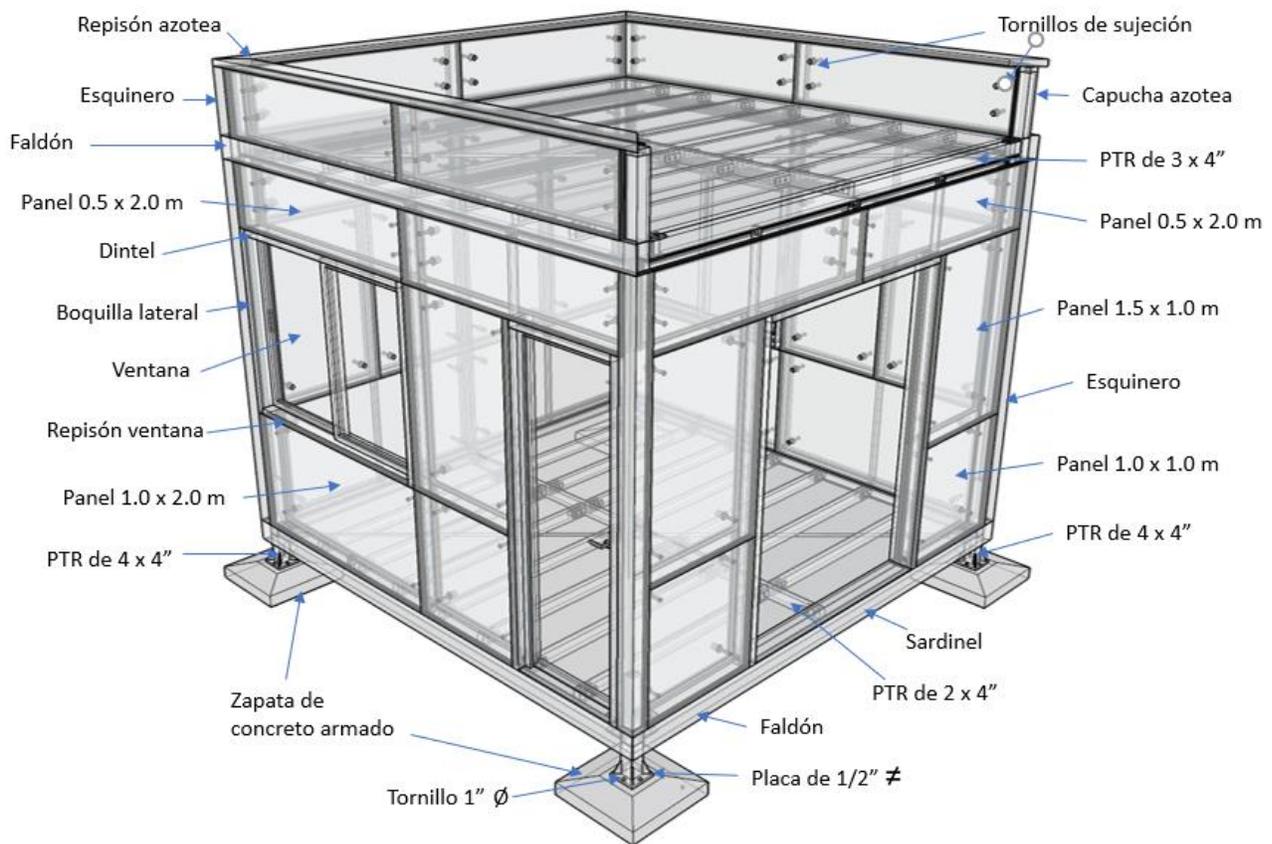


**FIGURA 58.** Elementos complementarios (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).

Modelo de vivienda tipo definiendo ubicación de elementos estructurales de acuerdo a distribución arquitectónica propuesta para generar modularidad de espacios.

A continuación, se presenta la conformación del prototipo con todas las partes que lo componen, debidamente dimensionadas e interrelacionadas entre sí, teniendo a bien, designar la nomenclatura específica para cada elemento constructivo y su explicación de cómo se integra de forma mecánica en conjunto con cada una de sus partes.

## DESCRIPCIÓN DE LAS PARTES DEL SISTEMA

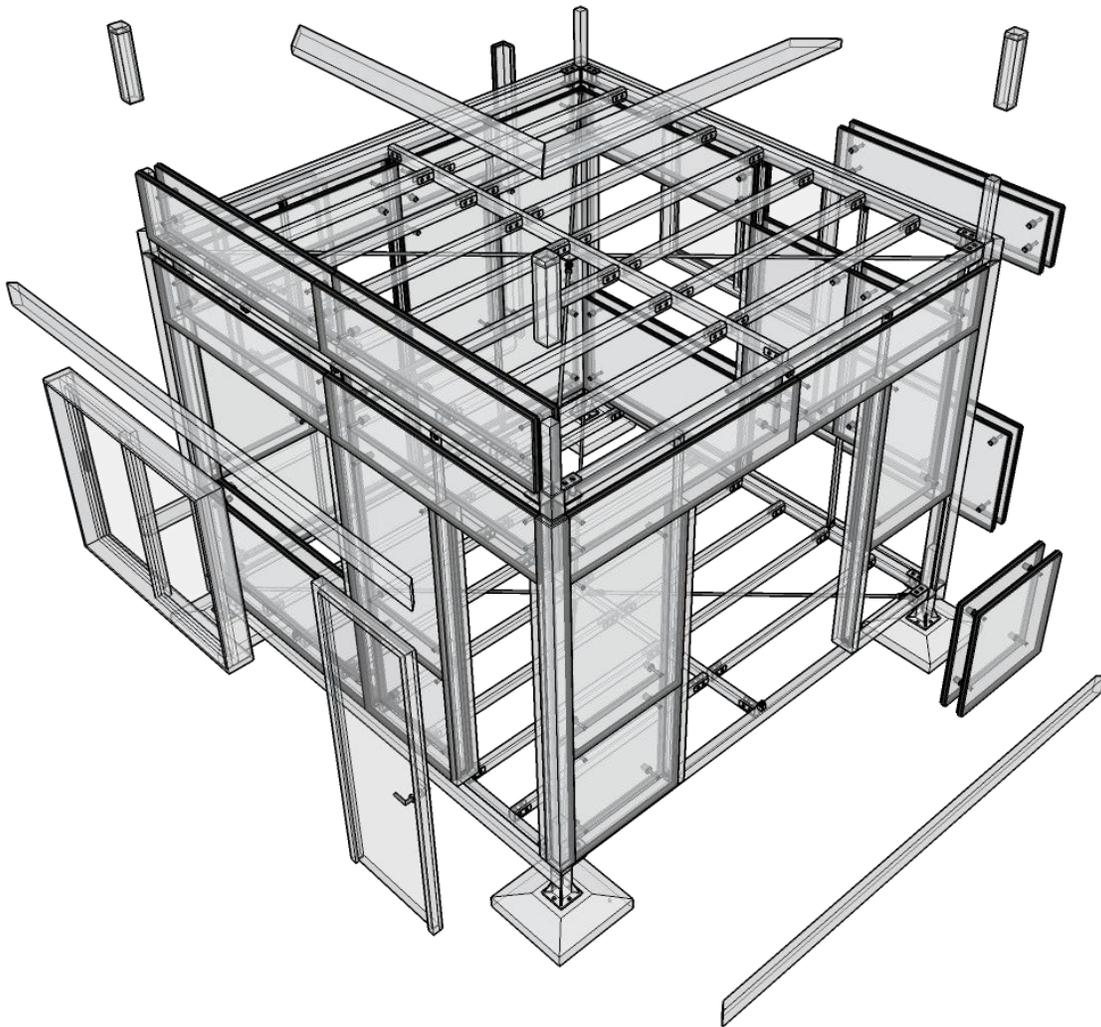


**FIGURA 59.** Conformación de las partes del sistema (Dibujo hecho en Sketchup, por el autor).

En la imagen superior se describe cada uno de los componentes del sistema de muro modular, así como, los elementos accesorios denominados, sardinell, dintel, boquilla lateral, repisón para ventana, repisón para azotea, capucha para azotea, esquinero y tapa frontal. Todos estos elementos permiten concretar las diversas opciones de colocación

de acuerdo al diseño previo del muro deseado, por lo que se cumple con la facultad de modularidad que depende totalmente de la colocación exterior de cada panel.

## DESGLOSE DE LAS PARTES DEL SISTEMA



**FIGURA 60.** Desglose de las partes del sistema (Dibujo hecho en Sketchup, por el autor).

La imagen explotada, permite explicar la colocación de cada uno de los elementos empleados en la conformación del sistema, su maniobrabilidad y fijación en relación a otros componentes, esto debido a que, cada uno depende en gran medida de la ayuda de otros accesorios para generar las condiciones de sellado y ensamble entre piezas.

La colocación de cada elemento puede ser efectuada por dos personas, teniendo a bien considerar que, el peso de los paneles es el adecuado para ser soportado por una persona a la vez, puesto que, requerirá simplemente ubicarse una persona dentro del espacio interior y otra al exterior para hacer el ensamble necesario, posterior atornillamiento y fijación total de cada sección de muro.

### 3.3.5. RESULTADO DE LA INTEGRACIÓN

La utilización y colocación de los paneles para conformar las diversas variables de muro modular para una vivienda o edificación, demuestra que es posible asignar dimensiones que permiten una gama extensa de posibilidades de acomodo y función.

El sistema provee además de elemento de apoyo para reforzar sus uniones y la discontinuidad resultante de la consideración de distancias entre ejes de los elementos estructurales, con la finalidad de permitir el sellado perfecto de las uniones y complementa y refuerza, el ensamblaje entre piezas elegidas para dar forma a las secciones de muros deseados.

Es importante resaltar que, para anclar los muros a la estructura base, no se requiere de perforaciones, aplicaciones de soldadura o sellos líquidos, permitiendo cumplir de esta forma, con el principio de ensamblaje y retiro de sus componentes sin sufrir afectaciones en su composición y su dimensionamiento, pudiendo ser reutilizados y ensamblados junto con la estructura de acero de refuerzo, en cualquier otra ubicación.

De esta forma se cumple con las características propuestas inicialmente, que consideran que, todos los elementos del sistema puedan ser reutilizados y evitar así, la fabricación de componentes de reposición, por haber sido maltratados al retirarse de su posición, además de que reduce la emisión de contaminantes derivados de la sobre producción de elementos constructivos relacionados con este.

### 3.4. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

#### 3.4.1. PRUEBAS A IMPLEMENTAR

##### 3.4.1.1. ESFUERZOS

Las consideraciones principales de proporción entre las partes y la relación peso volumen, permiten al sistema trabajar de forma ordenada siendo que, para el ensamble de cada una de las partes existe un cuidado absoluto de no debilitar la estructura que la soporta, esto es, permitiendo que en conjunto, estructura base y sistema modular, trabajen de forma armónica y no ejerza esta, un peso excesivo sobre la estructura, esto debido a que, los paneles están diseñados con materiales de recuperación y su composición fibrosa le permite reducir el peso en comparación a los sistemas prefabricados tradicionales, tales como Tablaroca\* y Permabase\*, utilizados en el modelo análogo presente en el estudio de caso que deriva de la actual investigación.

Al considerarse que, el sistema depende primordialmente de la estructura base para ser emplazado y anclado a esta, no provoca en la estructura un esfuerzo que debilite o interrumpa su capacidad de carga o respuesta a cualquier esfuerzo ejercido por la naturaleza a el edificio construido con este sistema conjunto.

Por lo anterior, tanto sistema estructural como sistema de muro modular, pueden trabajar en conjunto, permitiendo que, la composición de la vivienda funcione de forma adecuada y esta sea modificada además, cuantas veces sea necesario, esto es, por la propiedad de retirar y volver a instalar los paneles como sea deseado, brindado mayor versatilidad a la vivienda, que no necesita cortes o afectaciones de tipo abrasivo en la estructura base para continuar o modificar cualquier espacio arquitectónico.

En cuanto a el comportamiento ante los esfuerzos ejercidos por la naturaleza por medio de movimientos oscilantes o trepidatorios, se considera al acero como un material capaz de absorber los mismos debido a su elasticidad y conforme a las uniones nodales que son utilizadas para dar forma a la estructura, por encima de sistemas con elementos rígidos, que, aunque contienen acero de refuerzo, pueden sufrir deformaciones y separación de material, situación que no sucede con el acero.



### 3.4.1.2. RESISTENCIA A LA INTEMPERIE

La composición de la superficie de los paneles que conforman el muro modular, está hecha de materiales de recuperación con base en mezcla de fibras sintéticas combinadas con aglutinantes tipo encimas que permiten una reflectancia suficiente para evitar el exceso de inercia térmica la interior de los espacios interiores, sin embargo, se propone una superficie rugosa para generar que, el perfil de anclaje de la superficie del muro contenga aire y este regule de mejor forma los cambios de temperatura al interior.

En relación al comportamiento de los paneles al exterior, y como se explica en la propuesta de implementación de una sistema adicional que permita medir la radiación solar por medio de un sensor de luz ultravioleta, que permita elegir o reemplazar las secciones de muro, por paneles con características más favorables ante la exposición al estrés generado por la radiación directa sobre la superficie de los muros, que a su vez, le brinde a este mayor tiempo de vida útil pero que, garantice el mejor desempeño de aislamiento y resguardo de los espacios interiores.

Las uniones entre paneles diseñadas por medio de empaques de neopreno de baja densidad, permiten evitar el paso de aire al interior de la vivienda y a su vez, protege la composición del panel para que no se afecte por la presencia de agua u otro elemento que pudiera afectar su composición, evitando así, dañar sus partes mecánicas de ensamblaje como son los tornillos de fijación, rondanas y el vástago que los une.

La durabilidad de los componentes químicos que conforman el sistema es amplia, esto debido a que el acero en hojas galvanizadas calibre 16 (1.61 mm), brinda alta resistencia al cuerpo de poliuretano ecológico con base en soja, por lo que no permite su degradación ni contacto con la radiación solar, así como la exposición al polvo o humedad.

### 3.5. ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LAS VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

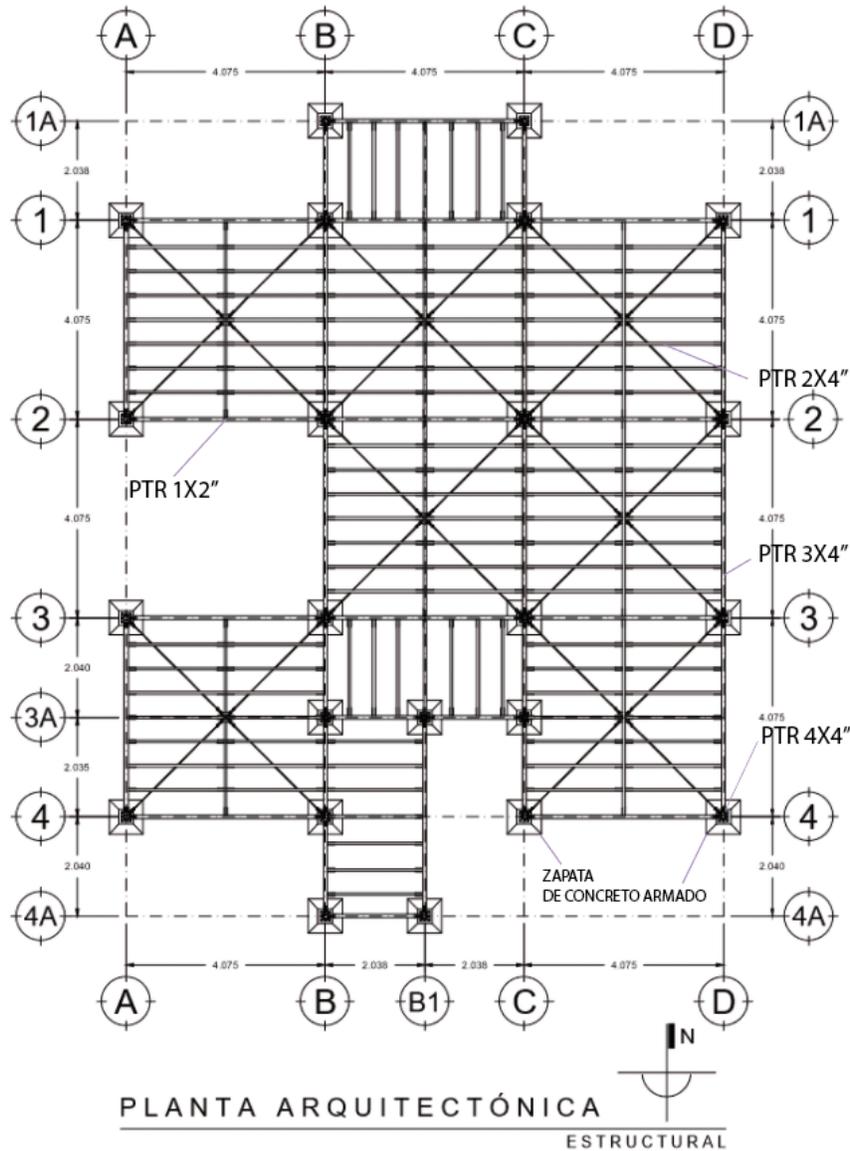
#### 3.5.1. DESARROLLO DE PROTOTIPO

Se propone la siguiente modulación de la estructura base, de acuerdo a las dimensiones del material a utilizar, acero de refuerzo A-500.

De acuerdo a lo expresado anteriormente, se utiliza el acero para dar forma a la estructura base en modulaciones de 4.075 x 4.075, por medio de PTR de 4x4", mismo que serán colocados a eje dentro de estas dimensiones para gobernar el acomodo de los paneles de forma adecuada, esto debido a que, las dimensiones exactas de los paneles propuestos son de 1 x 1, 1 x 1.5, 1 x 2 y 0.5 x 2.0 mts, en consecuencia, los paneles dependen de esta separación entre ejes para poder acoplarse con 1" una pulgada de empalme con el PTR de 4 x 4", siendo las dimensiones externas siempre las mismas, de acuerdo a el diseño previo del muro deseado, no así en el las dimensiones de los paneles interiores, esto porque, existen variaciones que se explicarán en los apartados siguientes, donde se demuestra la forma precisa de cómo se acoplan cada una de las partes que interviene en el sistema ya integrado.

Existe la posibilidad de subdividir espacios en relación al formato principal que comprende entre ejes, la ubicación de PTR de 4 x 4" a cada 4.075 mts, siendo que, la mitad de estas secciones corresponde a 2.0375 mts, esto para poder referenciar la colocación de cada panel deseado guiándose por el exterior, debido a que, esta dimensión no se ve afectada en ningún momento.

Se tienen considerando espacios reducidos a las dimensiones de 4.075 x 2.0375 entre ejes de muro, para destinar a usos como baños, closets o simplemente porque el proyecto arquitectónico requiera subdividir los espacios estandarizados.

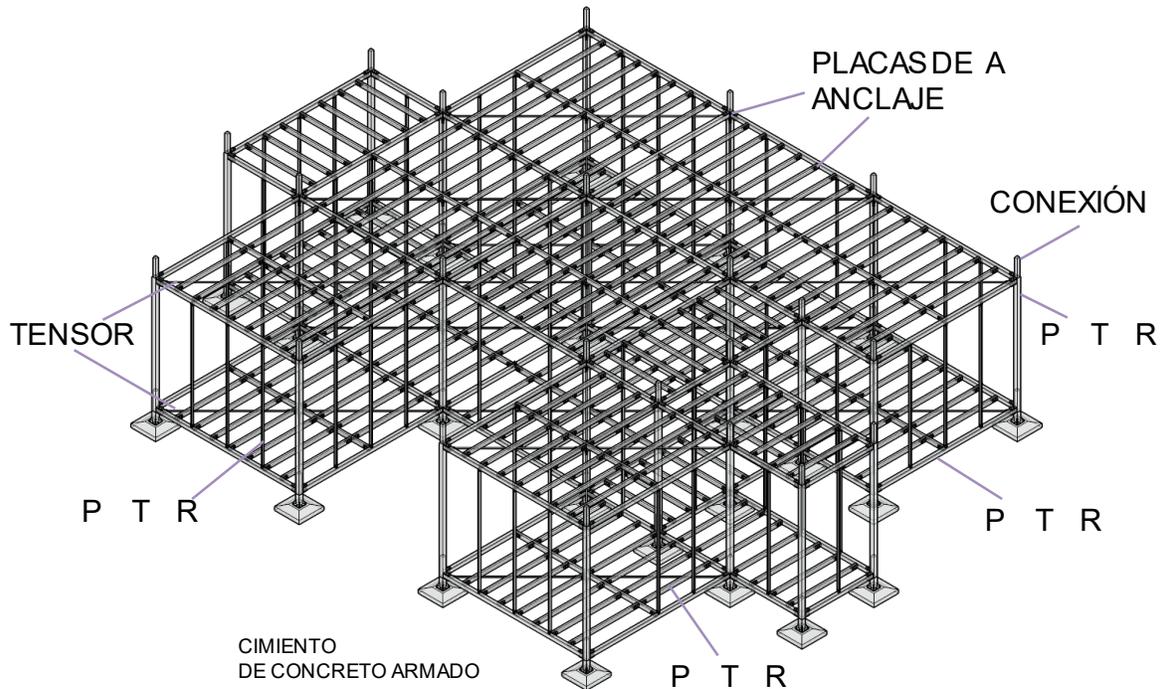


**FIGURA 61.** Planta arquitectónica (Dibujo hecho en AutoCAD 2016, por el autor).

Inicialmente, se determina el dimensionamiento de los elementos estructurales que componen la vivienda a analizar, esto con la finalidad de implementar la modularidad de los elementos constructivos, en este caso, el muro prefabricado con capacidad de anclaje y retiro tal, que su montaje en la estructura no dañe a través de perforaciones o desbaste a la estructura base.

El dimensionamiento está regido por la modularidad comercial de los elementos estructurales de acero de refuerzo utilizados, por lo que se consideran espacios de 4.075

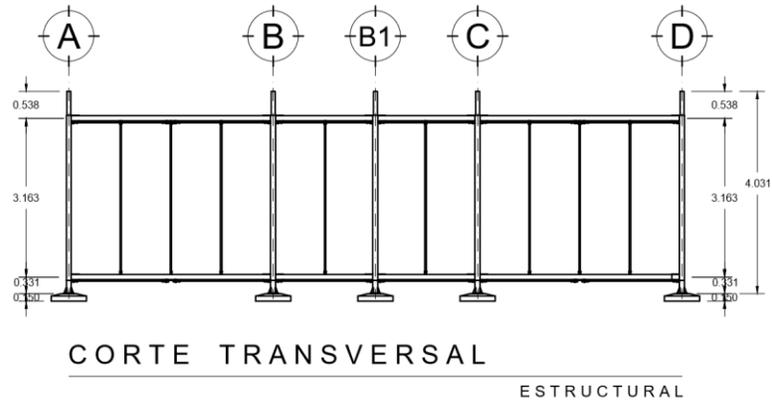
x 4.075 mts, medidas entre ejes, del mismo modo, las alturas interiores de 3.16 mts, esto entre ejes de elementos estructurales horizontales soportantes, reduciendo así, de acuerdo a las necesidades y variantes posibles, hasta 20 cms para dar paso a instalaciones de cualquier tipo, esto utilizando un falso plafón para techos interiores, consideración que no se desarrolla en esta ocasión, por no ser tema de la presente investigación.



**FIGURA 62.** Isométrico sistema estructural (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).

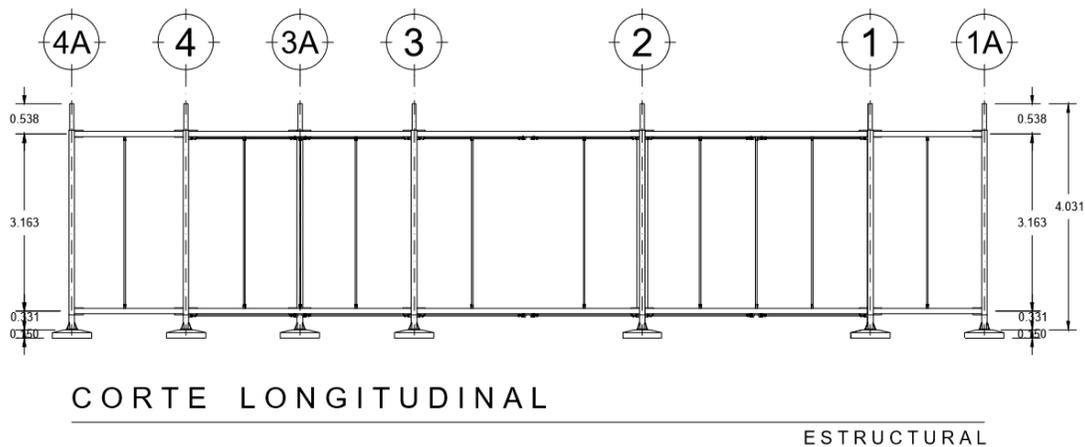
La conjugación de elementos estructurales tales como PTR 4x4" para postes, PTR 3x4" para traveses de liga perimetral, PTR 2x4" para soporte de firmes y losas exteriores, PTR de 1x2" para anclaje y rigidización de los muros y donde se empotrarán los paneles modulares que conformarán las diversas variantes de muro posible que se proponen, estos elementos a su vez están anclados de forma versátil por medio de orejas de 1" Ø para tornillos galvanizado de 3/4" Ø.

En todos los casos, la estructura no recibe perforación alguna para fijar los paneles del muro modular y las piezas accesorias que se disponen para ajustar los muros necesarios para conformar la vivienda.



