



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE  
TECNOLOGÍA, INFRAESTRUCTURA Y  
TERRITORIO (ILATIT)**

**ARQUITECTURA Y URBANISMO**

**ARQUITECTURA EN ÁREA DE MOVIMIENTOS SÍSMICOS:**

ESTUDIO Y PROPUESTA PARA IMPLANTACIÓN DE VIVIENDAS CON  
MATERIALES SISMO-RESISTENTES EN EL CANTÓN DE PEDERNALES,  
PROVINCIA DE MANABÍ-ECUADOR.

**BRYAN GERMÁN GONZÁLEZ CEVALLOS**

Foz de  
Iguazú 2017



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE  
TECNOLOGÍA, INFRAESTRUCTURA Y  
TERRITORIO (ILATIT)**

**ARQUITECTURA Y URBANISMO**

**ARQUITECTURA EN ÁREA DE MOVIMIENTOS SÍSMICOS:**

ESTUDIO Y PROPUESTA PARA IMPLANTACIÓN DE VIVIENDAS CON  
MATERIALES SISMO-RESISTENTES EN EL CANTÓN DE PEDERNALES,  
PROVINCIA DE MANABÍ-ECUADOR.

**BRYAN GERMÁN GONZÁLEZ CEVALLOS**

Trabajo de Conclusión de Curso presentado al Instituto Latino-Americano de Tecnología, Infraestructura y Territorio de la Universidad Federal de la Integración Latino-Americana, como requisito parcial a la obtención del título de Arquitecto y Urbanista.

Orientador: Prof. Ms. Lúcio Flávio G. Freitas

Foz de  
Iguazú 2017

BRYAN GERMÁN GONZÁLEZ CEVALLOS

**ARQUITECTURA EN ÁREA DE MOVIMIENTOS SÍSMICOS:**

ESTUDIO Y PROPUESTA PARA IMPLANTACIÓN DE VIVIENDAS CON  
MATERIALES SISMO-RESISTENTES EN EL CANTÓN DE PEDERNALES,  
PROVINCIA DE MANABÍ-ECUADOR.

Trabajo de Conclusión de Curso presentado  
al Instituto Latino-Americano de Tecnología,  
Infraestructura y Territorio de la Universidad  
Federal de la Integración Latino-Americana,  
como requisito parcial a la obtención del  
título de Arquitecto y Urbanista.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Orientador: Prof. Ms. Lúcio Flávio Gross Freitas  
(UNILA)

---

Prof. Ms. Egon Vettorazzi  
(UNILA)

---

Prof. Ms. Cesar Winter de Mello  
(UNILA)

Foz de Iguazú, 14 de Julio de 2017

Dedico este trabajo a la bendición más grande que Dios me ha enviado, a mi mayor inspiración, y mis ganas de seguir triunfando, al amor más puro y tierno, mi hija  
VALENTINA

## **AGRADECIMENTOS**

En primer lugar, quiero agradecer al gran Arquitecto de la vida, a Dios, por permitirme llegar tan lejos y cumplir con cada una de mis metas planteadas, porque sé que a donde quiera que yo vaya él siempre está presente cuidándome, dándome fuerza, y sobre todo otorgándome seguridad y bienestar.

En segundo instante agradezco a mi pequeña familia, pero de gran corazón, que son lo más hermoso y valioso que tengo en la vida. A mi padre y a mi madre, por tener la valentía y el coraje de salir adelante, enseñándome grandes valores y principios como la humildad, la responsabilidad, la honestidad, la persistencia, el respeto, y más que todo el amor. A todas mis hermanas, a Patty por apoyo brindado desde el inicio y por motivarme a seguir en este camino de lucha, a Gladis y Marcelo por ser las personas más humildes y por todo el cariño y la ayuda que me han sabido dar. A