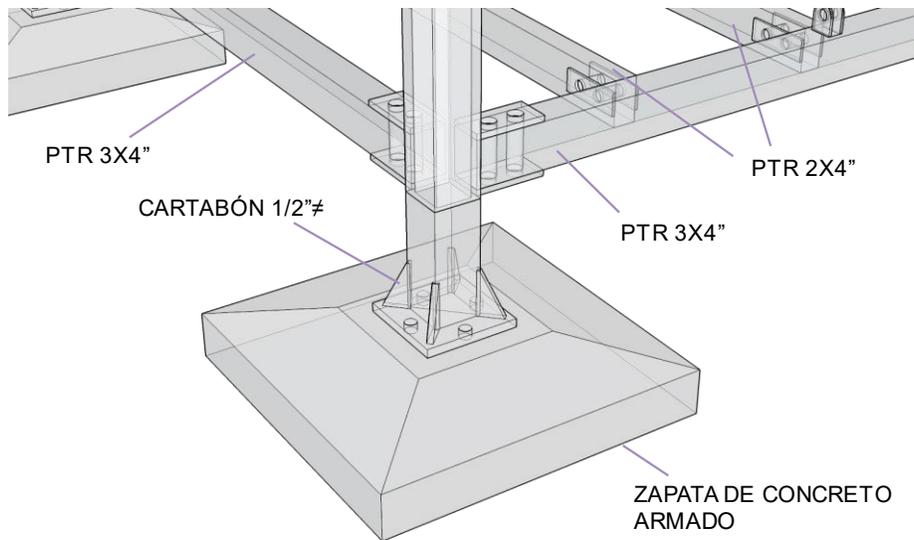
**FIGURA 63.** Corte transversal del modelo estructural (Dibujo hecho en AutoCAD 2016, por el autor).

La altura al interior de la vivienda es de 3.16 mts, entre ejes de estructura horizontal, considerando que puede existir un falso plafón para ocultar la estructura de acero y las instalaciones que sean necesarias.



**FIGURA 64.** Corte longitudinal del modelo estructural (Dibujo hecho en AutoCAD 2016, por el autor).

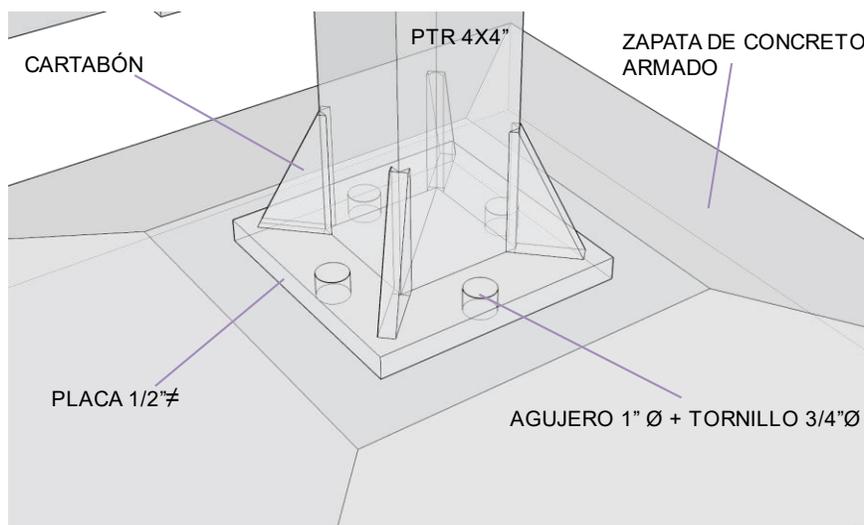
### 3.5.2. ANÁLISIS DE ENSAMBLE Y DESMONTAJE



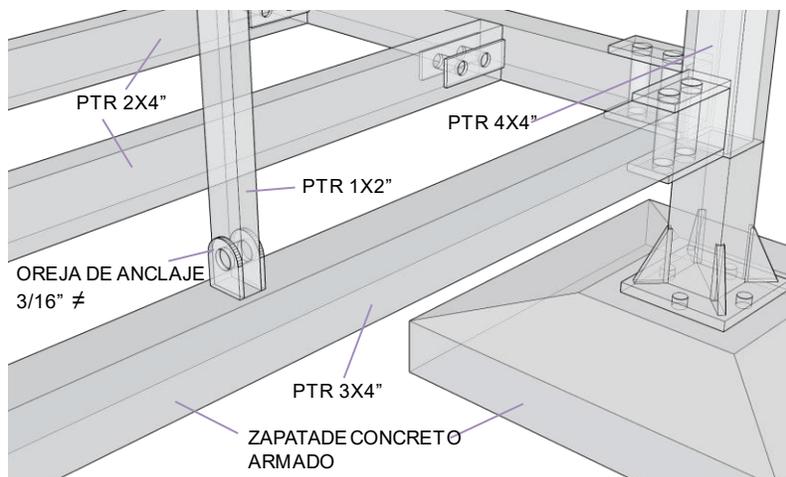
**FIGURA 65.** Zapata aislada, inserción de PTR (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).

La base de concreto armado que soporta la carga directa del PTR de 4x4", que se utiliza como elemento principal de soporte, descansa en una placa de 1/2" ≠, anclado a la zapata aislada por medio de 4 tornillos galvanizados de 1" Ø x 3" Long., mismos que son fijados a la estructura previo a colar el concreto.

Los tornillos son fijados a la placa de acero por medio de tuercas de seguridad sin rondana, de igual forma utilizando un cementante nivelador tipo Grout, ya que la nivelación de las zapatas aisladas puede sufrir asentamiento y se deberá ser considerar este factor previo al izaje de estos elementos de soporte vertical.



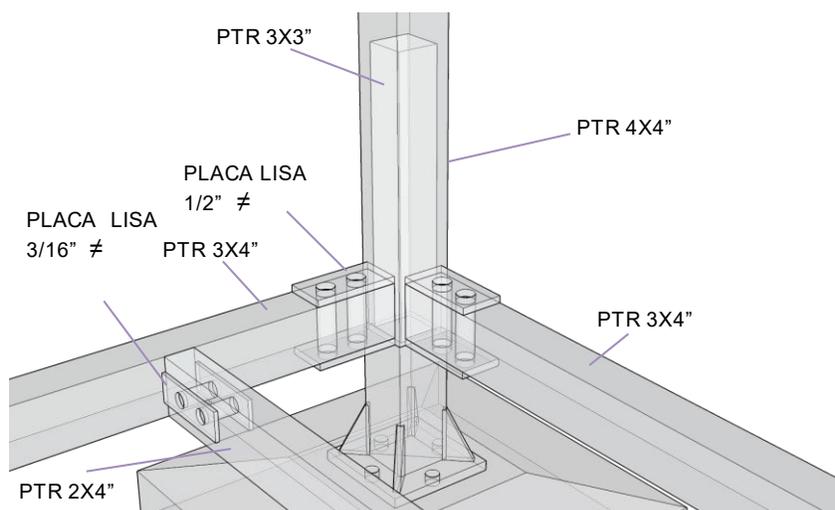
**FIGURA 66.** Anclaje en zapata aislada (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).



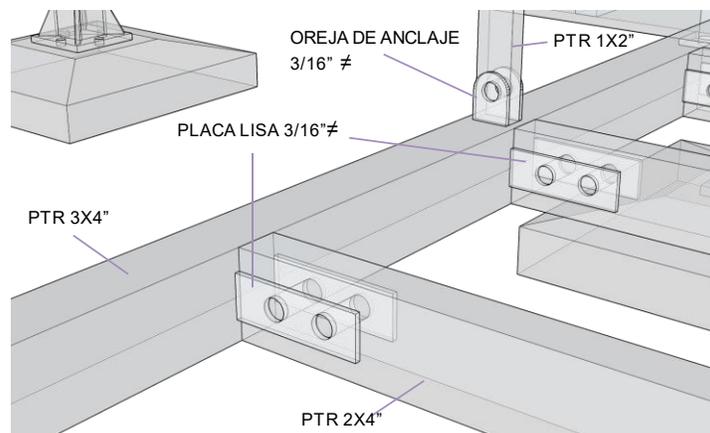
**FIGURA 67.** Desplante de estructura (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).

Los PTR de 3x4" son recibidos y anclados a los PTR de 4x4" por medio de 02 placas lisas con 02 agujeros c/u de 1" Ø; estos sirven de soporte horizontal y para maniobrar de mejor forma al momento de atornillarse, y sólo es necesario dos perforaciones para fijar estos elementos perimetrales que soportan gran parte de la carga y esfuerzos de los módulos de la vivienda.

En esta imagen se puede apreciar el anclaje oculto dentro del PTR de 4x4" para continuar con el izaje de los postes, este soporte es hecho de PTR de 3x3" y tiene una longitud interior de 50 cms la cual se introduce sin soldadura o ajuste adicional, ya que el interior del PTR de 4x4" tiene la dimensión exterior del PTR de 3x3" y se ajusta perfectamente.



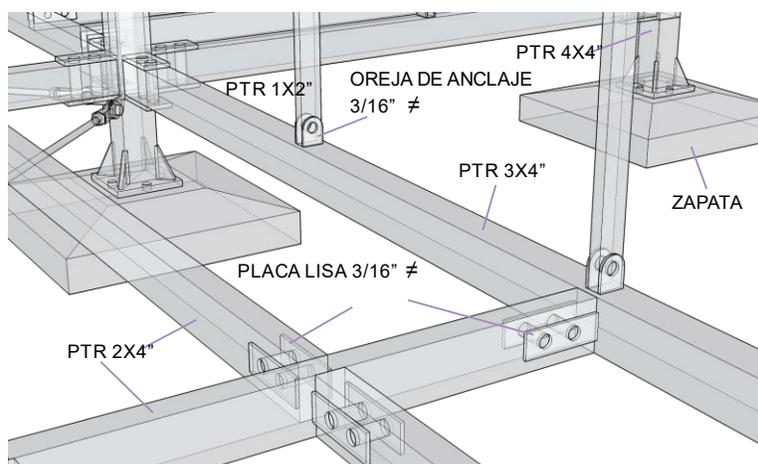
**FIGURA 68.** Unión nodal entre tubulares (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).



**FIGURA 69.** Uniones entre elementos del firme (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).

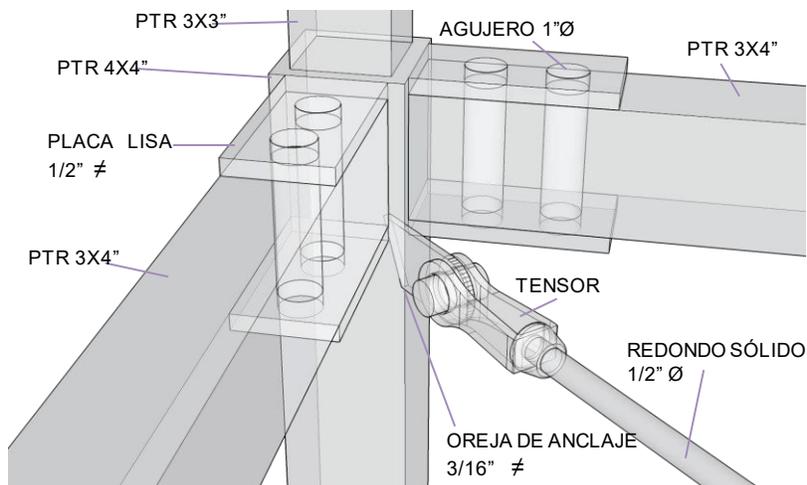
Se emplea una placa lisa de acero 3/16" ≠ de ambos lados donde remata perpendicularmente el PTR de 2x4", siendo este un elemento que recibe el peso del mobiliario y de las actividades interiores de la vivienda, fijándose por medio de dos tornillos galvanizados de 3/4" Ø. La placa lisa es fijada con soldadura 7010 al PTR de 3x4", por lo que es un elemento permanente, destinado a recibir los largueros de 2x4" que conforma la estructura de soporte del firme y se repite en el caso de la losa de cubierta de la vivienda.

Los PTR de 1x2" son utilizados como soporte vertical intermedio y permiten rigidizar el muro tanto para evitar deformaciones como para recibir los vanos de puertas y ventanas, siendo que, en algunos casos, será necesario retirarlos para dar paso a los vanos necesarios para puertas y ventanas. Estos PTR de 1x2", son fijados a los PTR de 3x4" por medio de orejas de anclaje de 3/16" ≠ con un tornillo galvanizado de 3/4" Ø.



**FIGURA 70.** Habilitado firme (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).

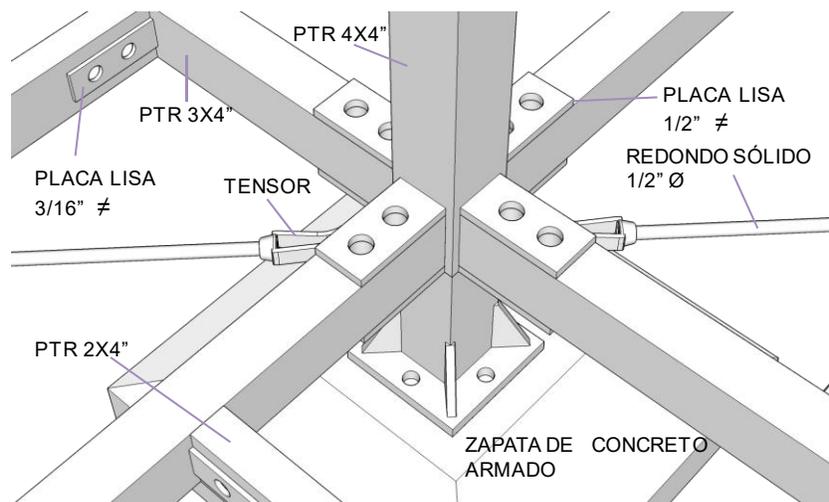




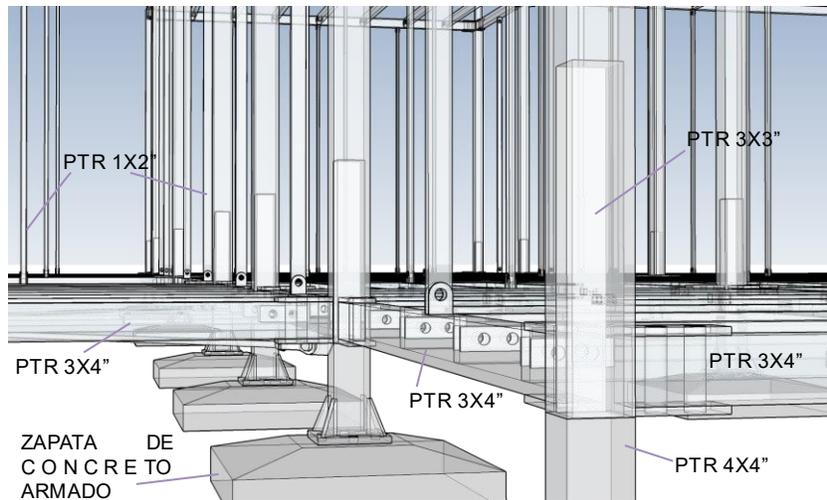
**FIGURA 71.** Tensor esquinero (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).

El nodo esquinero y en los demás casos donde existen conexiones entre PTR de 4x4" y los largueros PTR 3x4", son recibidos por medio de placas lisas de 1/2"≠, estas con dos agujeros de 1" Ø para recibir dos tornillos galvanizados de 3/4" Ø con una tuerca de presión c/u. Debajo del nodo, se ubica la oreja de anclaje de los tensores que evitarán la deformación del marco rígido compuesto por los largueros PTR de 3x4", siendo esta posición necesaria para generar el espacio que permita a los soportes PTR 2x4" que reciben la carga pasiva y activa al interior de la vivienda.

Una vez emplazado el cimiento, se considera una altura de 60 cms al lecho bajo de la estructura de soporte del firme, esto para destinar la parte baja de la construcción para el paso de instalaciones de cualquier tipo.



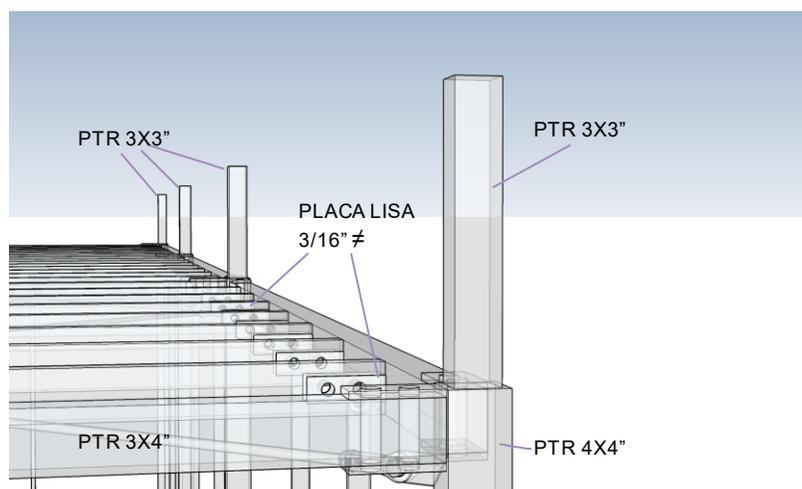
**FIGURA 72.** Unión entre tubulares (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).



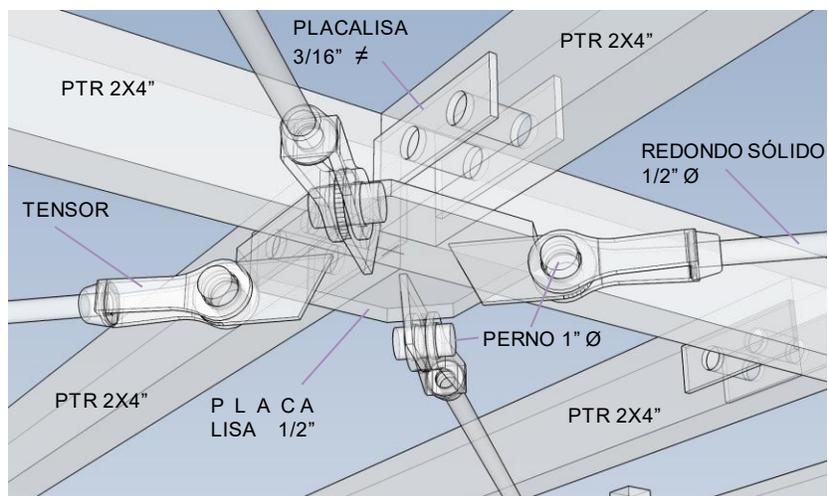
**FIGURA 73.** Interacción de elementos del firme (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).

Para interconectar los soportes largueros PTR 3x4" a los soportes verticales PTR 4x4", se utilizan 02 placas lisas de 1/2"≠ que sobrepasan el nivel superior de todos los soportes en conjunto, sin embargo al encontrarse en los ejes de la estructura, estos serán cubiertos por los paneles prefabricados del muro modular, no así las placas lisas de 3/16"≠, ya que estas corresponden a las caras laterales de los PTR de 2x4", fijadas para recibir al centro del elemento, teniendo del mismo modo, dos agujeros para soportarlos contribuyendo a sistematizar el anclaje entre cada elemento estructural.

En el extremo de cada soporte vertical PTR 4x4", existe una sección de 50 cms de traslape de PTR de 3x3" cuya función será insertar dentro del soporte vertical que continúe con la edificación de ser necesario.



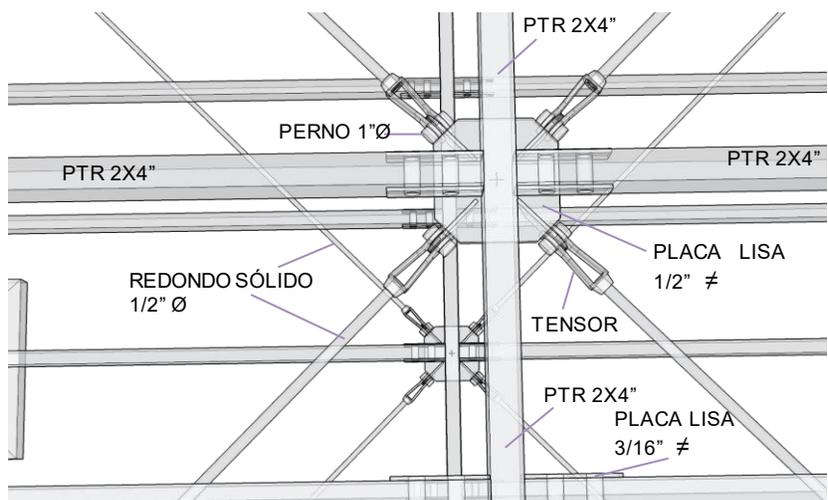
**FIGURA 74.** Crecimiento del sistema (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).



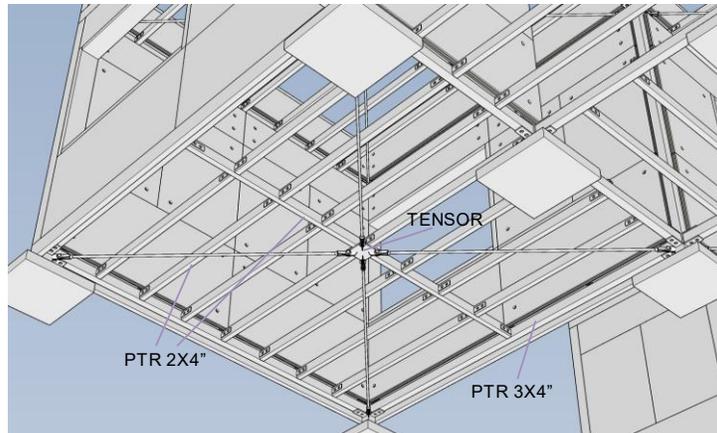
**FIGURA 75.** Soporte intermedio de firme (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).

De acuerdo al esfuerzo que se presenta en las secciones propuestas por la modulación de los espacios, siendo este resultado de la conjugación de elementos estructurales, se presenta la unión de dos PTR de 2x4" precisamente al centro de dichos espacios comprendidos por la dimensión de 4.075 x 4.075 mts, por lo que es necesario utilizar una placa lisa de 1/2"≠, a la que se adosan con soldadura 7010, 04 placas lisas de 3/16"≠ con un agujero de 1" Ø para soporte de los tensores que serán necesarios para ejercer un esfuerzo positivo y contrarrestar el esfuerzo mayor en el punto central de la estructura de soporte del firme o la losa de cubierta, según sea el caso.

Se utilizan redondos sólidos de 1/2" Ø con extremos roscables para ajuste de la distancia necesaria para generar la tensión en la placa central de empuje.



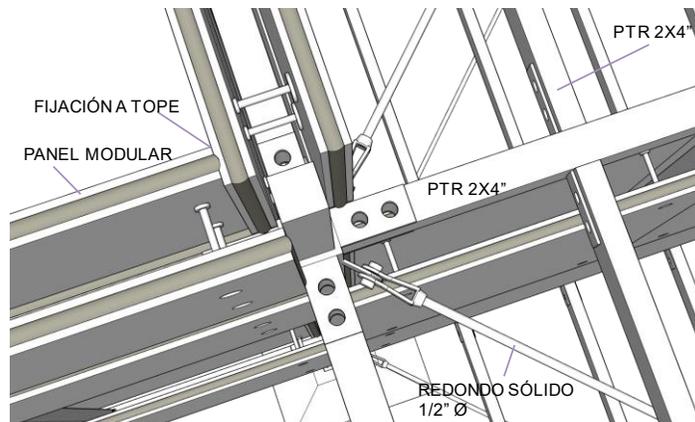
**FIGURA 76.** Soporte intermedio de cubierta (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).



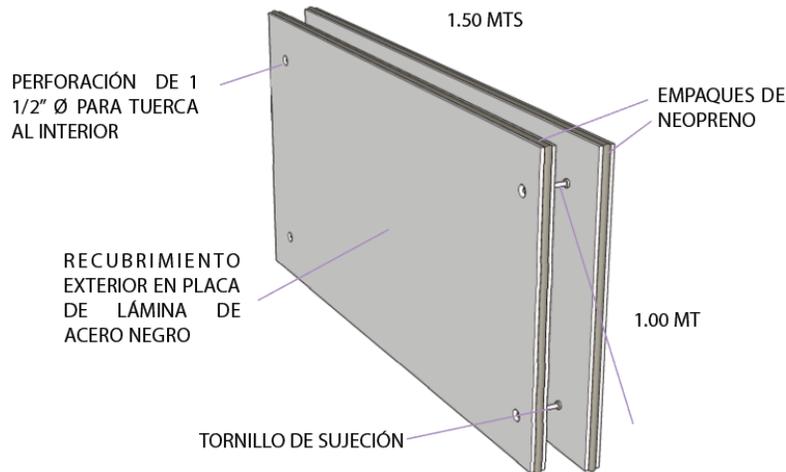
**FIGURA 77.** Sistema de tensión central (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).

El posicionamiento del soporte central, coincide con la unión entre PTR de 2x4” ubicado precisamente al centro del espacio generado por la modulación y es fijado a los extremos por medio de una placa 3/16”  $\neq$ , misma que está soldada al PTR de 4x4” por medio de soldadura 7010. Para ajustar la tensión del redondo sólido con extremos roscables, se utiliza un tensor que recibe la punta roscada del redondo sólido y lo ajusta hasta obligarlo a tensarse y mantenerse a nivel en las dos puntas, para esto es necesario apoyar en el centro la placa para mantener dicho nivel, y retirar el apoyo al término de la fijación del sistema de suspensión.

En todas las ubicaciones de los tensores, estos no presentan obstrucción con la estructura de soporte de los firmes y las losas, según sea el caso, esto debido a que la parte superior de la placa de anclaje, no sobrepasa el nivel bajo de la estructura de soporte y no interfiere con la proyección de los muros modulares.



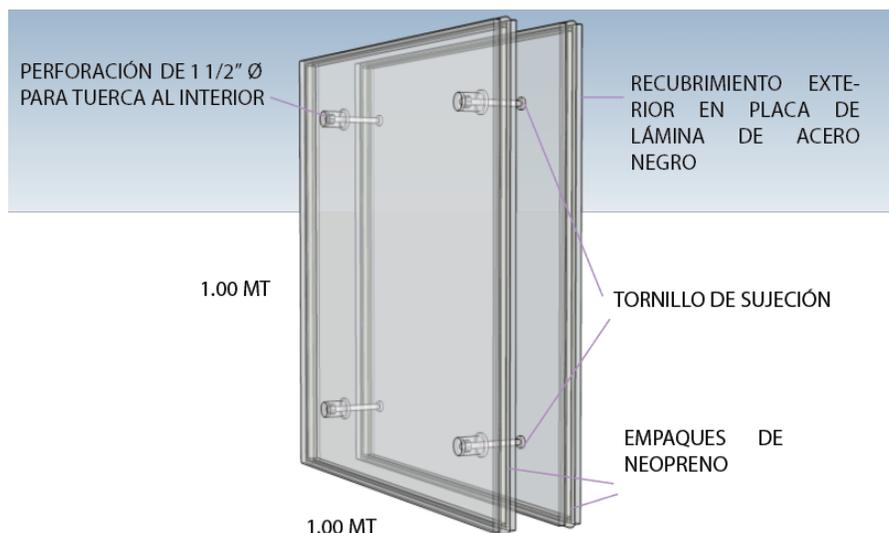
**FIGURA 78.** Arriostramientos en esquinas (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).



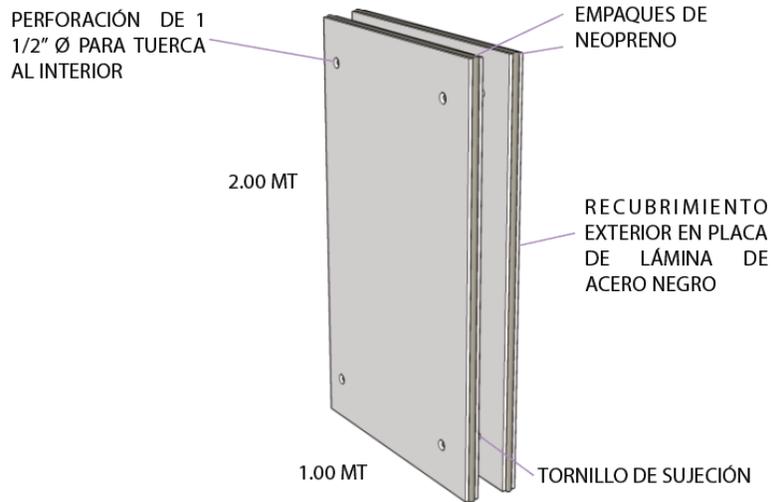
**FIGURA 79.** Panel 1.5 x 1.0 mts (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).

De acuerdo a la propuesta de modularidad de los paneles, se obtienen 04 planos en medidas básicas que permiten su manejo de forma sencilla y que condiciona su colocación sistematizando el uso de los mismo por medio de esquemas prácticos y de fácil comprensión, siendo estos paneles de las siguientes medidas: 1.00 x 1.00 m, 1.00 x 1.50 m, 1.00 x 2.00 m y 2.00 x 0.50 m.

Esta modulación permite diseñar el tipo de muro deseado, tomando en cuenta su función, ya que se pueden emplear variantes como: muro liso, muro con puerta, muro con ventana, muro con puerta y ventana, así como, muros con múltiples variables y posibilidades de utilización.



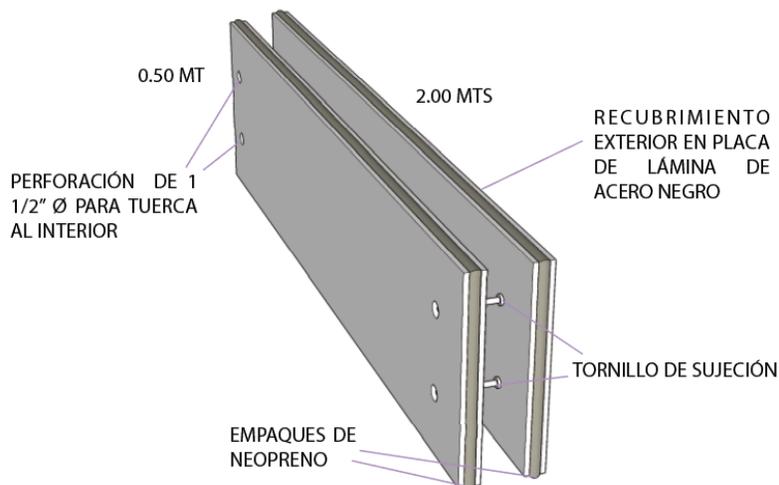
**FIGURA 80.** Panel 1.0 x 1.0 mts (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).



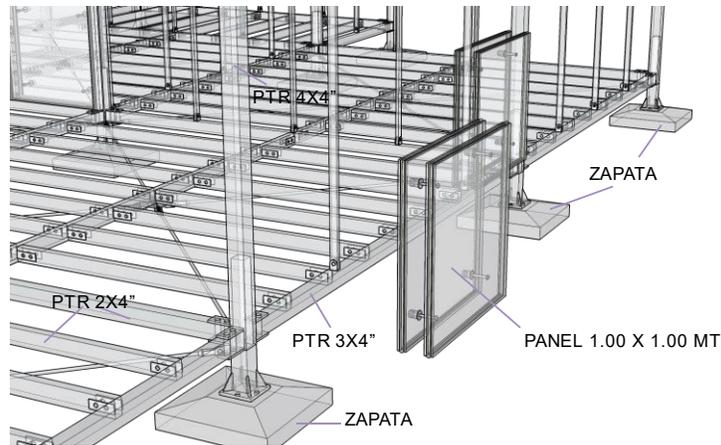
**FIGURA 81.** Panel 1.0 x 2.0 mts (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).

El principio de colocación de los paneles es considerar al exterior la dimensión propuesta y que está regida por medidas no fraccionadas, esto es, medidas fácilmente detectables y que permiten una adecuada modularidad, ya que existe de esta forma, una amplia gama de variables para dar soluciones diversas, mismas que se presentan cuando se necesita dar forma y utilidad a un muro en una edificación.

En relación a las dimensiones interiores de los paneles, estos pueden sufrir variaciones debido al traslape que se presenta entre ellos al momento de fijarlos a la estructura, por lo que se presentan también esas variantes, que son fácilmente detectables y manejables.



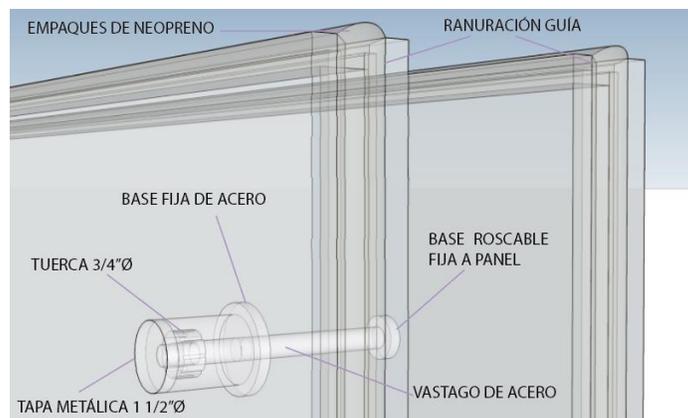
**FIGURA 82.** Panel 0.5 x 2.0 mts (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).



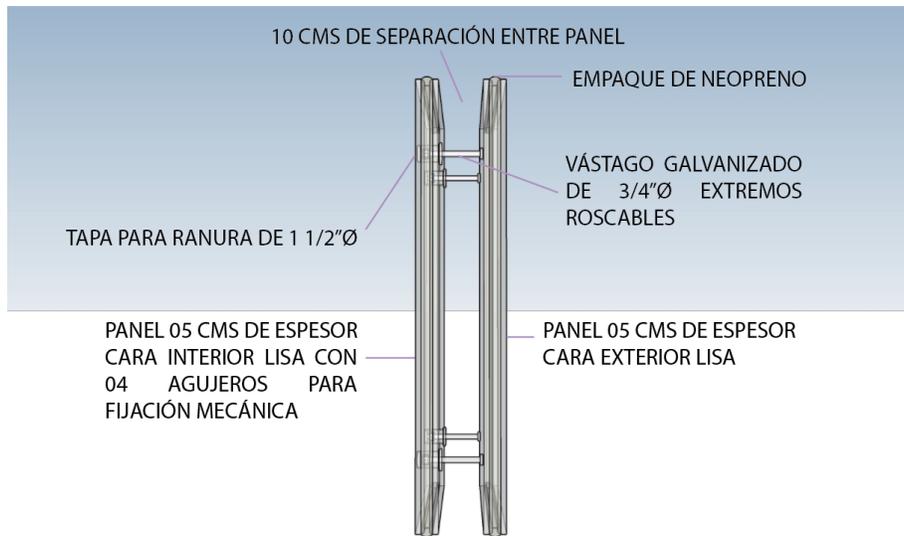
**FIGURA 83.** Inserción de paneles en estructura (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).

Cada panel está compuesto por dos hojas individuales que se fijan entre sí por medio de un mecanismo que utiliza tornillos, rondanas y elementos de acero fijados a ambas hojas para asegurar el anclaje entre ambos, todo esto con un sistema roscado de fijación, mismo que se ejecuta desde el interior de los espacios generados como resultado de la utilización del sistema modular, siendo de esta forma, debido a que se evita la manipulación del sistema al exterior de la edificación. Para disimular este mecanismo, se proponen tapas de 1 1/2" Ø, del mismo material que la superficie de la hoja interior de cada panel utilizado.

La composición de cada hoja es con base en lámina de acero negro cal 14 ara recibir acabado a pintura de esmalte a exterior y un cuerpo interior de poliuretano de baja densidad que permite un aislamiento térmico y acústico adecuado, utilizando por último lámina galvanizada cal 16 en la cara interior que genera el vacío entre ambos.



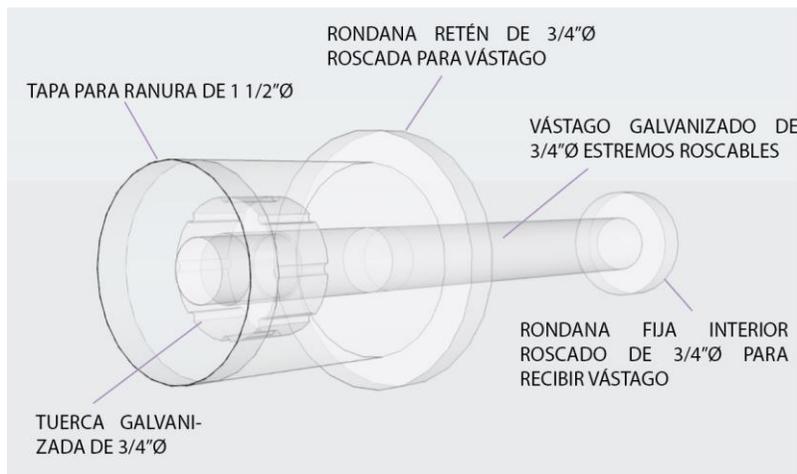
**FIGURA 84.** Atornillamiento de paneles (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).



**FIGURA 85.** Canal interior de paneles (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).

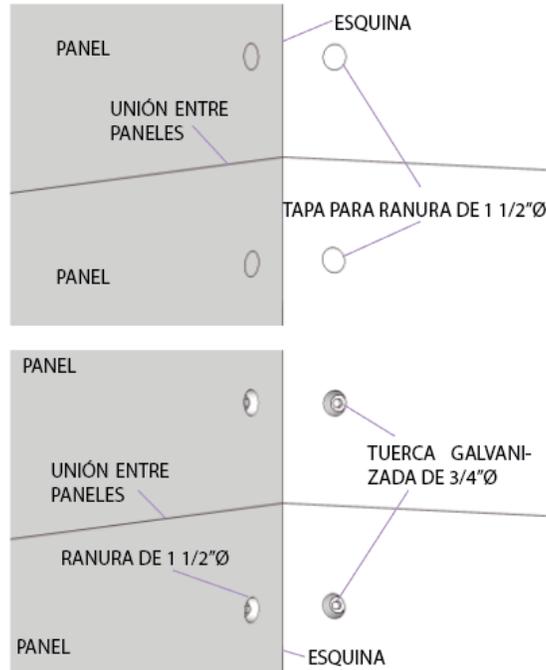
En cuanto al panel que se encuentra al interior, este presenta las mismas características a manera inversa del colocado al exterior, sólo con la variante de presentar la perforación para apriete del tornillo de fijación del sistema a la estructura base de soporte general.

En ambos paneles, se existen rondanas de reten y recepción del vástago de 3/4" Ø con extremos roscables para fijarse en la cara interior del panel interno y por medio del retén, gobernar el espacio interior entre las caras internas de los paneles para dimensionar de forma adecuada de acuerdo a la estructura base que es de 4" de separación a eje de muros.



**FIGURA 86.** Sistema de suspensión (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).





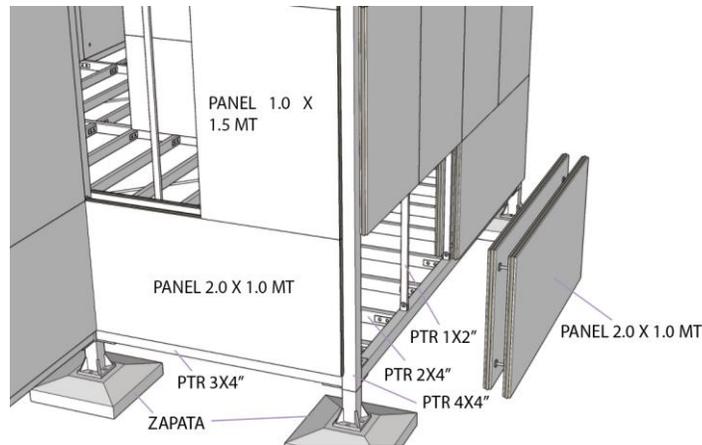
**FIGURA 87.** Tapa de tornillo en panel (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).

Las uniones entre paneles al interior son a “hueso”, término utilizado para indicar que no existe separación de elementos en su junta y que se consideran imposible el paso de luz o de aire a través de la unión entre ambos.

Para generar un sello perfecto y evitar el paso de aire y luz a través de la unión entre paneles, se utiliza un empaque de neopreno de alta densidad en el perímetro del canto de cada panel, sujetado a presión debido a que, cada panel cuenta con un sistema de canalización que permite que el empaque sea guiado por el canal de fijación y no se desprenda de este, por lo que no es necesario aplicar ningún tipo de pegamento o aglutinante para su instalación. Este empaque, a su vez, permite evitar los puentes térmicos y sella perfectamente ante la exposición de ruidos externos.

Las uniones en las esquinas, de acuerdo a la geometría y composición de los paneles internos, es a “hueso” y no genera socavaciones o protuberancias en la línea que se dibuja en su unión.

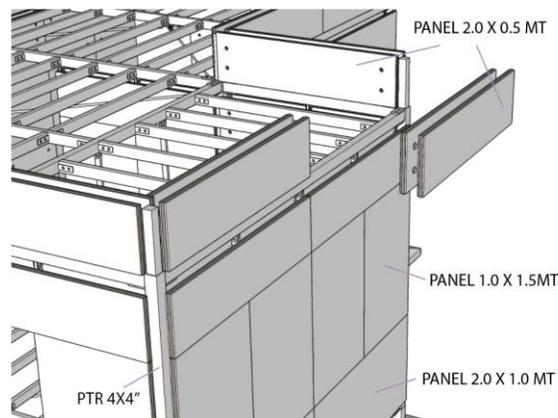
Como resultado de la implementación del sistema de anclaje y fijación de cada panel, tanto al interior como al exterior, no es necesario implementar ningún tipo de sellador de silicón y de tipo cementante, ya que el traslape y las uniones son perfectas.



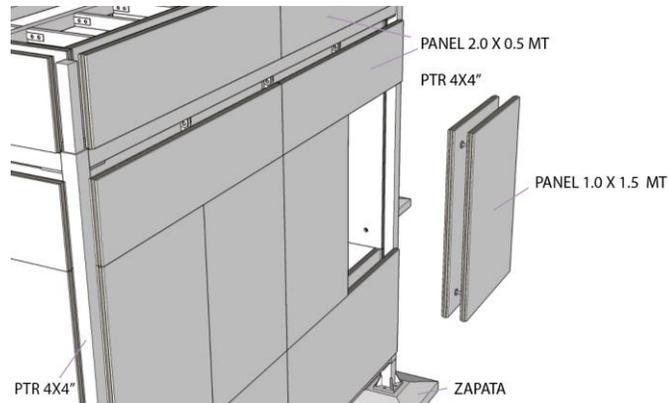
**FIGURA 88.** Colocación de paneles (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).

Una vez seleccionada la modularidad del muro deseado, la forma de colocación de cada módulo consiste en ubicar el panel interior dentro de la estructura base de soporte, donde los PTR de 1x2" permanecerán al interior del espacio que el módulo genera, pero considerando que la medida de separación entre cada panel es de 4", de acuerdo a la distribución de los ejes y la posición de los PTR de 4x4" que rigen la estabilidad de la edificación.

Por este motivo, para su colocación, es necesario que una persona se coloque al interior y otra al exterior, siendo la persona del interior, quien atornille y fije finalmente el módulo, utilizando los retenedores que se colocan sobre los PTR de 3x4" perimetrales, para descansar los paneles y nivelar su posición. Una vez completado el procedimiento de colocación de un módulo terminado, se procede a ensamblar el siguiente según el diseño de muro previo.



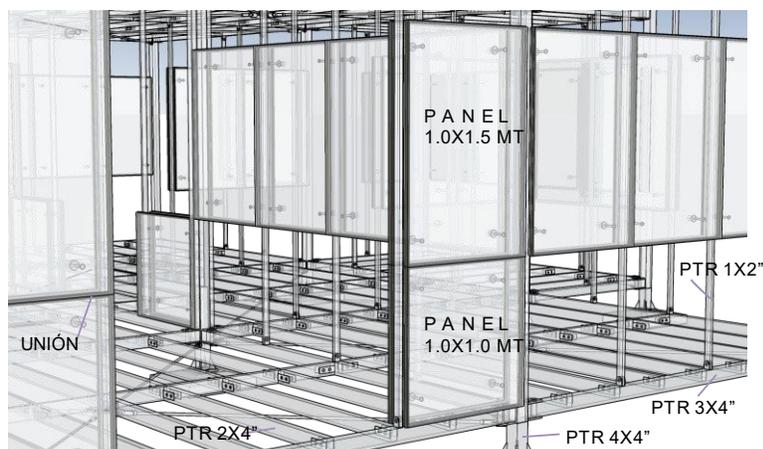
**FIGURA 89.** Habilitado de pretiles (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).



**FIGURA 90.** Habilitado de muros lisos (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).

La forma de inicia a colocar los módulos, es precisamente desde las esquinas, debido a que, la distancia entre caras interiores de paneles, está diseñada para considerar el grosor a eje del PTR de 4x4", utilizando este para el apriete definitivo considerando 1" de traslape para asegurar dicho apriete y fijación, por lo que el siguiente módulo a colocar dependerá de la adecuada colocación del inicial, habiendo cumplido con este requerimiento técnico, quedando el PTR de 4x4" totalmente integrado al interior del muro, pero no cubierto en su totalidad, por lo que se procederá a colocar una elemento accesorio denominado "esquinero", que cumple con las mismas características de fabricación de cada panel, esto para poder embonar a la perfección y cumplir con el aislamiento de los PTR de 4x4" a la intemperie.

Al existir PTR de 1x2" que se encuentren en medio de los vanos deseados para puertas y ventanas, se procederá a no incluirlos.



**FIGURA 91.** Vanos y circulaciones (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).

### 3.5.3. FUNCIONALIDAD ENTRE LAS PARTES

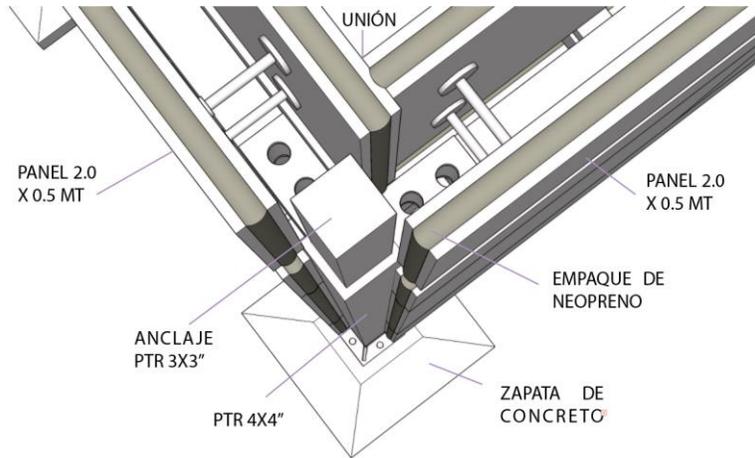
En el sistema modular, es importante generar opciones de ensamblaje tanto al exterior como al interior, aunque las dimensiones reales de los paneles son de tipo exacto, considerando medidas simples, al interior no es así. Esto debido a que, cuando se presentan los paneles de forma esquinada y en forma perpendicular, es necesario reducir sus dimensiones para dar paso a los paneles que se apoyarán sobre el PTR de 4 x 4", esto para poder ejercer la fuerza de apriete necesario para su fijación.

Se establecen reducción de dimensiones a los paneles que se encuentran al interior, siendo estas determinadas al momento del diseño de partes, contemplado en el apartado de diseño de muros, utilizando el modelo base de 3 x 4 mts, donde la retícula permitirá definir los paneles necesarios al interior, sin embargo, será trabajo de análisis por parte del proveedor, el definir que paneles deben ser afectados para generar el despiece necesario y la clasificación de los mismos antes de seleccionar y hacer entrega de los mismos, ya que estos deberán tener una ubicación dentro del proyecto así como, una denominación para ser fácilmente identificados al momento de su instalación.

De igual forma se indica la forma como el empaque de neopreno hace su función al permanecer en unión al panel interior y así generar las condiciones de sello perfecto ante el posible paso de aire o humedad, evitando los puentes térmicos.

El posicionamiento guía de colocación de los paneles con el PTR de 4 x 4" es considerando un margen de 1" para que el área de contacto permita que exista una separación homogénea en cualquier tramo de muro, tanto interior como exterior.

Al momento de la presentación y ubicación de un panel exterior, se guía con el panel interior a razón de hace coincidir el agujero donde se coloca el vástago que se fija atornillando un extremo a la base soldada a la cara interior del panel que se encuentra dentro del espacio y a su vez, el vástago es recibido por el agujero fijo hecho con una rondana fija que permite el paso del vástago, pero no el recorrido del panel exterior, gobernando así, la separación necesaria de 4" para el apriete final y conformación del muro por secciones.

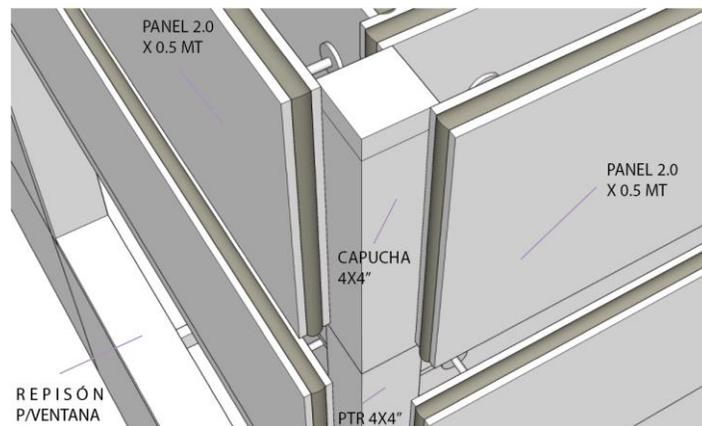


**FIGURA 92.** Traslapes y cortes interiores (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).

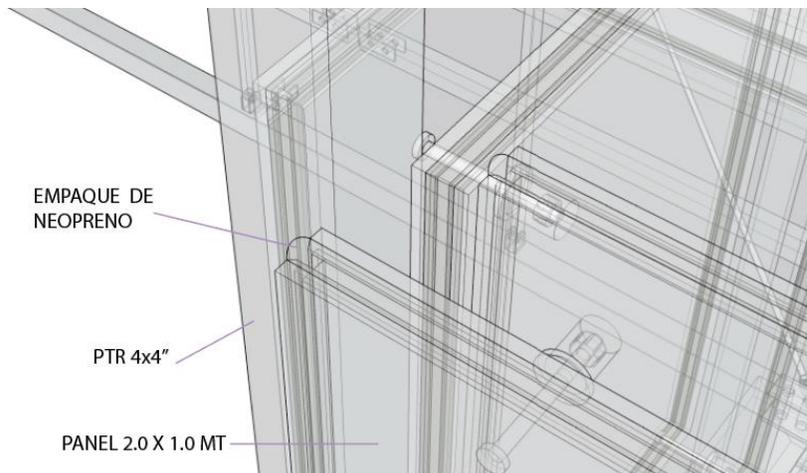
Debido a que se propone la continuidad de la edificación de forma vertical, utilizando para ello el traslape de 50 cms e insertando un PTR de 3x3” dentro de un PTR de 4x4” para lograr tal objetivo, resulta ser necesario utilizar un elemento estructural denominado “capucha”, esto para, permitir a las caras interiores de los paneles, poder ser sujetadas y presionadas contra el PTR de 4x4” en un margen de 1” como se muestra a en la imagen inferior, cumpliendo así con el apoyo total de ambos paneles.

Es estos casos interviene únicamente los paneles de 2.00 x 0.50 mts, siendo estos los que se utilizan en mayor medida para habilitar los pretiles de azotea.

Cuando la edificación continúa de forma vertical, estos elementos estructurales no son utilizados, debido a que el PTR de 4x4” es insertado de una sola pieza en el PTR de 3x3”, de acuerdo al diseño estructural propuesto.

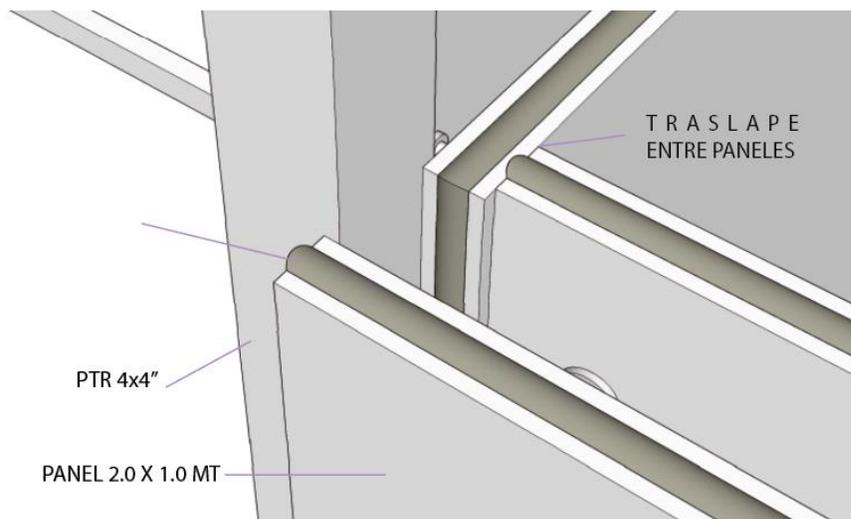


**FIGURA 93.** Definición de márgenes y esquinas (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).

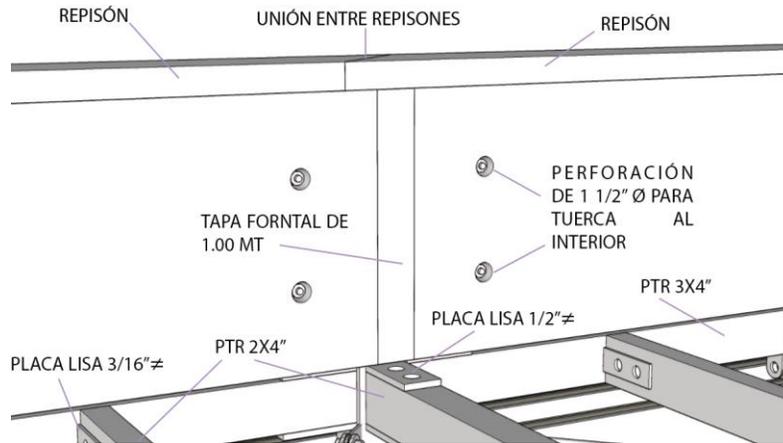


**FIGURA 94.** Uniones entre piezas (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).

El traslape entre paneles corresponde a la selección de módulos necesarios para satisfacer los requerimientos de diseño de los muros elegidos. En los casos de las esquinas, el panel interior sufre una disminución en su dimensión en sentido horizontal, siendo este previamente requerido resultado del diseño elegido para el muro en el caso de que se trate. Sin embargo, la distancia y eje de las preparaciones y las perforaciones que componen el sistema de anclaje con base en tornillos de sujeción, no presenta variación alguna, ya que coincide en todos los casos, independientemente de las variantes que surgen únicamente en los paneles internos, ya que los paneles externos son siempre de las mismas medidas propuestas y no es necesario generar variantes en su dimensionamiento para su disposición e instalación.



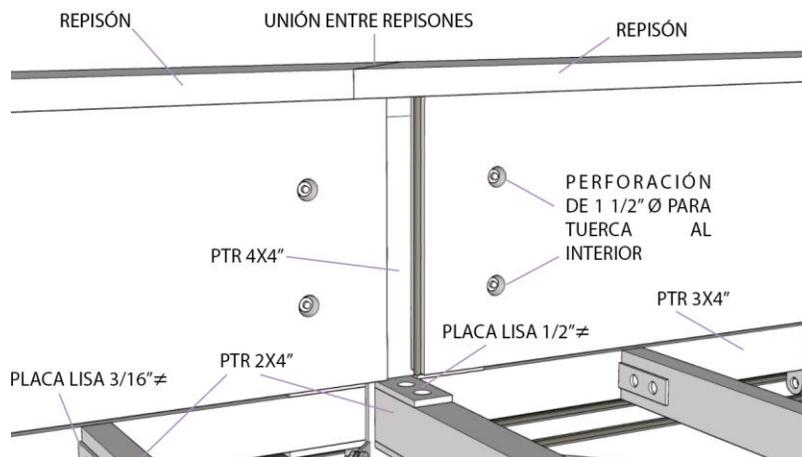
**FIGURA 95.** Uniones interiores, neopreno (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).



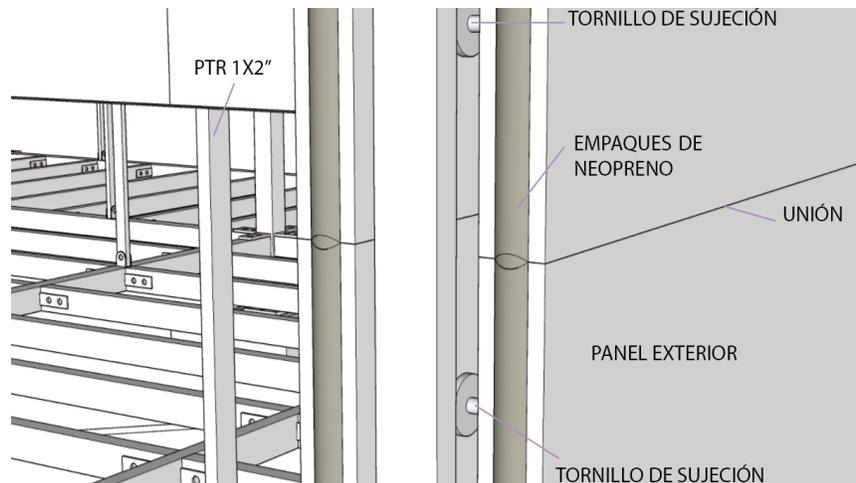
**FIGURA 96.** Unión de pretilas (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).

Para habilitar los pretilas, se contempla mayormente los paneles de 2.00 x 0.50 mts, no siendo excluidos los otros modelos, debido a que, se pueden destinar espacios de azotea para utilizarlos como terraza y será más conveniente seleccionar e instalar paneles con dimensiones verticales mayores a 0.50 mts, sin embargo, existe un elemento accesorio denominado “tapa frontal”, que permite el sellado perfecto de la interrupción de los paneles cuando estos habilitan un muro continuo y queda el PTR de 4x4” expuesto, siendo de esta forma que se cumpla con sellar perfectamente la estructura base.

Para “coronar” la parte superior de los paneles que funciona de pretilas de azotea, existe otro elemento accesorio denominado “repisón de azotea”, mismo que cumple con el sello del canto superior de módulo en estos casos, cumpliendo con las mismas propiedades de los elementos accesorios propuestos para todos los casos anteriores.



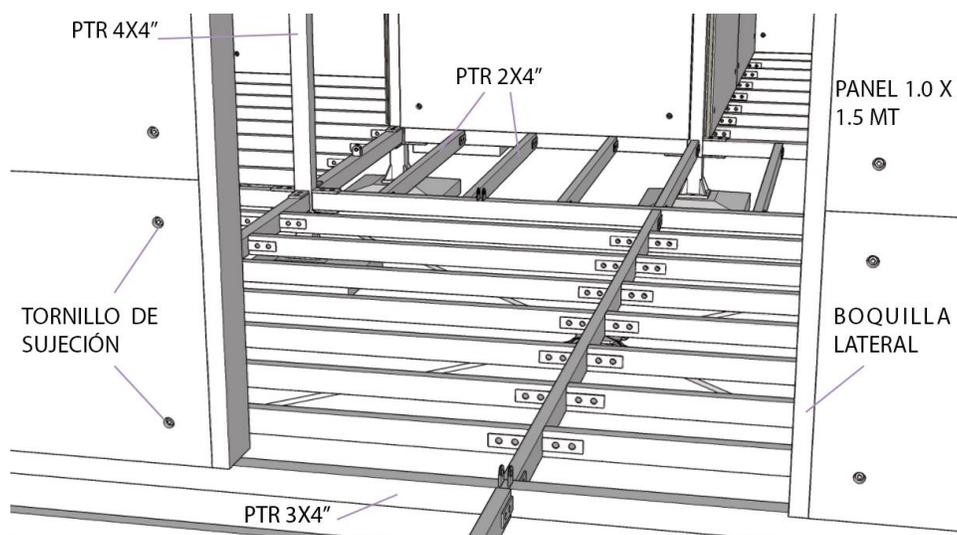
**FIGURA 97.** Tapa frontal en pretil (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).



**FIGURA 98.** Terminaciones en vanos (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).

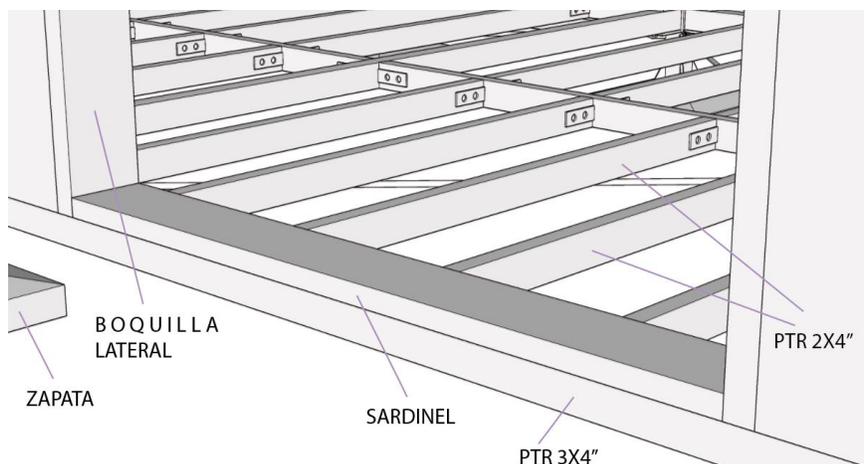
En los vanos que se generan por la generación de pasos entre espacios interiores y en general para definir terminaciones de muro, se utiliza el elemento accesorio denominado “boquilla lateral” que es similar a los utilizados para las ventanas, pero en este caso tiene una dimensión de 2.5 mts de longitud y sirve para sellar perfectamente el término del muro diseñado, anclándose a los dos cantos de los paneles para evitar el paso de aire y permitir definir la dimensión real del muro.

Los PTR de 1x2” están colocados de tal forma que coinciden a eje de forma lateral con la terminación del canto de los módulos, por lo que la boquilla lateral tiene la forma interna de canal para embonar sobre el PTR de 1x2” en su lado más ancho y así poder ocultarlo.



**FIGURA 99.** Boquillas laterales en vanos (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).

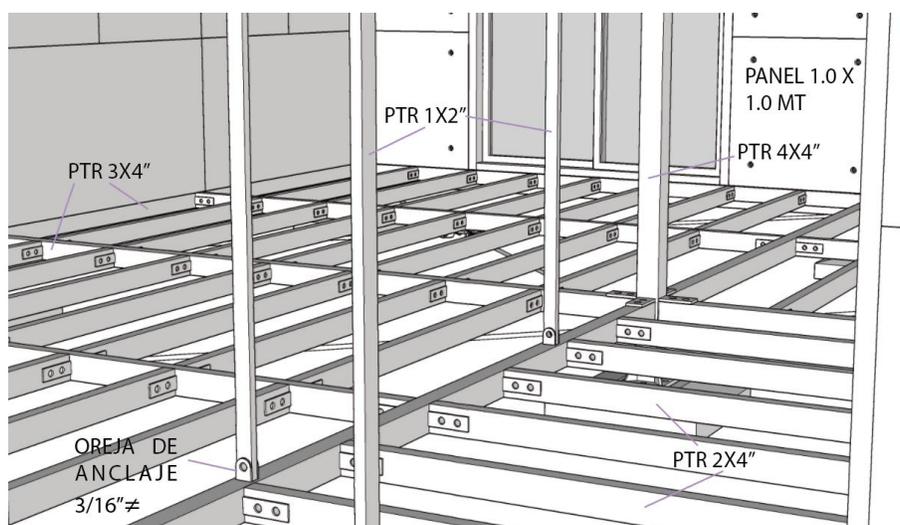




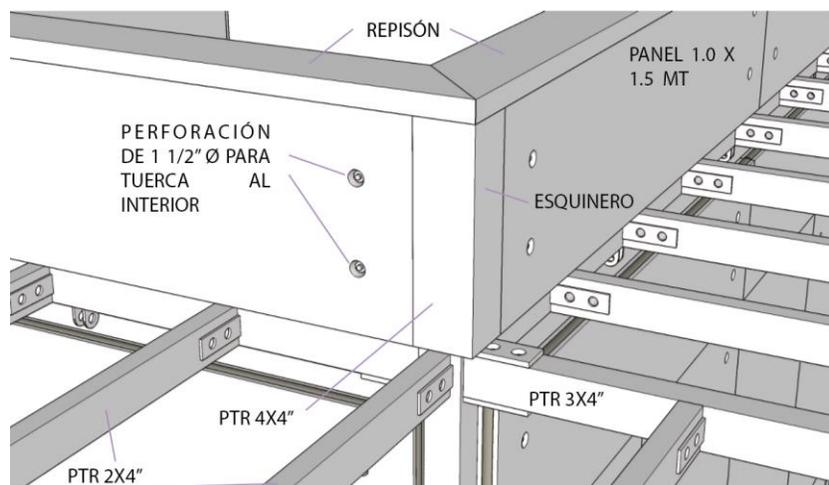
**FIGURA 100.** Conjugación de boquilla y sardinel (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).

Para poder asentar y e instalar de forma adecuada una puerta de acceso principal o secundaria, se utiliza el elemento accesorio denominado “sardinel”, que funciona como remate bajo y recibe el perfil fijo y abatible de la puerta, siendo este elemento sujeto de variable en su ancho y puede presentar un “gotero” de acuerdo al ancho asignado, según sea la necesidad derivada del proyecto arquitectónico.

La estructura interna de la edificación, requiere para la conformación de muros interiores, la utilización de PTR de 1x2” en los ejes sobre los PTR de 3x4” que son fijados por orejas de anclaje de 3/16” ≠, mismos que se pueden retirar cuando existe un vano donde interfiera con la circulación interior.



**FIGURA 101.** Elementos intermedios de muros interiores (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).

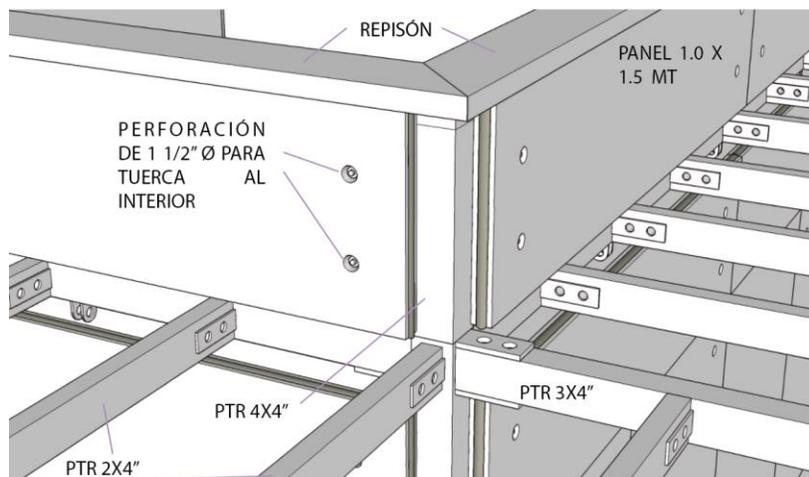


**FIGURA 102.** Tapa de esquinero en azotea (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).

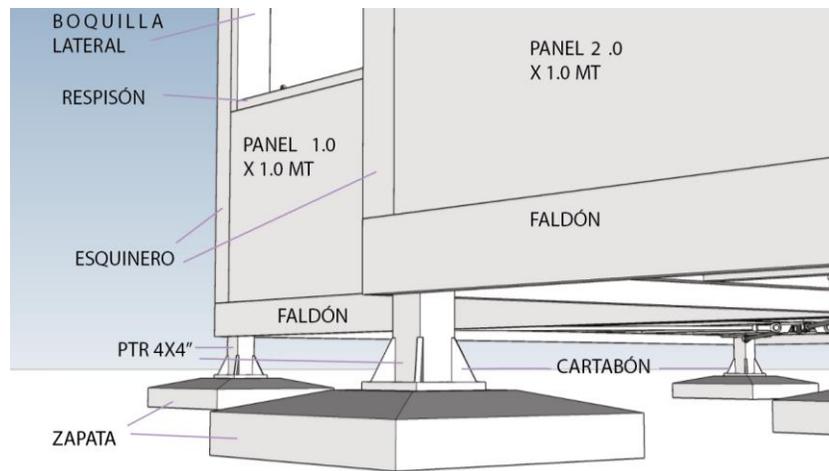
Cuando existen esquinas superiores internas o externas en el perímetro de los pretilas, es necesario considerar el elemento accesorio “esquinero” que permite el sello perfecto del PTR de 4x4”, evitando que este quede expuesto a la intemperie.

El esquinero, así como los paneles quedan suspendidos sobre el nivel que crea la placa lisa de 1/2” ≠ que sostiene los PTR de 3x4”, esto para permitir que las soleras de suspensión puedan colocarse y nivelarse adecuadamente en todo el muro.

En estos casos, el repisón de azotea embona en la parte superior para evitar el paso de aire y agua al interior del espacio que se genera entre los dos paneles, evitando que esta cavidad quede expuesta a la intemperie.



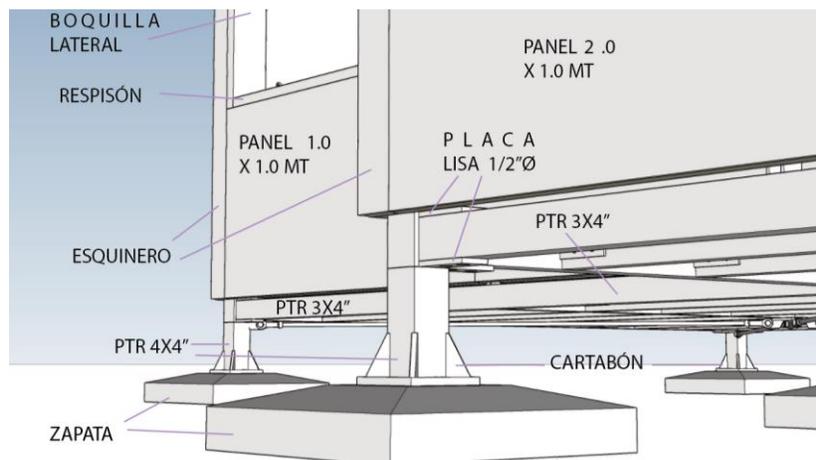
**FIGURA 103.** Terminaciones en pretil azotea (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).



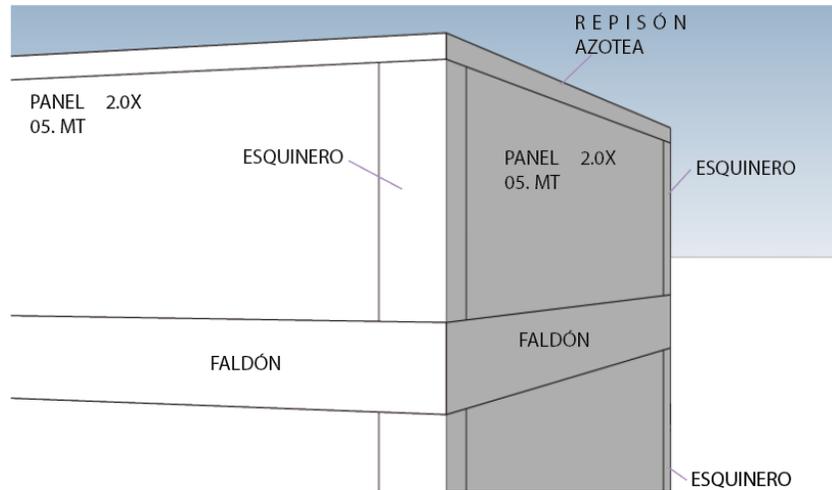
**FIGURA 104.** Faldón de arranque y para soporte (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).

Inicialmente se debe colocar cada módulo considerando  $1/2"$  ≠ por encima del elemento estructural PTR de  $3 \times 4"$  colocando la suspensión de acero para nivelar los módulos, sin embargo, después de haber conformado el muro en su totalidad, queda un espacio expuesto que es el que corresponde al PTR de  $3 \times 4"$ , es donde se utiliza el elemento accesorio denominado "faldón", mismo que permite el sellado perfecto de este elemento estructural.

Para seleccionar el tipo de faldón que se necesite según el caso y la dimensión requerida, este cuenta con un extremo con bisel a  $45^\circ$  para embonar con otro faldón a  $90^\circ$  cuando se trata de esquinas exteriores, siendo en las interiores a tope y en todos los casos, traslapadas entre sí.



**FIGURA 105.** Inicio de colocación de paneles (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).

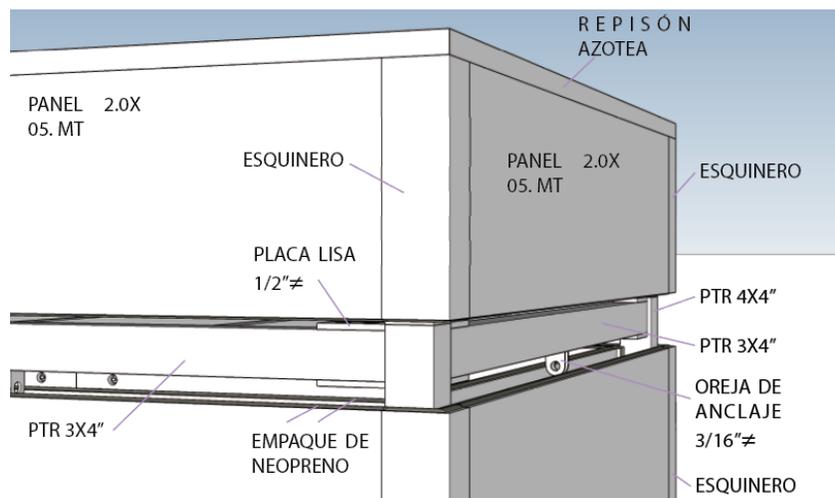


**FIGURA 106.** Faldón superior en azotea (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).

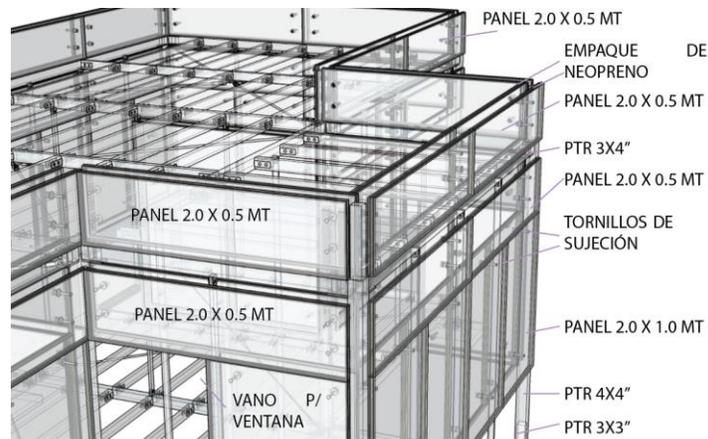
El faldón se utiliza del mismo modo para resguardar e PTR de 3x4# que se presenta en la parte superior de la estructura que sirve como cubierta, y trabaja exactamente igual a su similar colocado en la parte inferior, existiendo para ello, grapas de anclaje que se adhieren al PTR de 3x4" sin afectarlo en su composición por no ser perforantes sino a presión.

Cuando se continúa con la edificación de forma vertical, también es necesario instalar el faldón, ya que este corresponde al nivel del PTR de 3x4" en todos los casos.

Faldón y esquinero, garantizan el sellado perfecto de las terminaciones y traslapes de los módulos ya instalados en la estructura base.



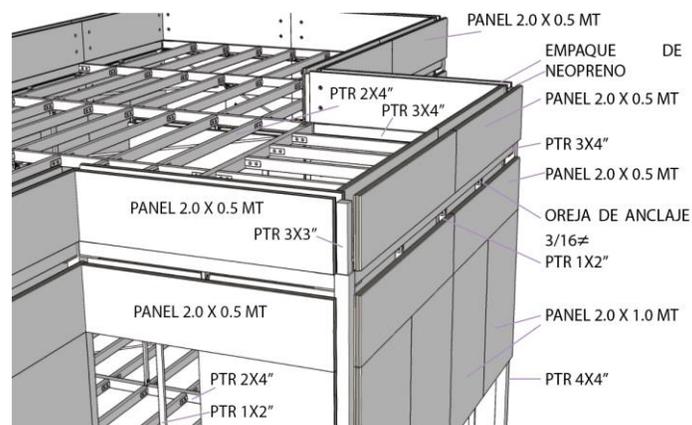
**FIGURA 107.** Elemento de continuidad (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).



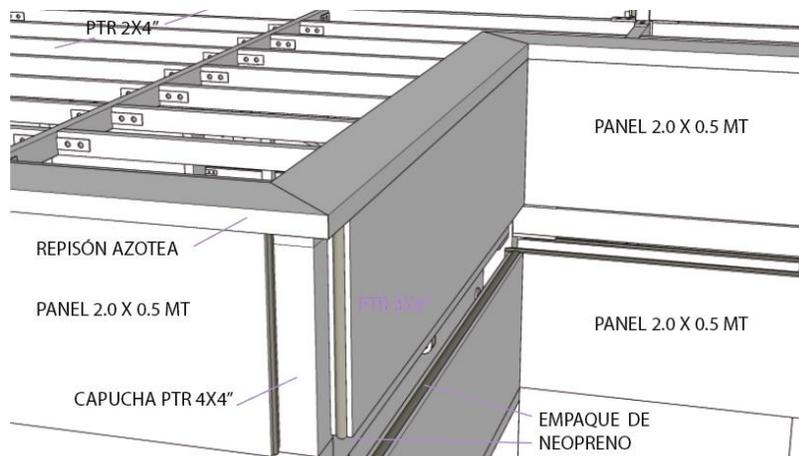
**FIGURA 108.** Conformación de sistema en azotea (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).

En la conformación de los muros modulares se procura establecer composiciones con los cuatro tipos de paneles, verificando sus diversas variantes y determinar la colocación idónea de cada elemento que compone el muro modular, sin embargo, es importante visualizar la utilidad de cada elemento accesorio que complementa la actividad constructiva y da termino a las juntas, esquinas y vanos existentes dentro del diseño arquitectónico de la vivienda.

El sistema depende completamente en su anclaje y conformación de la estructura base fabricada en acero de refuerzo, y siendo que, el elemento principal es el PTR de 4x4" para postes, se considera una separación no menor a 10 cms, quedando un espacio libre entre caras internas de panel que no se utiliza para disponer instalaciones, sin embargo, el apartado de inclusión de sistema eléctrico está contenido en una sección que se presenta más adelante.



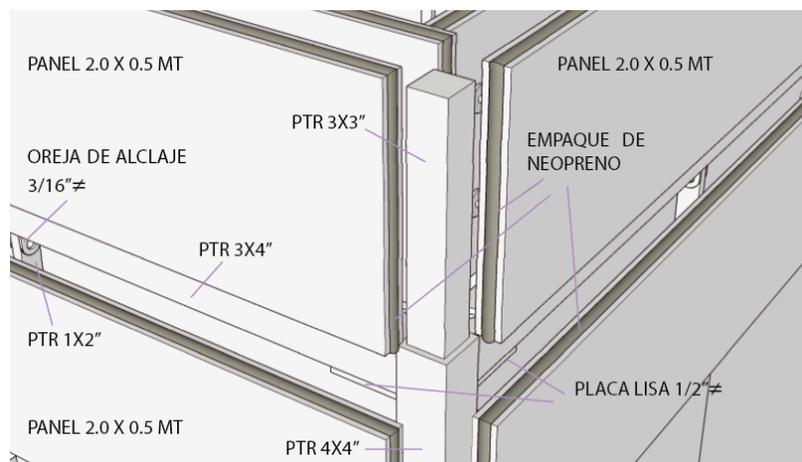
**FIGURA 109.** Conformación de sistema en azotea (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).



**FIGURA 110.** Repisón en azotea (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).

De esta forma, aunque pueda existir un espacio entre las caras interiores de los paneles, la estructura base no permite el paso de las mismas sin afectar su composición, por lo que no se contempla la interrupción de los perfiles de acero horizontales, esto es, lo PTR de 3x4" que corresponden a los ejes de los muros perimetrales y en algunos casos, a los muros interiores de división.

La conformación de los muros depende totalmente del anclaje limpio con la estructura base, sin dañarla, por lo que los elementos de anclaje que permiten la fijación de los elementos accesorios, requieren de abrazaderas que son atornilladas alrededor de los perfiles como PTR de 3x4", mismos que se utilizan para nivelar los primeros módulos inferiores que permiten la continuidad en la colocación de los módulos sucesivos.



**FIGURA 111.** PTR 3 x 3" expansión y continuidad (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).

### 3.5.4. CORRELACIÓN ENTRE VANOS Y MACIZOS

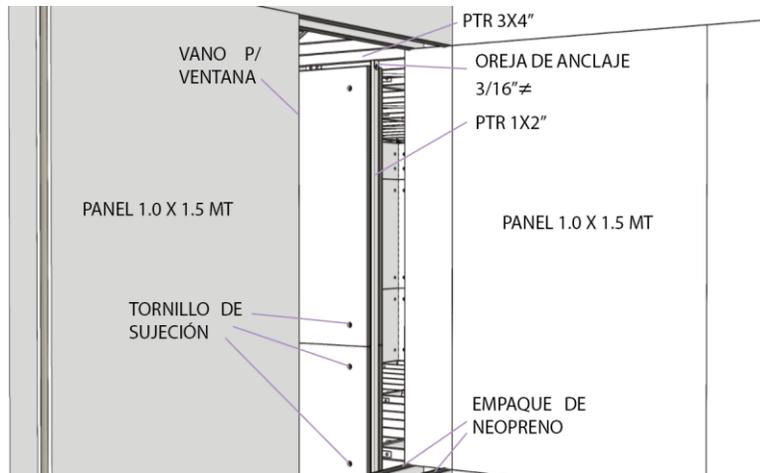
En este apartado, se contemplan las variaciones que se presentan al no incluir en un tramo de muro, un panel, para dar paso a un vano que contendrá una ventana, sin importar las dimensiones establecidas para los tipos de ventanas útiles, siendo estas fabricadas de acuerdo a la modularidad definida previamente, mismas que se encuentran en el apartado de elementos accesorios o complementarios, donde existen ventanas para los espacios menores que pueden contemplar baños o cocinas, así como, pasillos o variantes de ventanas caprichosas, por lo que al definir qué tipo de panel no se instalará, es precisamente ese espacio el requerido para instalar los elementos accesorios tales como, sardinel, repisón, boquillas laterales y dinteles, por lo que con esa combinación de elementos, es posible habilitar adecuadamente cada ventana propuesta.

Del mismo modo se puede asignar espacios con remates de boquilla laterales y sardineles, para dar paso a circulaciones interiores, así como para termino de muros interiores o mochetas, según sea el caso y de acuerdo al proyecto arquitectónico.

De esta forma, los requerimientos de accesorios encaminados a subsanar los ajustes entre fijación y colocación de paneles debido a su dimensionamiento previo, se pueden completar, dando paso a una gran variedad de soluciones que dan un valor agregado a el sistema, permitiendo la versatilidad de espacios y soluciones diversas.

El nivel de detalle de los esquemas utilizados para representar el prototipo digital, permite identificar perfectamente, en qué casos es necesario contemplar el tipo de elemento que corresponde al dimensionamiento deseado, y en qué casos utilizar los tipos de ventanas, puertas o vanos necesarios para habilitar los espacios arquitectónicos al interior de la vivienda. Las dimensiones de las ventanas predefinidas son las siguientes: Ventana de 1.875 de ancho x 1.4 de altura, Ventana de 0.84 de ancho x 1.4 de altura, puerta y/o ventana de 1.875 de ancho x 2.5 mts de altura, estas últimas pueden ser corredizas o abatibles.

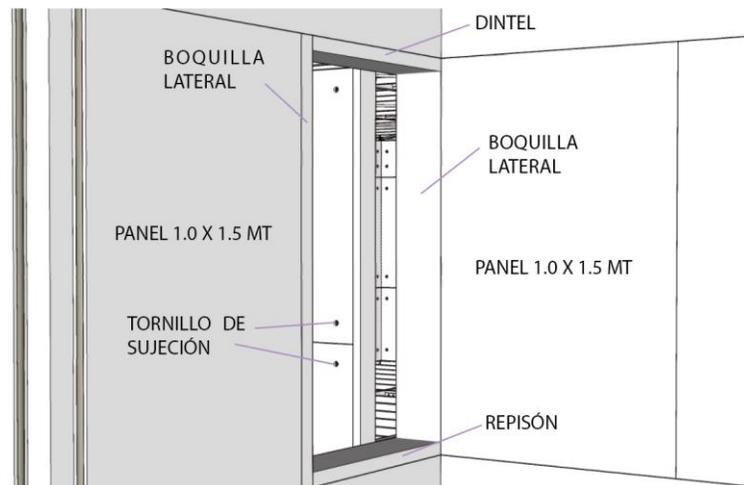
También pueden considerarse ventanas fijas o con formas diversas, respetando las mismas dimensiones base, pero siendo estas acopladas de acuerdo a los esquemas que se presentan en el modelo base de configuración de muros modulares (Véase Pág. 122).



**FIGURA 112.** Vano de ventana menor (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).

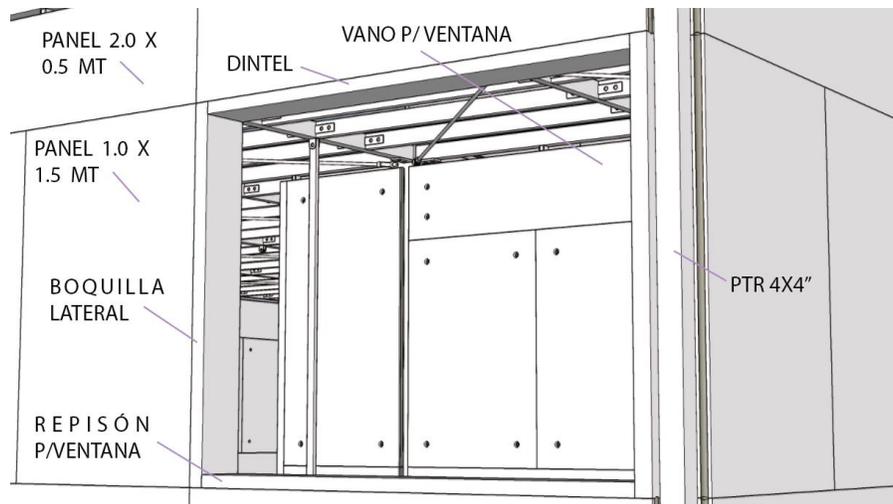
En todos los casos, los paneles exteriores nunca reducen su dimensión, estos se rigen por las medidas sin fraccionar, sin embargo, cuando se traslapan en las esquinas interiores y se pretende destinar un vano para ventana o puerta, se utilizan los elementos accesorios denominados “boquilla lateral, repisón de ventana y dintel”, que permiten delimitar y preparar el espacio para la colocación de los perfiles que conforman los trabajos de vidrio y aluminio y carpintería.

Por lo anterior, el sistema es de fácil comprensión, ya que es posible diseñar de forma sencilla cada sección de muro, inclusive en las terminaciones que se pueden complicar cuando las variantes elegidas dan como resultado dobles a 90° y terminan con empotramientos ventana-muro.



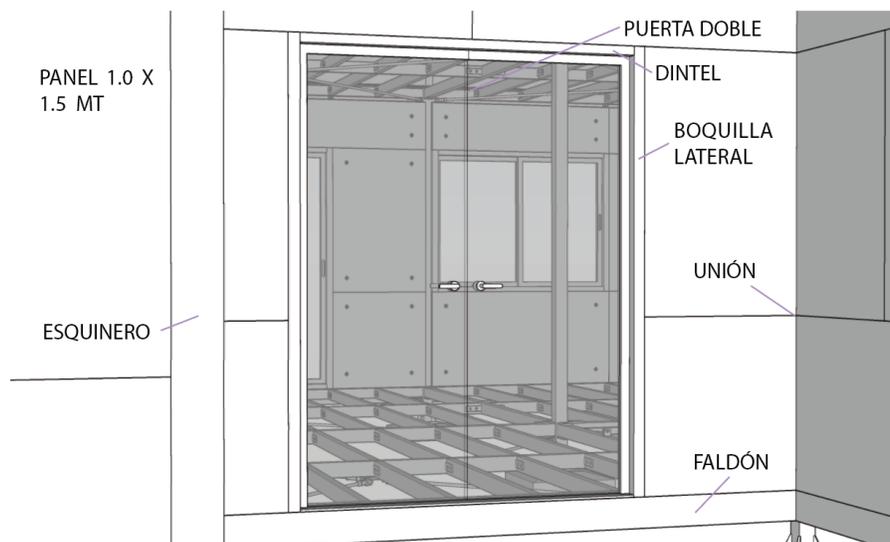
**FIGURA 113.** Boquilla, repisón y dintel (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).



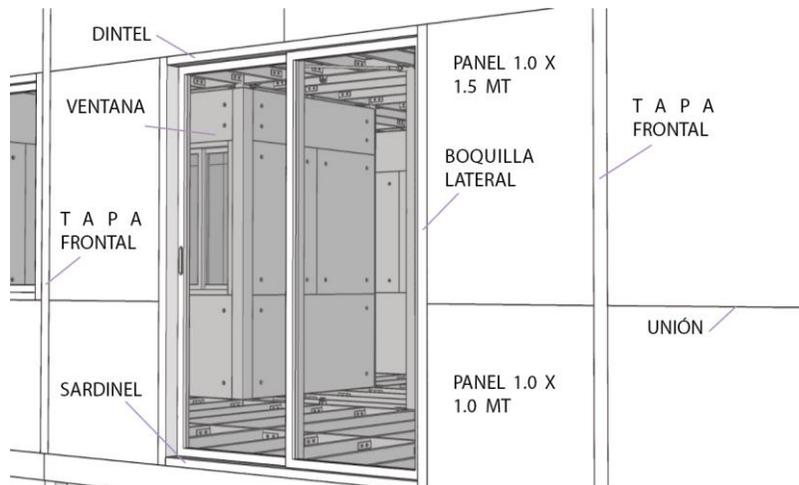


**FIGURA 114.** Ventana mediana (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).

Del mismo modo que en las esquinas, cuando se generan vanos para puertas y ventanas, así como para para interrupción de muros internos, se utilizan elementos accesorios denominados “dintel”, “boquilla lateral” y “sardinel”, para dar forma a las terminaciones exactas que permitan empotrar las puertas y ventanas según sea necesario. De esta forma se da solución a la necesidad de sellado de los cantos generados entre módulos y sirven para recibir la tornillería necesaria para la instalación de puertas y ventanas, siendo elementos accesorios que pueden ser sujetos a recibir también, selladores acrílicos o de silicón para el sellado de ventanas y puertas como tradicionalmente se utiliza en la instalación de perfiles de vidrio y aluminio.



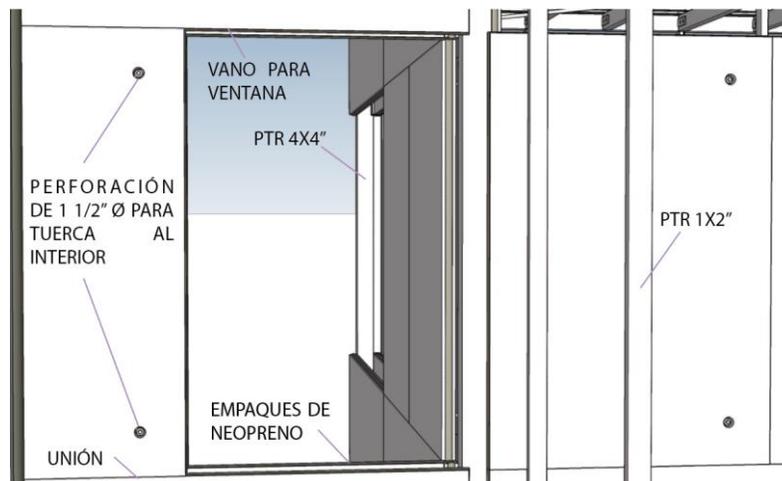
**FIGURA 115.** Puerta doble abatible (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).



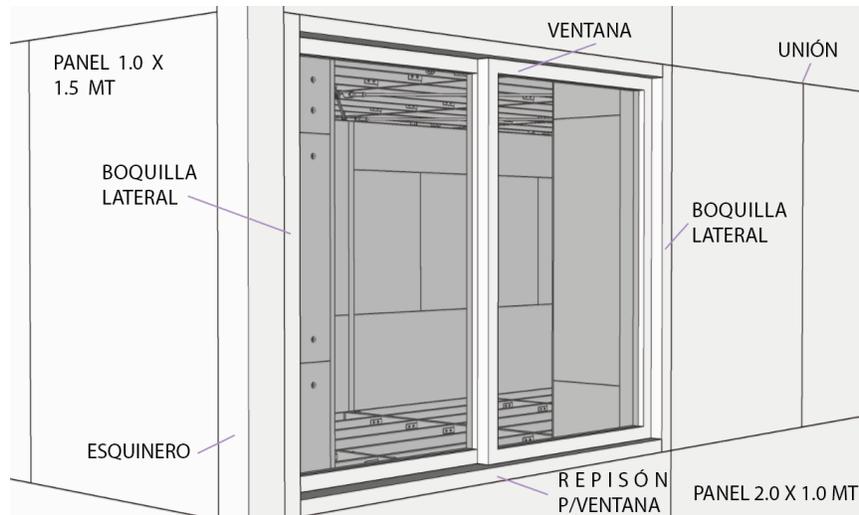
**FIGURA 116.** Ventana a piso corrediza (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).

Al exterior, cuando se elige continuar en un eje un muro largo, existe una interrupción generada por el principio de traslape que considera 1" de la superficie del PTR de 4x4" para inicio de colocación de las secciones de muro, por lo que al colocarlos de esta forma, será necesario utilizar un elemento accesorio denominado "tapa frontal", que permite rellenar el espacio que resulta de la interrupción y sella perfectamente el PTR de 4x4" evitando permanecer expuesto a la intemperie.

Esta tapa frontal, contempla toda la sección vertical del muro exterior, desde la parte superior del "faldón" inferior hasta la parte baja del "faldón" superior, siendo que este elemento accesorio denominado "faldón", permite cubrir la estructura de liga perimetral comprendida por los PTR de 3x4", que existen alrededor de la edificación.



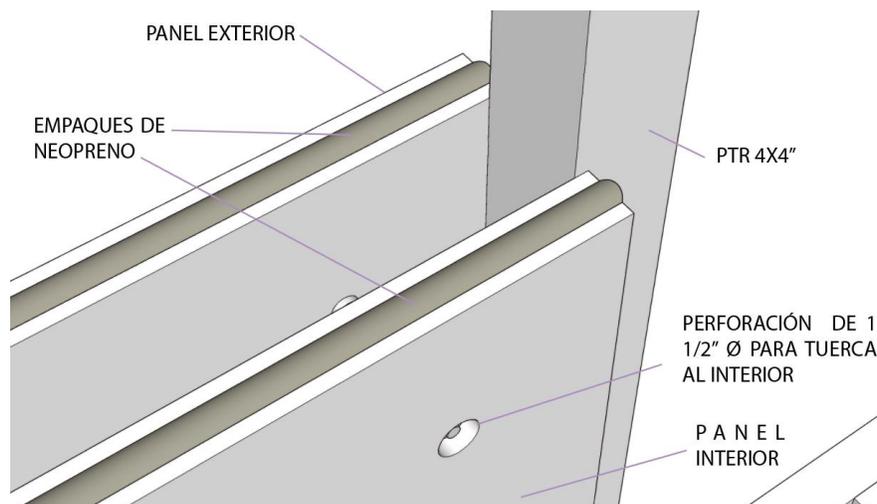
**FIGURA 117.** Vano de ventana en baños (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).



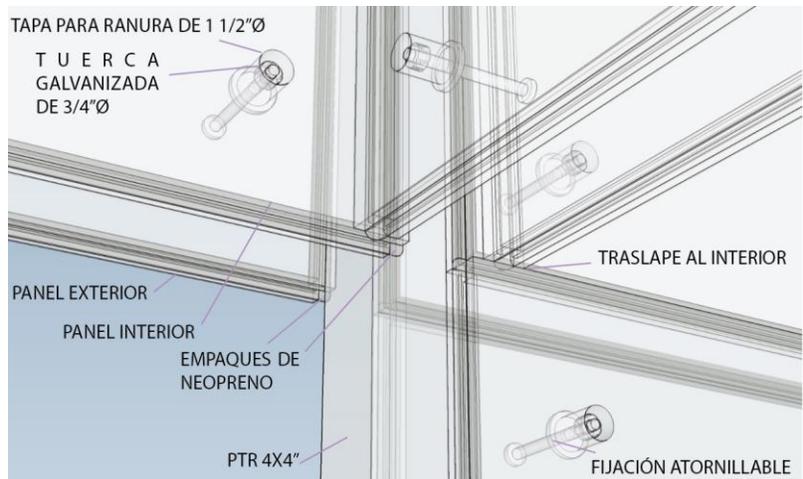
**FIGURA 118.** Ventana mediana en cocina (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).

En el caso de las ventanas, estas estarán sujetas a las dimensiones resultado de la selección y diseño de los módulos de acuerdo a las necesidades de funcionalidad interiores, por lo que se utilizan los elementos accesorios “dintel”, “boquilla lateral”, y “repisón para ventana”, el cual puede presentar una variación tal como gotero, esto cuando se requiera prolongar el ancho de la base del vano de la ventana para colocar algún objeto o como opción de diseño arquitectónico.

Cuando estos elementos arquitectónicos tales como puertas, ventanas y vanos en general se coloquen en las esquinas, deben iniciar considerando el elemento accesorio denominado “esquinero” como nivel vertical de inicio y desplante de estos elementos.



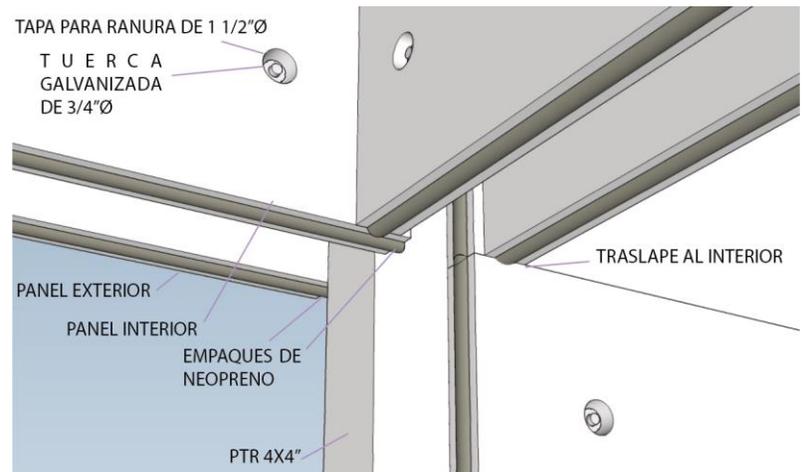
**FIGURA 119.** Traslape y montaje de panel (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).



**FIGURA 120.** Terminaciones entre paneles (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).

Los traslapes de los paneles corresponden a la selección previa de los mismos, por lo que pueden ser en ambos sentidos, inclusive alternados, sin embargo, para conservar un orden adecuado y de fácil entendimiento, se recomienda ubicar el traslape de los paneles en un solo sentido, de esta forma existe un mejor control de los elementos a considerar para conformar las secciones de muros diseñados.

Se debe empezar a colocar cada sección de muro desde la parte baja, para que los paneles que le suceden en orden vertical, puedan ser sostenidos por los iniciales y de esta forma llevar un orden y perfecto ensamblaje. En las uniones de los paneles interiores con las caras se considera la unión a tope del canto del panel interior, permitiendo al empaque de neopreno sellar dicha junta.



**FIGURA 121.** Recortes interiores de paneles (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).

### 3.5.5. COMPORTAMIENTO TÉRMICO

El sistema se ha sometido a la simulación energética que permite el software Archicad versión 20, el cual puede medir las condiciones de temperatura al interior de los espacios generados por medio del software, teniendo a bien, considerar todos los elementos que componen el sistema, así como, la estructura de acero de refuerzo, para poder de esta forma, determinar las condiciones de habitabilidad que ofrece la utilización de los paneles que componen el muro modular.

Para confirmar lo anterior, se presenta la captura, análisis y resultados generados a través del mencionado software, donde se aprecian como la vivienda propuesta cumple con las condiciones de control de temperatura al interior de las habitaciones que se desprenden del diseño arquitectónico, mismo que está emplazado en las coordenadas 20° 35' 27" N, 100° 24' 46" W, considerando una altitud de 1821 mts sobre el nivel del mar, dentro de la demarcación de la ciudad de Santiago de Querétaro, Qro.

De esta forma se presenta la siguiente distribución arquitectónica, que servirá para el análisis y su comportamiento climático.

Los materiales seleccionados para determinar las características térmicas y permitir al programa su análisis son los siguientes:

#### 1.- AL EXTERIOR:

Base de lámina de acero negro con primer de perfil de anclaje y superficie de polímero aplicado con aspersor neumático acabado satinado superficie rugosa.

Las propiedades de la superficie exterior, pueden ser sujetas de cambio, esto debido a su exposición a la radiación solar, sin embargo, se pretende que el material sea seleccionado de acuerdo a el posicionamiento dentro del proyecto arquitectónico, por ello que la superficie base sea semi rugosa para permitir cualquier adaptación posterior, pero no será necesario sellar con cementantes, ya que el neopreno que existe en la terminación de cada panel, permite un adecuado sello ante la humedad y el aire.

## 2.- EN LA CAVIDAD INTERMEDIA:

Panel de fibra de poliuretano y papel reciclado, cortado de acuerdo a las dimensiones del seccionamiento de muros, de acuerdo a proyecto arquitectónico.

Dentro del espacio que resulta de la separación entre paneles, se pueden considerar las instalaciones hidráulicas, mismas que estarán contenidas en esta y se determinarán con base en los diámetros requeridos, teniendo a bien considerar ductos verticales para poder dar cabida a los diámetros mayores, esto para no interrumpir la trayectoria de los perfiles tubulares estructurales, lo que requerirá un aumento en la dimensión de los vástagos de separación en algunos casos o simplemente considerar ductos exclusivos para las bajantes pluviales y de drenaje cuando la vivienda tenga más de un nivel.

## 3.- AL INTERIOR:

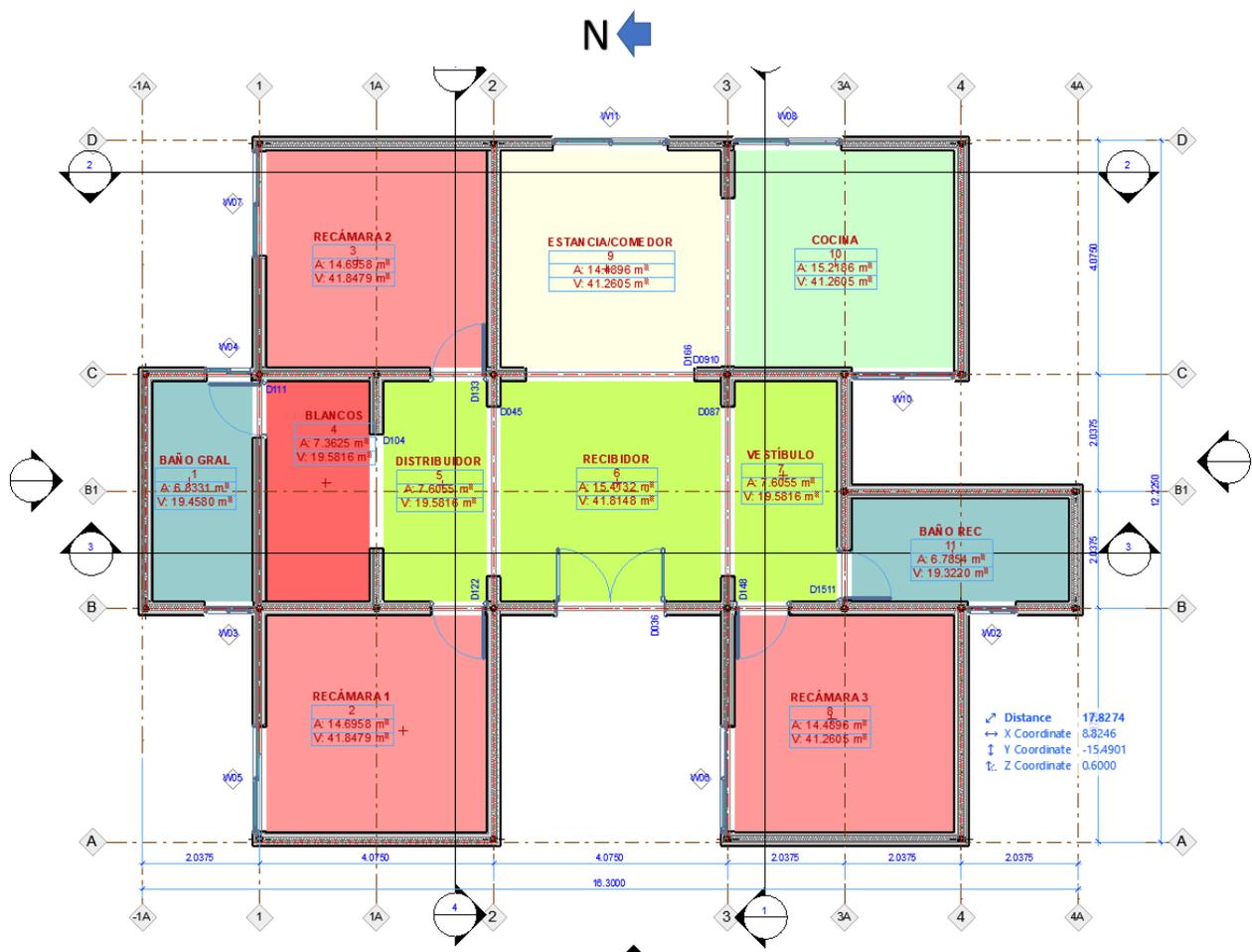
En este caso es posible una amplia gama de acabados finales, teniendo a bien contemplar que el sistema comprende dos paneles idénticos fabricados a espejo, pero que en la cara interior no presenta las características de los paneles interiores, esto por designarse esta superficie a dar calidez y personalizar la apariencia de los espacios interiores, además de contemplar el uso de cerámica y piedras naturales fijadas en los muros.

Es importante resaltar que, el sistema trabaja de igual forma tanto con una suspensión de 60 cms de separación entre el firme del terreno y la capa inferior de los perfiles de acero tubular que comprenden el sistema estructural de soporte interior y que de igual forma puede ser emplazado en un firme previamente habilitado para recibir la estructura de la vivienda, por lo que en el primer caso, se puede inferir que beneficia en zonas más cálidas y en el segundo caso se mantiene una temperatura adecuada al interior para zonas de frío, siendo de esta forma una variable y condición aprovechable según el requerimiento derivado del análisis térmico de la zona.

Se presenta el análisis efectuado en el programa Archicad 20, en función de los materiales elegidos para la simulación térmica de acuerdo a la posición geográfica establecida anteriormente.

Es una vivienda de tres recámaras con dos baños completos, cocina, closet de blancos, dos áreas de vestibulación y una sala- comedor.

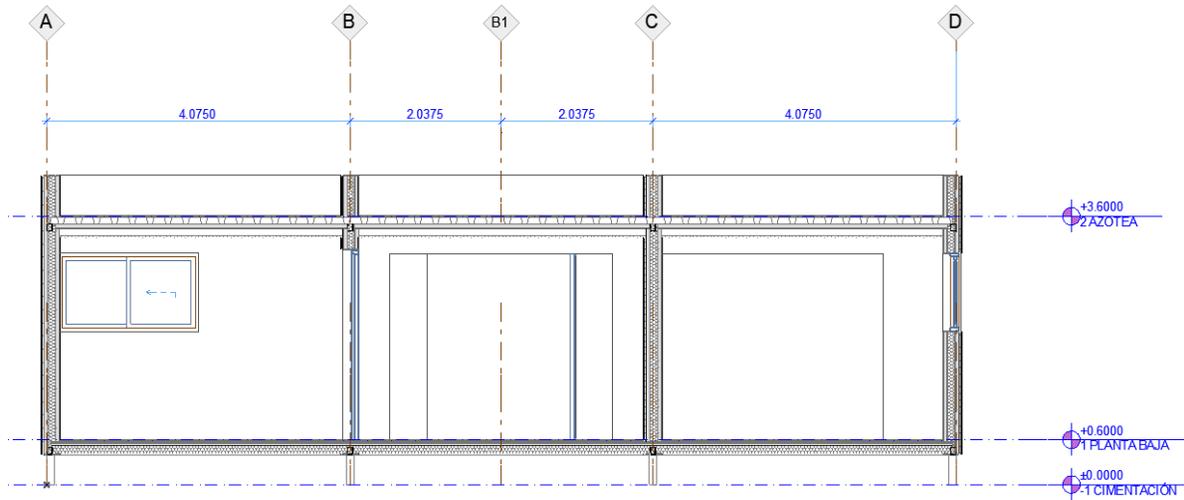
La altura interior es de 3.00 mts ejes entre perfiles estructurales, por lo que, contemplando un falso plafón como ducto horizontal, permite un espacio habitable de 2.75 mts libres, contemplando el firme y la cubierta propuesta con Multipanel\*, misma que lo compone dos hojas de acero con acabado pintura esmalte color blanco, acanalado y al interior espuma de poliuretano de alta densidad, conformando 2" de espesor y 3" en el caballete de la placa superior.



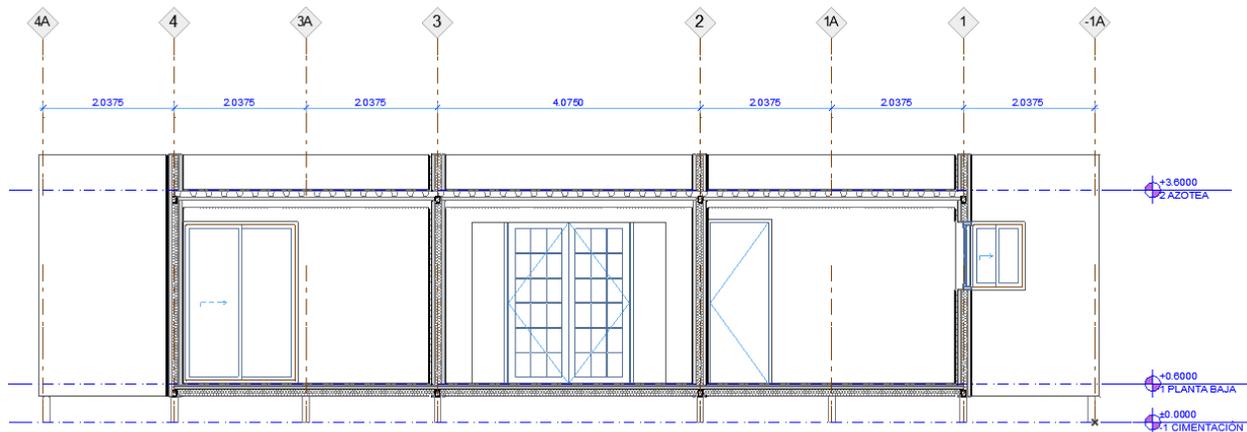
**FIGURA 122.** Planta arquitectónica y áreas térmicas (Dibujo hecho en Archicad 20, por el autor).

El firme está habilitado por medio de OSB de pino de 1" de espesor, con una superficie de bajo alfombra y piso laminado de madera o madera de ingeniería de 3/4" de espesor, además de contener paneles de poliuretano en combinación con papel reciclado

para la separación que existe con el firme de concreto o la separación de 60 cms sobre el terreno.

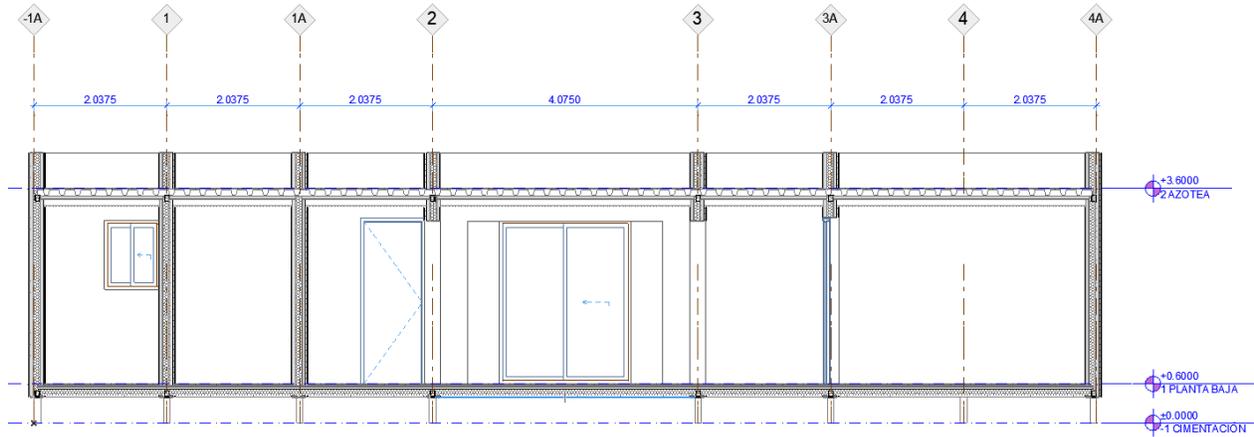


**FIGURA 123.** Sección transversal (Dibujo hecho en Archicad 20, por el autor).

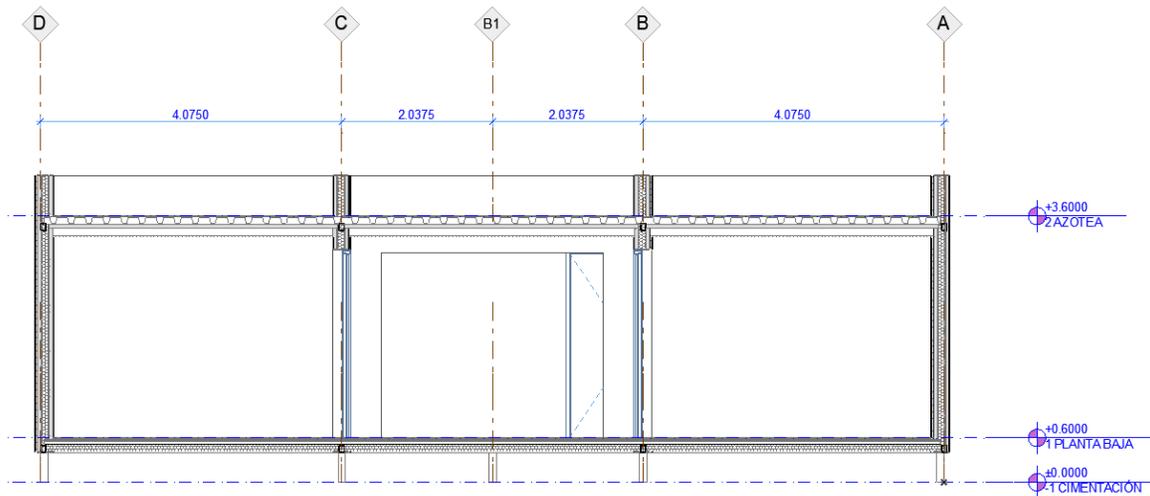


**FIGURA 124.** sección transversal (Dibujo hecho en Archicad 20, por el autor).

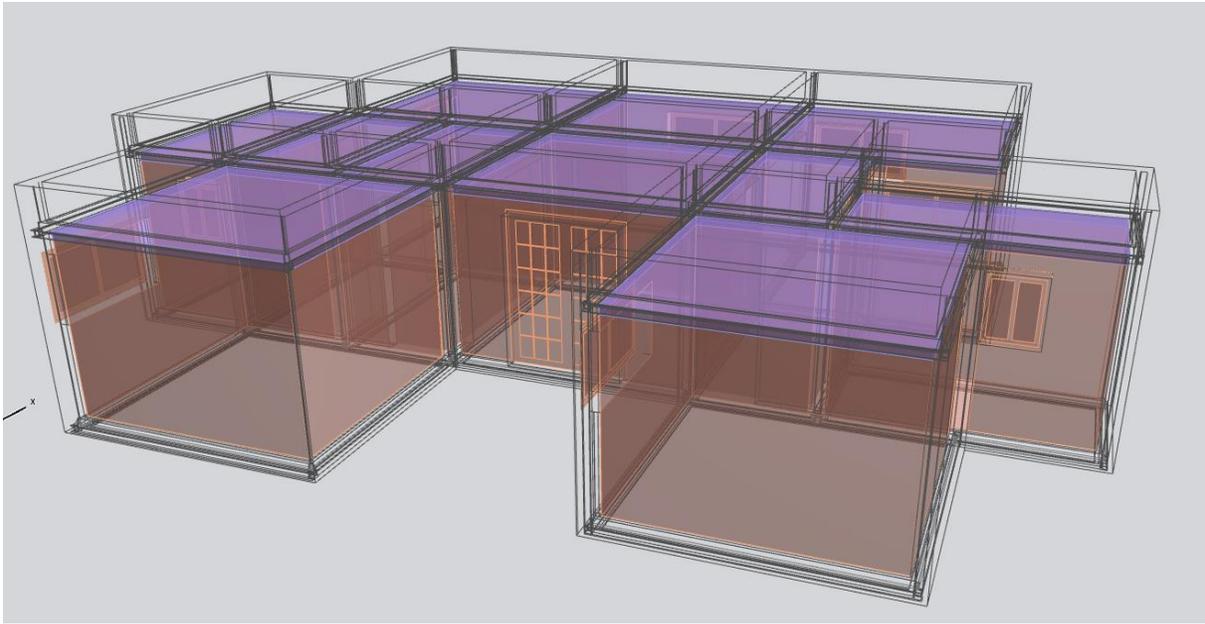




**FIGURA 125.** sección longitudinal (Dibujo hecho en Archicad 20, por el autor).



**FIGURA 126.** sección longitudinal (Dibujo hecho en Archicad 20, por el autor).



**FIGURA 127.** Análisis de zonas térmicas (Dibujo hecho en Archicad 20, por el autor).

De acuerdo a los resultados de

### 3.5.6. FORMA Y FUNCIÓN DE SUS COMPONENTES

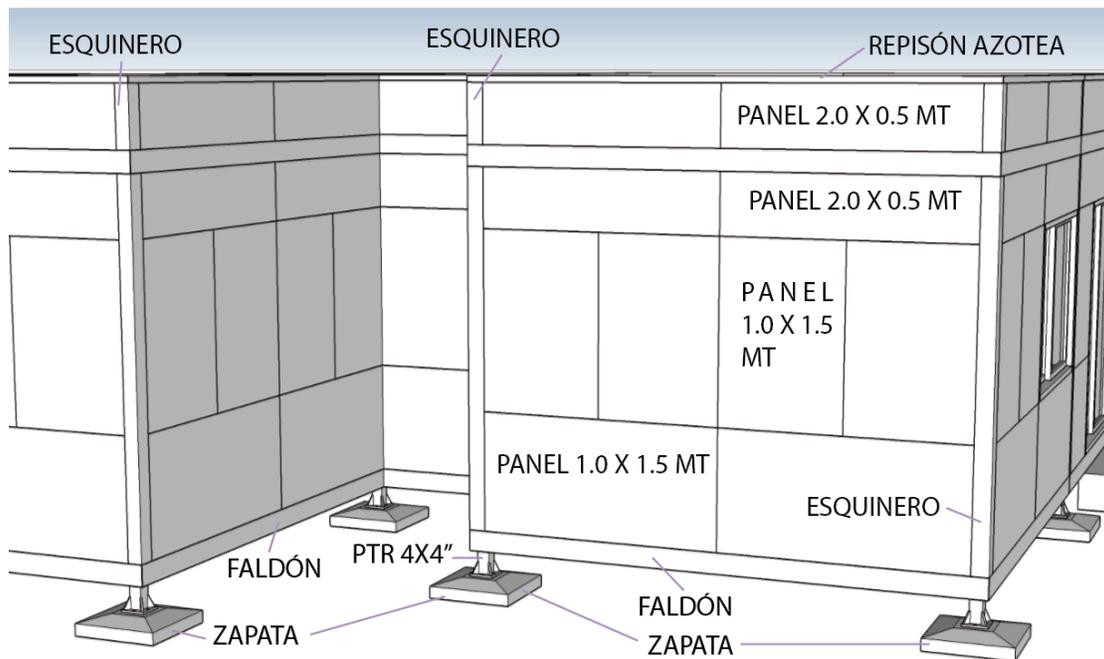
Es necesario considerar la conformación de estructuras similares en su conceptualización y búsqueda de una modulación que permita la utilización de mecanismos y elementos diseñados para resolver necesidades constructivas y estimular así, el uso de nuevas técnicas. Por lo anterior se hace una referencia del proyecto denominado “Casa solar experimental”, que integra las características necesarias en materia de soporte estructural, para develar la necesidad de una solución en materia de muros modulares acorde a la temática planteada, es decir, que refiera una correlación de principios y resultados, en virtud del reto planteado por este tipo de proyectos arquitectónicos, encaminados a mejorar el hábitat y la relación técnico constructiva con la conformación de espacios arquitectónicos.

Por tal motivo, se analiza de forma general, las características que dan forma a este proyecto, con la finalidad de encontrar los puntos de intersección de ideas y aquellos donde, es necesario replantear el concepto con que se concibe el aporte de soluciones no acorde a las características del sistema elegido.

La estructura de una construcción cualquiera, requiere cumplir con principios de estabilidad y equilibrio, siendo conceptualmente consideradas como, la disposición y orden de las partes dentro de un todo, así como, generar psicológicamente seguridad a los usuarios de dichas estructuras, por lo que estos preceptos son identificados por quienes recorren y habitan estas estructuras que dan forma a espacios arquitectónicos.

En el modelo análogo que se presenta, casa solar experimental, es utilizada una estructura de acero conformada por perfiles tubulares PTR, Monténes, tensores y placas de acero, así como; tornillos galvanizados de diámetros menores. En relación a los materiales utilizados para conformar muros divisorios, se utilizó paneles prefabricados sólidos con base en cemento para exteriores y yeso para interiores, teniendo como resultado, muros de 15 cms de espesor, donde al interior se utiliza fibra de vidrio como aislante térmico y acústico, ya que entre ambos paneles delgados, existe un espacio de 12 cms, conteniendo la soportería necesaria para el anclaje del muro a la estructura base y en algunos casos, instalaciones como eléctrica, hidráulica y sanitaria, que atraviesa de forma vertical y horizontal dependiendo de la disposición y ubicación de los servicios con que se cuente.

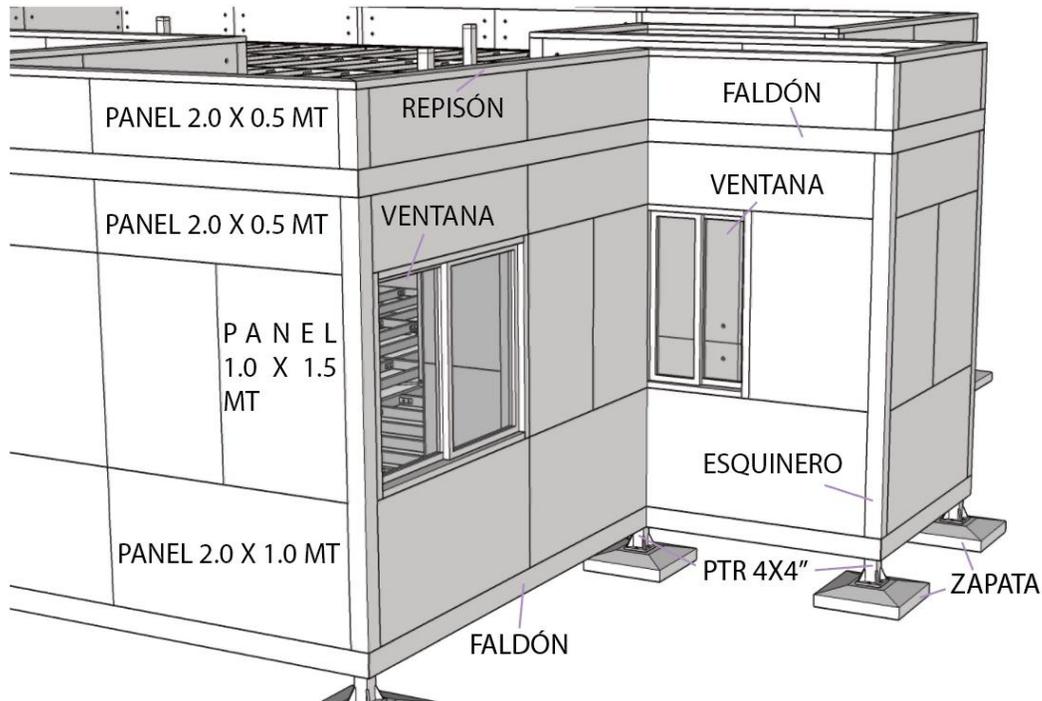
Uno de los aspectos más importantes en que afecta la estabilidad de la estructura el anclaje de muros con base en paneles prefabricados de cemento y yeso, es la perforación de los perfiles ligeros galvanizados que permiten su colocación, ya que estos dependen de tornillos autoperforantes para fijarse directamente a la estructura base, por este motivo, se proponen soportes ajustados a la estructura de forma que, permitan colocar los paneles propuestos por medio de apoyos sujetos y atornillados a abrazaderas de solera de 1" de ancho x 1/2" ≠ fabricados de acero inoxidable, debido a que estarán expuestos a condiciones de humedad y temperatura que provocarían corrosión, siendo que estos elementos de soporte de los paneles, no tendrán acceso a mantenimiento constante.



**FIGURA 128.** Terminación de muros (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).

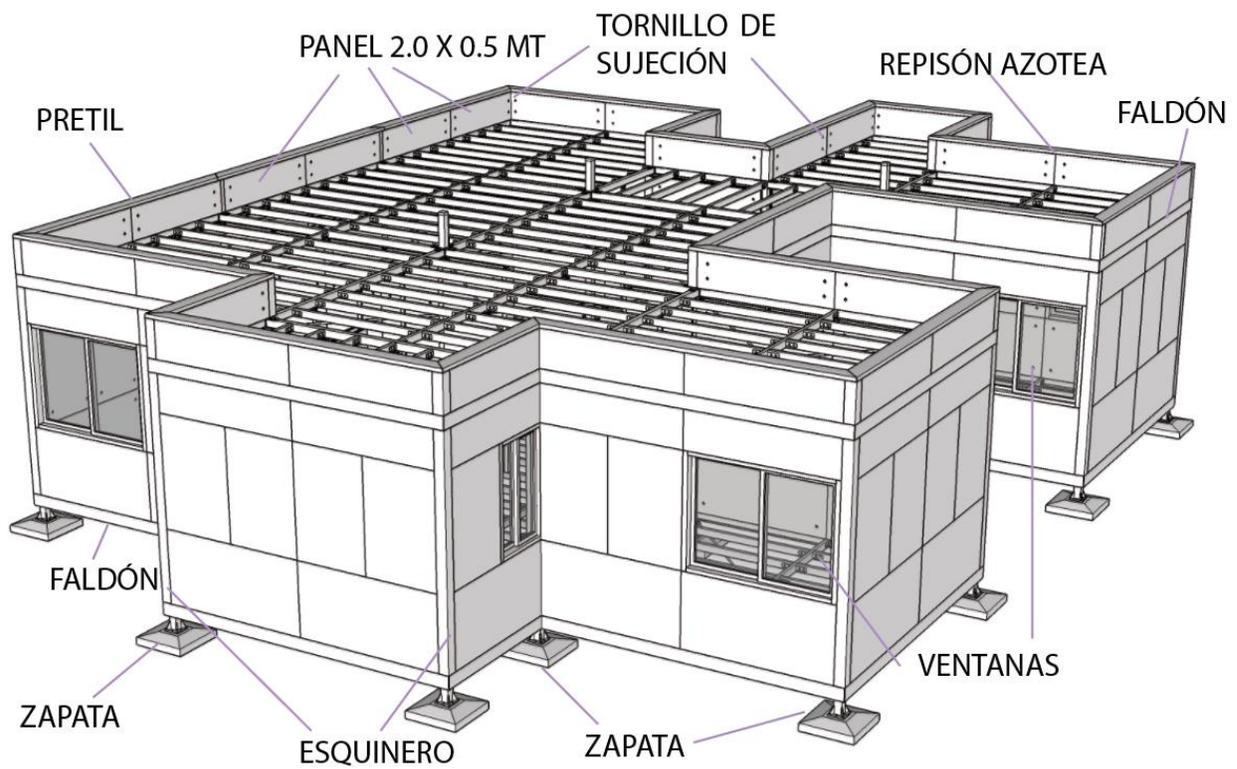
La terminación de los muros en el exterior se presenta de forma ordenada y la modularidad que se emplea logra resolver la necesidad de conformar todo tipo de variantes en el diseño de muros destinados a espacios arquitectónicos, teniendo como valor agregado, la continuidad vertical que permite el mismo sistema, resultando un sistema donde es posible operar por un par de personas, tanto en el ensamble de la estructura base, como en el armado de los módulos para conformar los muros, esto debido a que, el peso y la forma de los paneles permite su fácil maniobrabilidad y un orden en la disposición de estos

en obra.

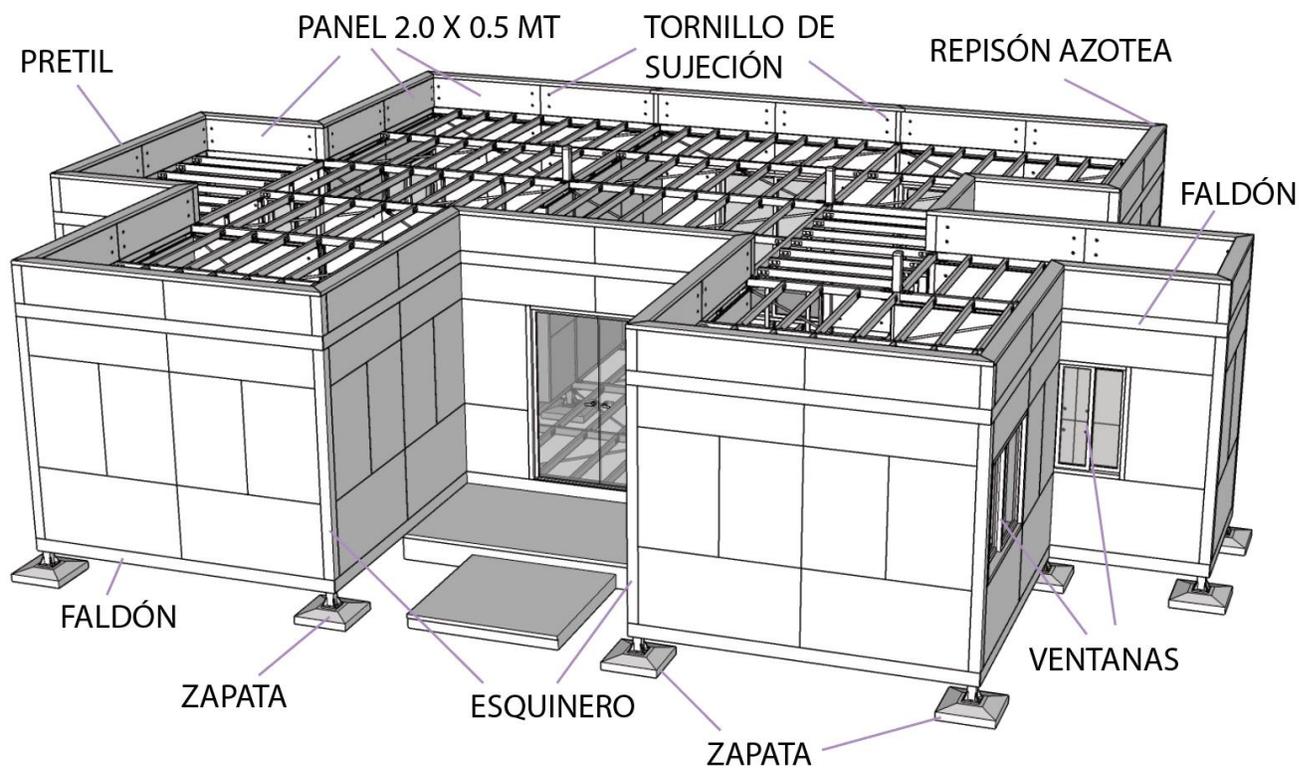


**FIGURA 129.** Sistema con sus elementos (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).

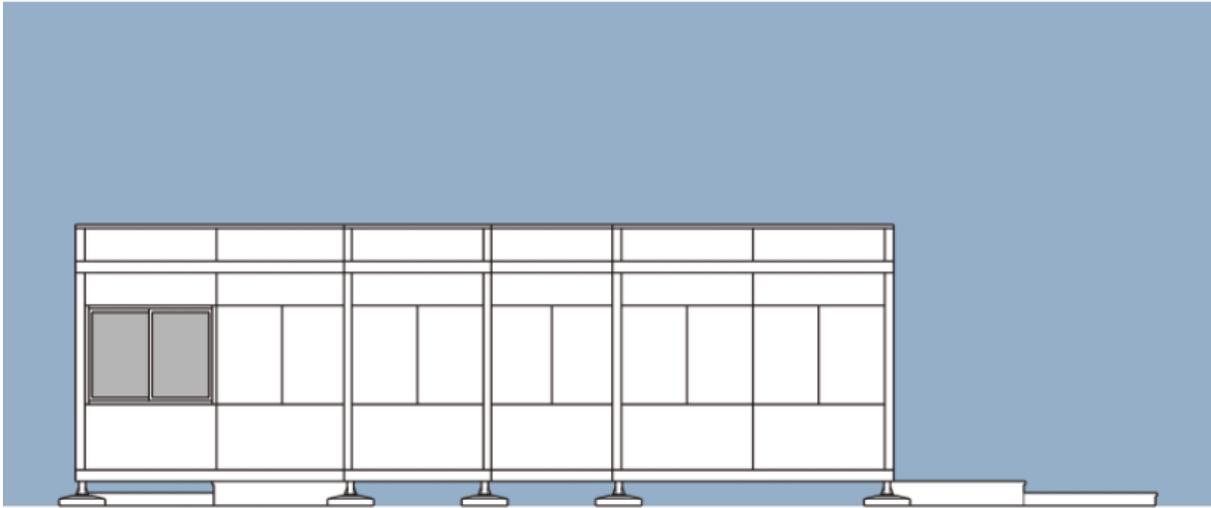
La conjugación de los elementos constructivos concernientes al sistema propuesto, permiten generar espacios con una amplia gama de variantes, sobre todo, gracias a la modularidad del material utilizado como estructura base, aportando amplitud de los espacios interiores, haciendo posible conjugar estos espacios debido a sus propiedades, esto es, como resultado del diseño de los muros que se emplean para dividir, confinar y contener y no para carga de la estructura, es posible encaminar las tareas exclusivas de cada elemento constructivo de forma adecuada, por lo que el resultado es evidente y congruente con su finalidad.



**FIGURA 130.** sistema completado (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).

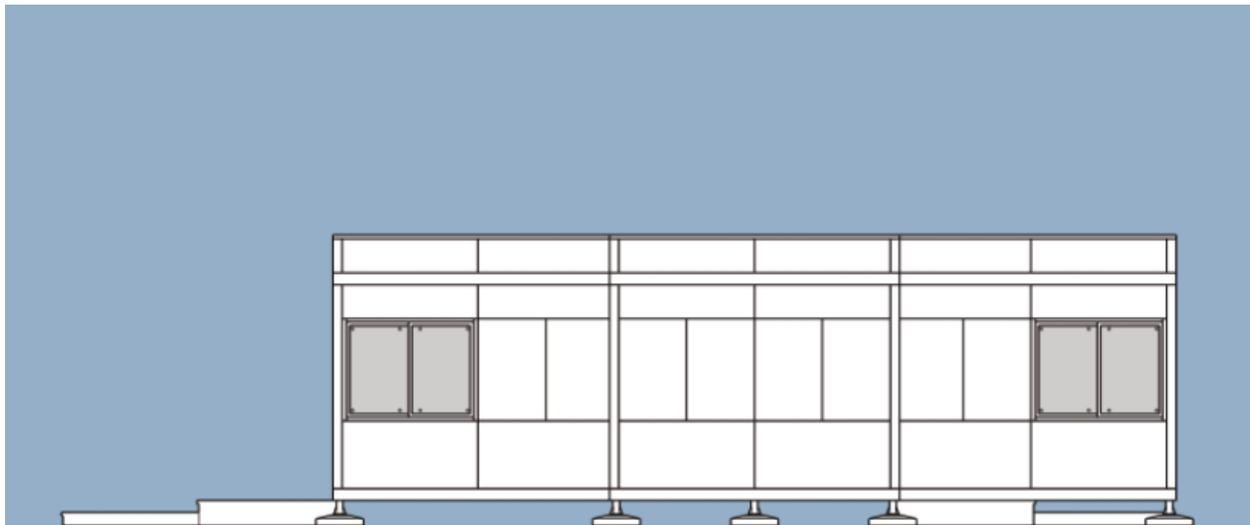


**FIGURA 131.** Sistema completado (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).



ELEVACIÓN SUR

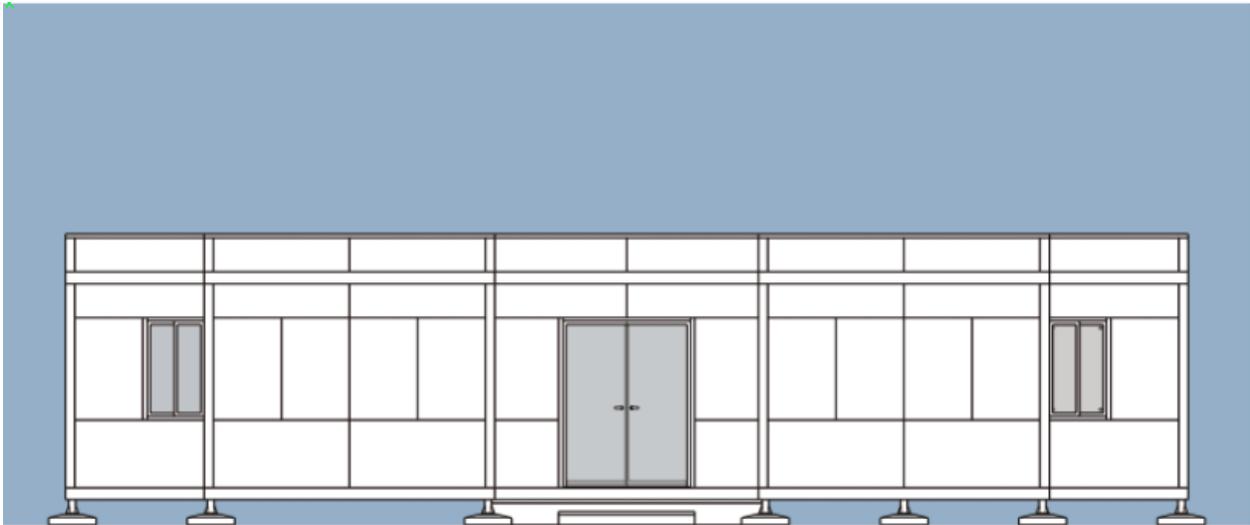
**FIGURA 132.** Elevación sur de la vivienda tipo (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).



ELEVACIÓN NORTE

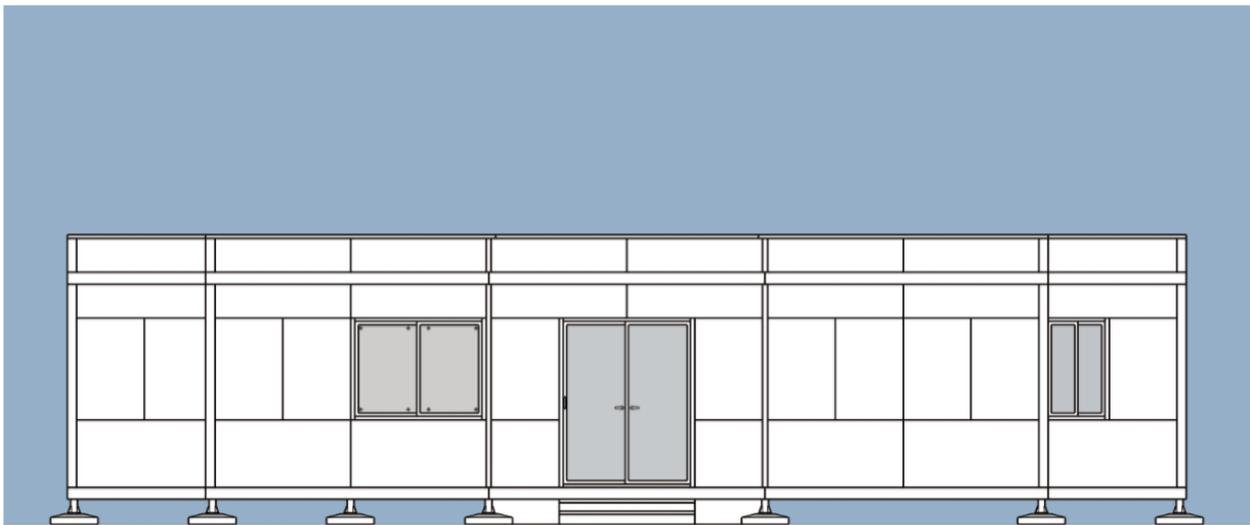
**FIGURA 133.** Elevación norte de la vivienda tipo (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).





### ELEVACIÓN OESTE

**FIGURA 134.** Elevación oeste de la vivienda tipo (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).



### ELEVACIÓN ORIENTE

**FIGURA 135.** Elevación oriente de la vivienda tipo (Dibujo hecho en Sketchup 2016, por el autor).

### 3.5.6.1. DE LAS INSTALACIONES

En lo referente a las instalaciones que pueden contener los paneles, tanto los que están contemplados al interior como los que se ubican en la cara exterior de la construcción, se incluyen las siguientes:

#### 1.- INSTALACIONES ELÉCTRICAS

Para este apartado, se contempla un sistema de distribución eléctrico de tipo residencial aproximado, debido a que no es tema de la presente investigación, la utilización del sistema para proyectos de mayores dimensiones o que dentro de sus espacios se desarrollen actividades especializadas que requieran de alto consumo de voltaje, esto por requerir de maquinaria o equipo de alto rendimiento, situación que derivaría en trayectorias y calibres en diámetro, superiores a los destinados a vivienda unifamiliar, como es el caso.

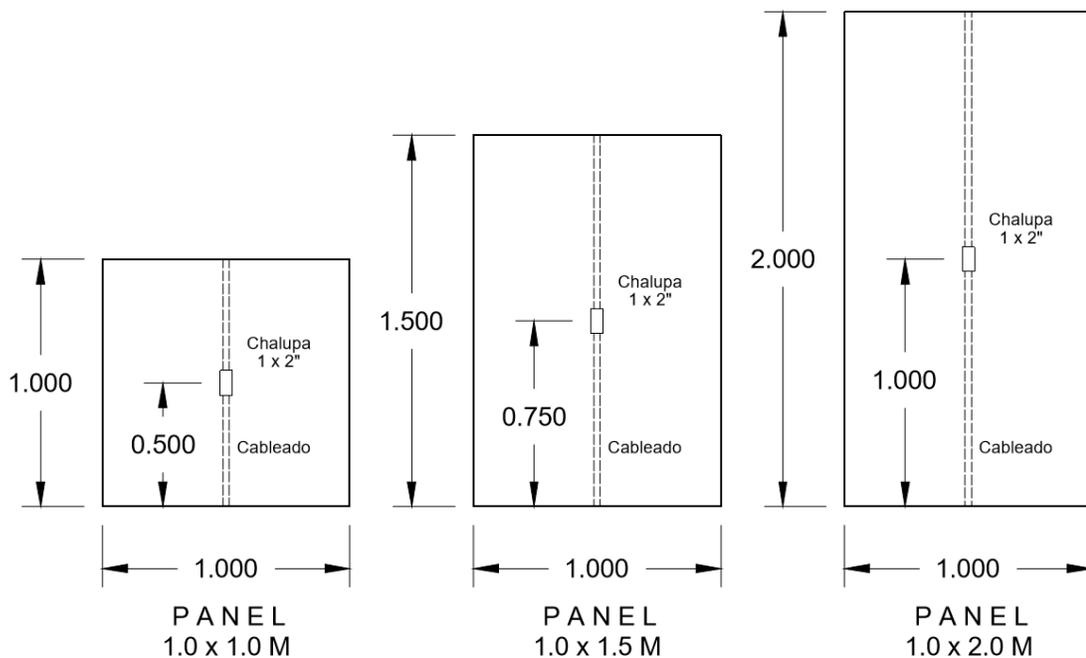
Por lo anterior, se tiene a bien, definir las trayectorias de instalaciones eléctricas contenidas en la cavidad interior de los paneles, utilizando una sección de material de relleno con base a soja, para atravesar de forma lineal, el cableado que corresponde a la alimentación de contactos y apagadores que puedan ser requeridos de acuerdo al proyecto arquitectónico y definido por el cálculo eléctrico.

El tipo de cable que se propone es tipo THW anti flama de cobre para baja tensión, esto debido a que para el alumbrado solo es necesario considerar cable calibre 10 como el diámetro mayor si se utilizan luminarias de bajo consumo, siendo estas primordialmente de tecnología LED, mismas que consumen de 1.5 a 9 watts por luminaria, permitiendo que, los diámetros de los calibres sean menores y así poder utilizar hasta cables derivados del sistema en sus partes derivadas finales, calibres hasta del # 18, esto por la tensión baja y el consumo mínimo que se requiere.

En relación a los cables necesarios para conformar los circuitos que bastecen de energía eléctrica a los contactos, se debe considerar diámetros de hasta el # 10, esto cuando se requiera alimentar equipos tales como, lavadoras, secadoras eléctricas,

planchas o equipos de electrodomésticos de cocina, donde las parrillas eléctricas y los hornos de microondas, pueden ser los aparatos más demandantes.

Es necesario predeterminar de acuerdo al proyecto arquitectónico, la ubicación de cada una de las salidas o la colocación de las cajas de registro que sea necesarias, esto para solicitar el panel tanto exterior, como interior, previamente con las características propias para conformar el sistema eléctrico. Del mismo modo, se determina la posición de cada caja en la parte central del panel, pudiendo ser esta pieza previamente colocada y fijada al panel con la preparación únicamente que recibirá la placa frontal que contiene el chasis y la placa exterior, esto según a la salida diseñada.

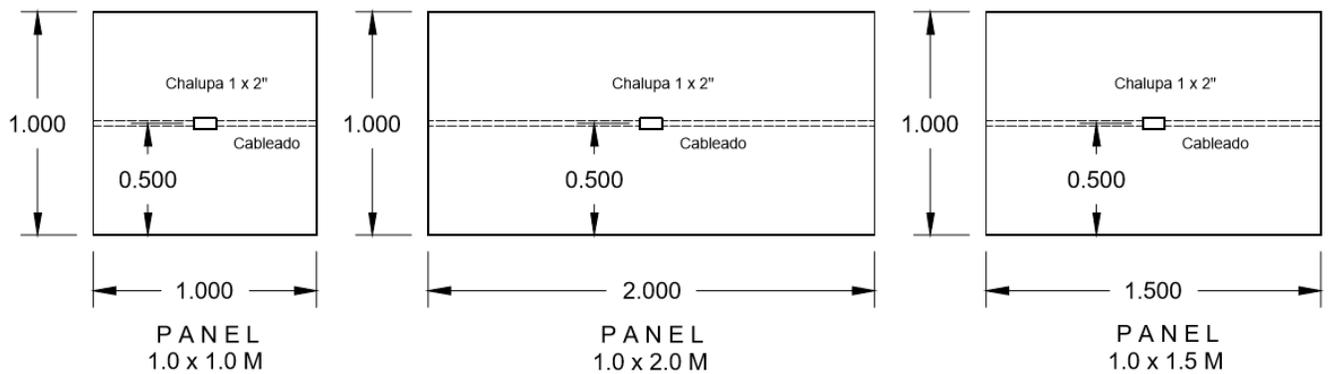


UBICACIÓN DE CAJAS DE REGISTRO DE 1 X 2" TIPO CHALUPAS  
PARA APAGADORES Y CONTACTOS A 0.5, 0.75 Y 1.00 MTS DE ALTURA

**FIGURA 136.** Distribución y adecuación de registros para sistema eléctrico (Dibujo hecho en AutoCAD, por el autor).

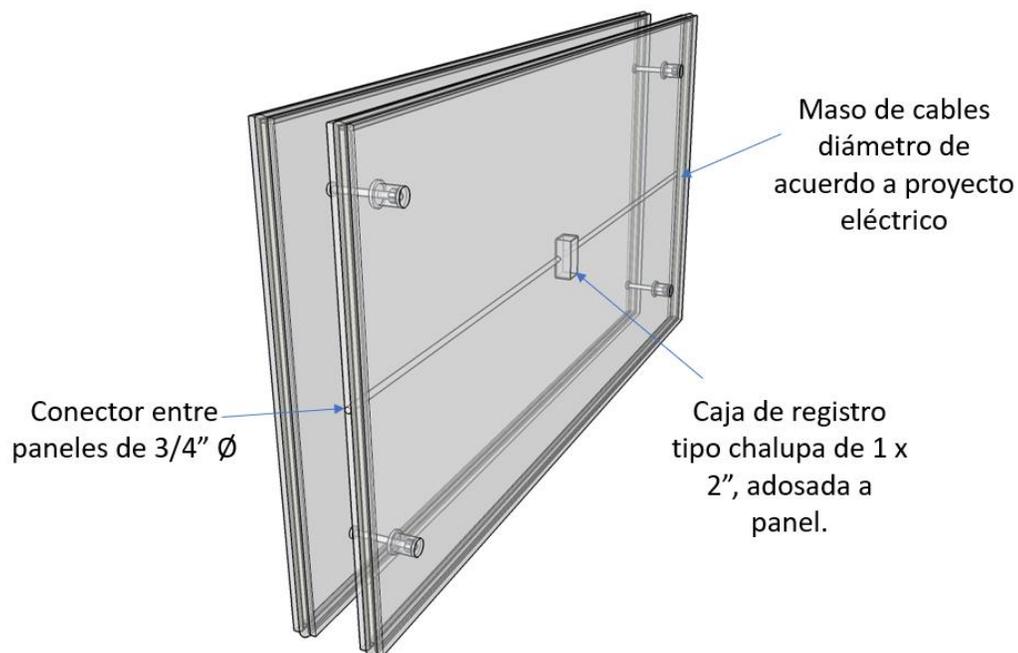
En los casos donde sea necesario habilitar contactos de toma de corriente eléctrica, donde es más frecuente su uso y destino es a una altura de entre 0.4 y 0.5 mts, por lo que se considera que, de acuerdo al dimensionamiento de los paneles, este será ubicado

precisamente al centro del panel, esto para darle orden al momento del diseño de espacios interiores en relación a la ubicación de equipos y aparatos electrodomésticos.



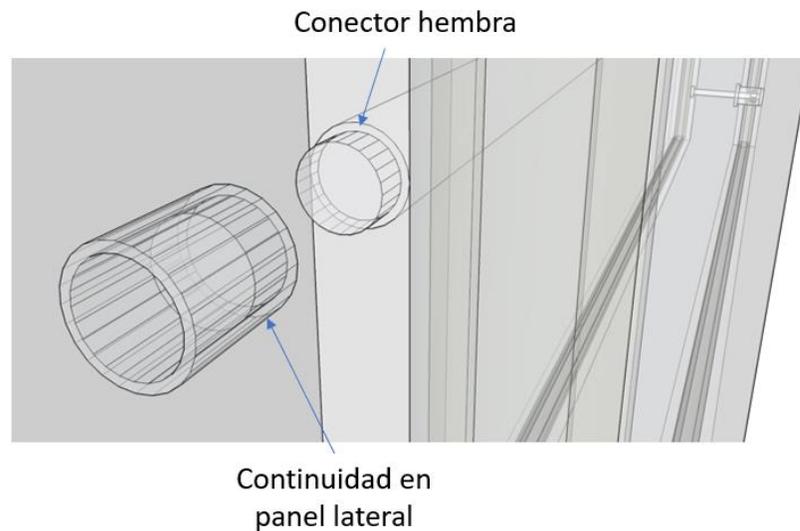
UBICACIÓN DE CAJAS DE REGISTRO DE 1 X 2" TIPO CHALUPAS PARA CONTACTOS A 0.5 MTS DE ALTURA

**FIGURA 137.** Distribución y adecuación de registros para sistema eléctrico (Dibujo hecho en AutoCAD, por el autor).



**FIGURA 138.** Distribución y adecuación de registros para sistema eléctrico (Dibujo hecho en Sketchup, por el autor).

Para estos ambos casos, aunque se contemplan los diámetros anteriormente mencionados y especificados sus usos, se establece un mecanismo de ensamblaje para que los cables estén contenidos en los paneles de tal forma que puedan ser colocados sin tener que utilizar tuberías especiales para habilitar ductos que contengan cable como se hace en la forma tradicional, situación que se detalla a continuación:



**FIGURA 139.** Conexión machihembrada para sistema eléctrico (Dibujo hecho en Sketchup, por el autor).

Los circuitos del sistema eléctrico quedan integrados a los paneles de forma predeterminada, conteniendo el cableado necesario previo proyecto eléctrico definido, siendo posible la continuidad del mismo entre paneles al momento del ensamblaje a base del sistema machihembrado que proporciona el sistema de muro modular en cada panel que lo conforma.

Las derivaciones de los contactos son prioritariamente horizontales, pero pueden existir derivaciones verticales según sea el circuito planteado, pudiendo estas al igual que los circuitos de apagadores, vincularse e interconectarse con las ramificaciones de alimentación general que deberán estar localizadas dentro de los ductos horizontales, esto es, en los falsos plafones y en el firme suspendido o prever el mismo ducto cuando sea necesario asentar la vivienda sobre un firme de concreto u otro material directamente sobre el terreno.

## 2.- INSTALACIONES HIDRÁULICAS

En este apartado se tiene una condicionante que gobierna la posición de las trayectorias referentes a la dotación de agua tanto fría como caliente del sistema hidráulico, debido a que la estructura base contiene y separa ambos paneles que conforman el muro modular en una separación de 4" (10 cms), siendo esta constante en todos los casos, no así, cuando se requiera aumentar el grosor del muro, situación que está prevista en los casos donde se pretenda destinar tramos de muro para ser utilizados como ductos verticales, mismos que podrán dar continuidad a los ductos horizontales que se forman de utilizar la cavidad que existe entre los falsos plafones y la estructura de soporte de las losas de cubierta y los firmes suspendidos, por lo que esta circunstancia se presenta como una opción viable para poder dirigir las trayectorias y dotar del servicio de agua a los muebles dentro de la vivienda.

Por lo anterior es importante señalar que, el sistema hidráulico no puede ser contenido de igual forma que en el caso del sistema eléctrico, esto debido a los diámetros necesarios que son mayores que los que representan los cables contenidos en el sistema eléctrico. De esta forma, los muros modulares sólo podrán contener trayectorias de instalaciones hidráulicas cuando se destine un grosor mayor o cuando estos atraviesen los firmes para dotar del servicio a los muebles que se requiera.

En el caso de las regaderas, será necesario el utilizar un vástago de dimensión mayor para engrosar el muro y poder contener el cuerpo de las llaves mezcladoras o monomando según sea el caso.

## 2.- INSTALACIONES SANITARIAS

Generalmente en una vivienda tipo residencial, únicamente se utilizan los diámetros 2, 4 y 6", siendo los diámetros de 4" destinados para bajantes pluviales y drenaje, así como los diámetros de 2" para descarga de agua de regaderas y lavamanos. Estos últimos pueden ser contenidos utilizando el mismo principio de engrosar el muro, utilizando un vástago de dimensión longitudinal mayor y así lograr ese espacio requerido adicional de 2", sin embargo, es recomendable utilizar los muebles de baño para contener

las trayectorias que se destinen a las descargas de drenaje para las tuberías de 2", esto para, no interrumpir la trayectoria de los elementos estructurales base de la vivienda.

Por lo anterior, se puede concluir que únicamente el sistema eléctrico y en su caso cableado de sistema de comunicaciones, son posibles de contener el sistema de muros modulares, esto por considerar sus diámetros menores, mismos que caben perfectamente en la forma y configuración de cada panel.

## 4. CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES

#### 4.1. ANOTACIONES

##### 4.1.1. A QUIEN VA DIRIGIDO

La propuesta del diseño del sistema de muros modulares tiene como finalidad, el incorporar a la sociedad en conjunto, para que las familias de cualquier nivel socioeconómico puedan acceder a la posibilidad de realizar la construcción, remodelación o ampliación de su propia vivienda, así como, proporcionar a los constructores de vivienda tradicional, una nueva herramienta y recurso técnico constructivo, para generar una gran variedad de posibilidades.

La metodología por medio de la cual es posible la edificación de viviendas utilizando el sistema de muros modulares, permite que, dos personas puedan realizar todo el trabajo de construcción, esto debido a que, las características dimensionales y el peso real de los componentes del sistema, están diseñados de acuerdo al peso adecuado de soporte de un ser humano promedio, y estos a su vez, pueden ser transportados y acarreados en vehículos tipo camionetas más utilizadas en el mercado, mismas que tienen una capacidad de hasta 1 Ton de soporte.

Al mismo tiempo, el sistema permite la ampliación y modificación espacios, así como, la adaptación del sistema con otros sistemas constructivos, esto debido a que, la estructura base utilizada para soporte de los muros modulares, puede ser adosada o anclada a cualquier estructura de madera, mampostería u otra similar hecha con acero de refuerzo.



#### 4.1.2. COSTO BENEFICIO

Mientras que la construcción de vivienda tradicional con base en materiales como cemento, arena y grava, que se utiliza para mampostería y compuestos aglutinantes y de relleno, así como, tabique rojo recocido y acero de refuerzo tipo varilla corrugada, con estas características espaciales y con acabados de primera calidad, puede representar en el mercado el costo de 6,500.00 pesos MX/ M2, este sistema permite una importante reducción en la implementación de mano de obra, el cual representa un 40% del costo total, por lo que aun cuando se necesita de mano de obra especializada, en este caso un soldador para dimensionar, realizar cortes y uniones de perfiles de acero estructural, la producción en serie y forma de adquirir los componentes del sistema estructural puede ser industrializado, permitiendo así, la reducción del costo de la mano de obra especializada.

Por tal motivo, la utilización de los paneles del sistema de muros modulares genera una reducción significativa en el costo total de la construcción, además de no requerir de alto mantenimiento, debido a que cada pieza es fabricada con un acabado previamente seleccionado y no es necesario aplicar pintura o aplanados exteriores.

De esta forma, se estima que la construcción con este sistema de muros modulares pueda alcanzar el costo de 5,500.00 MX pesos/ M2, pero además permitiendo que al momento de requerir una ampliación tanto vertical, como horizontal, el sistema elimine cualquier tipo de escombros resultado de la demolición de elementos constructivos tradicionales que no pueden ser reintegrados a la vivienda, situación que no sucede con el sistema de muros modulares, debido a que, esta parte del diseño de acoplamiento y modularidad de sus partes, le permite la versatilidad de expansión y modificación sin generar material de desecho que contribuye a la contaminación del medio ambiente.

### 4.1.3. COMUNIDAD

Se presenta una gran oportunidad de autoconstrucción en zonas donde, sus pobladores necesitan acceso a sistemas que les proporcione versatilidad y fácil construcción de sus viviendas, a un costo más conveniente, además de dotar a los mismos de un sistema con un principio de conciencia ecológica y de un pensamiento nuevo en la concepción de los espacios que son requeridos para habilitar sus viviendas, por lo que se propone que, este sistema pueda ser utilizado también en construcciones de tipo educacional y comercial en aquellos lugares donde se requiera una respuesta emergente ante la carencia de materiales o por el ordenamiento de la misma comunidad y por cumplir las necesidades de servicios y vivienda para sus habitantes.

Los programas de gobierno pueden verse beneficiados al mismo tiempo de esta propuesta constructiva, ya que puede de esta forma responder de manera más ágil, a la demanda de vivienda y servicios de forma más ordenada, debido a que, la producción de los componentes del sistema, son más controlables al ser referenciados por una modularidad clara y la cuantificación de elementos que componen cada diseño, son fácilmente integrados en las estimaciones, así como la mano de obra necesaria para dar forma a las viviendas a construir, eliminando así, los rangos de incertidumbre que se presentan en las construcciones tradicionales donde, los incrementos en los costos de los materiales son fluctuantes y los presupuestos pueden variar por la disponibilidad de los mismo, siendo que, el sistema constructivo propuesto, permite a través de su producción en serie, eliminar este tipo de incertidumbre y variabilidad en los procedimientos de edificación.

## 4.2. DISCUSIONES

A través del desarrollo del sistema de muros modulares, se puede afirmar que, la implementación de este sistema, proporciona un valor agregado a la vivienda gracias a la versatilidad en la generación de propuestas de espacios arquitectónicos, haciendo fácil su diseño y conformación, además de permitir que este tipo de edificaciones sean

replicables y reubicables. Del mismo modo, permite a la vivienda tener la capacidad de expansión y modificación, minorizando los costos generados por la destrucción de los materiales que son utilizados en los sistemas tradicionales y prefabricados más usuales.

El muro modular, abre la puerta a futuras líneas de investigación y permite iniciar la discusión acerca de la trascendencia de destinar los esfuerzos y recursos naturales empleados en la construcción de forma más inteligente y práctica, esto a través de permitir la manipulación directa de la vivienda de quienes las habitan.

El sistema de muros modulares cumple con la finalidad de implementar nuevas formas incluyentes de construcción que permitan la comprensión del mismo, desde el enfoque de la versatilidad y la eficiencia, esto debido a que, al brindar a la sociedad un mecanismo fácilmente comprensible y adaptable por medio del sistema de generación de espacios y en consecuencia, el diseño de cada componente del sistema, genera desde el inicio del proceso de diseño, un acercamiento vital entre la vivienda a diseñar y quien o quienes la habitan, resultando en beneficios adicionales para todos los involucrados en el proceso de edificación.

Los beneficios adicionales no son solo económicos, sino de tipo funcional y sobre todo convenientes en el tiempo de desarrollo de la etapa constructiva y la disposición de los espacios requeridos, sin dejar de mencionar que, el sistema de muros modulares al ser adaptado a una construcción tradicional, tendrá un mejor manejo a futuro de las modificaciones o ampliaciones que se desee implementar, así como su manipulación en cuanto al cambio de actividades que se desempeñan dentro de estos espacios.

#### 4.3. REFLEXIÓN FINAL

El sistema es sujeto de mejoras en su concepción y conformación estructural, sin embargo, es un referente importante para dar paso a proyectos relacionados, donde se busque generar una patente, esto con la ayuda de mecanismos de inversión y la implementación de una empresa para la fabricación de los componentes del sistema, la distribución y promoción del producto comercial.

Del mismo modo, los materiales propuestos en la presente investigación, pueden estar sujetos a la mejora continua en su composición y propiedades como resultado de los avances en la materia y de alternar esfuerzos conjuntos en otras áreas del conocimiento que puedan ser integradas en futuras líneas de investigación.

#### 4.4. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

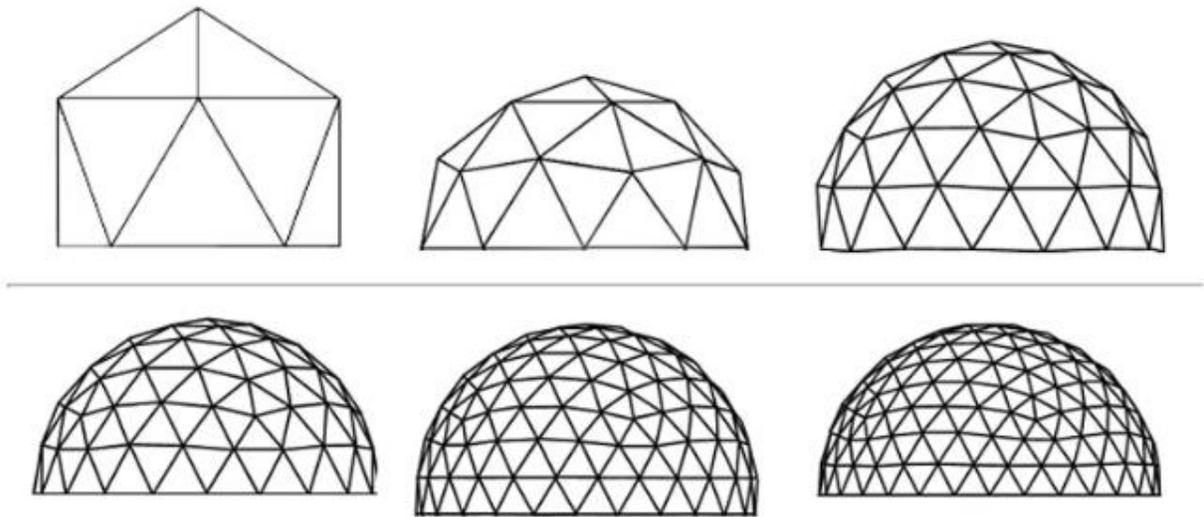
##### 4.4.1. GEOMETRÍA VARIABLE Y SOLUCIONES NODALES

La propiedad ortogonal que presenta el sistema propuesto de muros modulares, corresponde a la necesidad de resolver el principio básico de ensamblaje y correlación entre los elementos que lo conforman, en este caso, los paneles en sus cuatro presentaciones, esto es: 1.0 x 1.0, 1.5 x 1.0, 2.0 x 1.0 y 0.5 X 2.0 mts, así como, los elementos complementarios que permiten resolver sus terminaciones y variaciones de acuerdo al proyecto arquitectónico y el sistema de estructura de acero de refuerzo, del cual depende dicha propuesta, por lo que, se establecen los siguientes criterios que pueden ser favorables para generar soluciones que permitan formas y ensamblajes personalizados, según sea la necesidad por parte del diseñador.

Planteamiento de análisis de los ángulos que conforman los puntos nodales de unión y correlación entre ejes del proyecto arquitectónico, permitiendo giros en ángulos de 10, 15, 20, 30 o 45°, para dar paso a formas caprichosas o necesarias en la búsqueda de soluciones para generar formas que permitan una amplia gama de variantes de diseño, mismas que corresponderán a un estudio del comportamiento funcio-formal del proyecto arquitectónico.

Por lo anterior se considera que, es conveniente considerar formas alternativas con geometría basada primordialmente en un domo geodésico, como principio de pensamiento estructural, que brinde las variables mencionadas, esto considerando que la resistencia demostrada de la forma y la utilización del acero en la conformación de sus elementos, responde de manera efectiva y da como resultado, edificaciones confiables ante la presencia de fenómenos naturales tales como, sismos e inclusive fenómenos

meteorológicos como huracanes o ciclones, donde la presencia de corrientes intensas de aire que acarrean agua o hasta objetos ligeros, puede responder de forma adecuada y garantizar la seguridad de quienes habitan una vivienda concebida con esta tipo de formas y estructuras.



**FIGURA 140.** Formas geodésicas, nivel de definición. (ARQUITECTURA+ACERO, 2018)

Estas estructuras geodésicas derivan de las formas generadas geoméricamente por la naturaleza, esto porque, la misma utiliza el principio de fractales, que son partes divididas entre si en proporciones tales que la conjugación de la totalidad da forma a una figura idéntica, pero dependiente de la repetición de la misma en un plano estructurado. Siendo que, la utilización de estos principios y propiedades utilizadas por la naturaleza tiene la finalidad crear vida, es la mejor solución para guiar los parámetros de criterio estructural y formal del sistema en su sentido evolutivo, por lo que, la búsqueda de soluciones formales dependerá en mayor medida de la utilización a futuro de estos criterios y fundamentos de diseño estructural.

#### 4.4.2. PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN DEL MURO MODULAR

Consideración de automatización de muros para implementación de acciones correctivas por medio de domótica, utilizando la programación como base de la domótica

para proporcionar al muro modular, de una segunda piel en el caso de superficies que puedan estar expuestas a un excesivo estrés derivado de la radiación directa sobre el material del panel, teniendo a bien, reaccionar ante tal situación y accionando sistemas electromecánicos que apliquen acciones correctivas o reguladoras de las condiciones deseadas para cada caso, así como, de no requerir de la acción manual por parte de los usuarios de la vivienda, proporcionando además, un registro en tiempo real, de las condiciones de temporalidad y de reacción de los sistemas trabajando en conjunto.

#### 4.4.3. SOFTWARE DE DISEÑO

Diseño de software de identificación de necesidades de soluciones espaciales y generador de desglose de partes del sistema. En este aspecto, se puede generar un sistema informático que permita al diseñador o futuro usuario, ingresar las necesidades espaciales y las características deseadas en cuanto a materiales y acabados, con la finalidad de que el sistema mencionado, proporcione de forma general, el dimensionamiento, la cuantificación y la ubicación de cada elemento constructivo dentro del proyecto arquitectónico deseado, logrando así, no solo su industrialización, sino su comercialización de forma efectiva, debido a que, esta herramienta provocaría confianza en la utilización del sistema al presentarse de forma dinámica y sencilla, además de ser una solución práctica de diseño y concepción de la materialización de un proyecto constructivo.

Este documento de investigación puede ser utilizado como referente de propuestas relacionadas en el tema, donde se busque proponer sistemas constructivos y patrones de diseño encaminados a resolver la problemática de la generación de espacios sustentables y enfocados a satisfacer la necesidad de generar espacios mejor estructurados con materiales acordes a los avances tecnológicos de bajo impacto.

## 5. CAPÍTULO V

### DOCUMENTACIÓN

#### 5.1. BIBLIOGRAFÍA

- AFITI, L. C. (10 de Noviembre de 2008). *www.saizmartinez.es*. Obtenido de [http://www.saizmartinez.es/pdf/ENSAYOS\\_AFITI\\_NORMA\\_UNE\\_EUROCLASE.pdf](http://www.saizmartinez.es/pdf/ENSAYOS_AFITI_NORMA_UNE_EUROCLASE.pdf)
- Albert Cuchí, A. S. (2009). *29 La qualitat ambiental als edificis, Manuales d'ecogestió*. Barcelona, España: Generalitat de Catalunya.
- Alfredo Esteves, D. G. (1999). *RELACIÓN ENTRE LOS COSTOS RELATIVOS DE VIVIENDAS SUSTENTABLES Y SU FORMA*. Mendoza, Argentina: Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas y Vinculación. Obtenido de <http://www.um.edu.ar/ojs-new/index.php/RECIUM/article/download/58/77>.
- ARQUIGRÁFICO. (Julio de 2015). <https://arquigrafico.com>. Obtenido de <https://arquigrafico.com/tipos-de-muros-prefabricados/>
- ARQUITECTURA+ACERO. (2018). <http://www.arquitecturaenacero.org>. Obtenido de <http://www.arquitecturaenacero.org/sustentable/acero-y-sustentabilidad>
- ASOCIATION, W. S. (2007). *"A global sector approach to CO2 emissions reduction for the steel industry"*. Obtenido de [www.worldsteel.org](http://www.worldsteel.org): <http://www.worldsteel.org/?action=storypages&id=226>
- Brotóns, P. U. (2006). *CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS METÁLICAS*. Alicante, España: Editorial Club UNiversitario, San Vicente ALICANTE.
- Calzón, J. M., & Ortiz Herrera, J. (1978). *Construcción Mixta Hormigón - Acero*. Madrid: Editorial Rueda.
- Cela, C. (2011). *Evaluación del impacto ambiental de diferentes sistemas constructivos industrializados comparado con un sistema constructivo tradicional*.
- CENAPRED. (28 de Septiembre de 2017). [www.cenapred.unam.mx](http://www.cenapred.unam.mx). Obtenido de <http://www.cenapred.unam.mx/es/PreguntasFrecuentes/faqpopo3.html>
- CIVILGEEKS. (1 de Junio de 2015). <https://civilgeeks.com/>. Obtenido de <https://civilgeeks.com/2015/06/01/que-son-los-muros-modulares-autoportantes/>
- CONAGO. (2010). *Propuesta De Agenda Temática De La Comisión De Vivienda, Conferencia Nacional De Gobernadores*. Querétaro, Qro.: Instituto De La Vivienda Del Estado De Querétaro.
- CONAVI. (2017). Manual de capacitación para el Estándar de Competencia Laboral EC0431-"Promoción del ahorro en el desempeño integral de los sistemas

- energéticos de la vivienda”. CD MEXICO, MEXICO, MEXICO. Obtenido de [http://www.conalep.edu.mx/academicos/Documents/eficiencia\\_energetica/material/manual-capacitacion-ec0431.pdf](http://www.conalep.edu.mx/academicos/Documents/eficiencia_energetica/material/manual-capacitacion-ec0431.pdf)
- Construcción, C. M. (2017). *Situación actual de la industria de la construcción y sus perspectivas*. Ciudad de México: Centro de Estudios Económicos del Sector de la Construcción (CEESCO) .
- CRESWELL, J. W. (2014). *RESEARCH DESIGN, Qualitative, Quantitative and Mixed Methods Approaches 4th ed*. United States Of America: SAGE Publications, Inc.
- DEACERO, G. (2016). *www.deacero.com*, Educación continua. Obtenido de <http://deacero.com/ecd/CursosPDF/Construccion/Varilla%20DA-42.pdf>
- Edwards, B. (2009). *Guía básica de la sostenibilidad*. Barcelona, España: Gustavo Gili.
- Federal, S. H. (2010). *Comisión Nacional de Vivienda*. México, D.F.: Propia.
- FORTÍN, E. (2016). <http://www.fortincp.com.ar>. Obtenido de <http://www.fortincp.com.ar/cerramientos.html>
- Gatani, M. (2004). Gestión, Tecnología y Vivienda Social. Punto y Seguido. *Revista INVI*, 87.
- Hernández, J. L. (2011). *www.joseluismartinezhernandez.blogspot.mx*. Obtenido de <http://joseluismartinezhernandez.blogspot.mx/2011/04/muros-y-sus-clasificaciones.html>
- iiarquitectos. (1 de Agosto de 2012). *www.iiarquitectos.com*. Obtenido de <http://www.iiarquitectos.com/2012/08/sistema-constructivo-plegable.html>
- JACQUES, S. (Abril de 2018). <https://continuingeducation.bnpmmedia.com>. Obtenido de <https://continuingeducation.bnpmmedia.com/courses/slenderwall-by-easi-set-worldwide/lightweight-precast-building-envelopes-maximize-performance/>
- Julian Salas, I. O. (2009). *Estrategias divergentes de industrialización*. Madrid, España.: Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) .
- Livingston, R. (2004). *Arquitectos de la comunidad, El método*. Buenos Aires, Argentina: Librería técnica.
- MARCO MONTELONGO VIDAL, A. V. (2015). *EL CÁÑAMO*. Uruguay: Universidad de la República, facultad de Arquitectura.
- Mexicana, S. G. (2012). Arquitectura de tierra: el adobe como material de construcción en la época prehispánica. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. Obtenido de [http://boletinsgm.igeolcu.unam.mx/bsgm/vols/epoca04/6402/\(3\)Gama.pdf](http://boletinsgm.igeolcu.unam.mx/bsgm/vols/epoca04/6402/(3)Gama.pdf)
- Molina, C. M. (2012). *Evaluación de la sustentabilidad de la vivienda en México*. Ciudad de México: Asociación para la Vivienda y Entorno Sustentable A.C.



- Molina, C. M. (2012). *Evaluación de la sustentabilidad de la vivienda en México*. México, D.F.: CONAVI.
- Muñoz-Márquez, C. R. (2016). Modelo de vivienda urbana sostenible: buscando alternativas para cambiar de rumbo. *Revista Entorno, Universidad Tecnológica de El Salvador*, 15.
- NEUFERT, E. (15 de enero de 2013). *EL ARTE DE PROYECTAR EN ARQUITECTURA*. México, D.F.: Gustavo Gili. Obtenido de <https://collection.cooperhewitt.org/people/51688229/>
- Nieva, A. B. (2005). *Guía de Construcción Sostenible*. Alcalá de Henares: Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (ISTAS).
- Olgay, V. (2010). *Arquitectura y clima, manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Barcelona, España: Gustavo Gili.
- Paricio, I. (1997). *La Protección Solar*. Zaragoza, España: Bisagra.
- Quiminet. (31 de octubre de 2012). *www.quiminet.com*. Obtenido de <https://www.quiminet.com/articulos/produccion-de-poliuretano-ecologico-promotor-de-sostenibilidad-ambiental-2880424.htm>
- Qroblock. (2017). *www.qroblock.com*. Obtenido de [http://www.qroblock.com/?gclid=EAlaIqobChMI68\\_Gm4jE1wIVT7bACh0nSwCIEAAYAiAAEgKSafD\\_BwE#!/-inicio/?ancla=PRODUCTOS](http://www.qroblock.com/?gclid=EAlaIqobChMI68_Gm4jE1wIVT7bACh0nSwCIEAAYAiAAEgKSafD_BwE#!/-inicio/?ancla=PRODUCTOS)
- Redacción, L. (13 de Abril de 2013). *www.eluniversalqueretaro.mx*. Obtenido de <http://www.eluniversalqueretaro.mx/portada/13-04-2013/contaminacion-toxica-de-ladrilleras>
- Sampieri, R. H. (2014). *Metodología de la investigación* (6a Edición ed.). México, D.F.: McGraw-Hill / Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- SERVIACERO. (2017). *www.serviacero.com*. Obtenido de <http://serviacero.com/serviacero/comercial/ptr-alta-resistencia/>
- SlideShare. (2017). *www.es.slideshare.net*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/eersfa/muros-divisorios-10494152>
- Tablayeso. (2016). *www.tablayeso.net*. Obtenido de <https://tablayeso.net/sistemas-de-muros-exteriores-usg/>
- tieRAH. (Marzo de 2014). *Estudio de la tapia en restauración de Arquitectura Histórica no monumental*. Obtenido de <https://tierrah.files.wordpress.com/2014/03/la-fotocopy.jpg?w=326&h=275>
- W, P. (SEPTIEMBRE de 2015). *http://panelw.com*. Obtenido de <http://panelw.com/technology/>

Wadel, G. (2010). *Sustainability in industrialised architecture: closing the materials cycle*.  
Cataluña, España.

wikiarquitectura.com. (2017). *www.es.wikiarquitectura.com*. Obtenido de  
<https://es.wikiarquitectura.com/edificio/casa-berlingieri/#lg=1&slide=1>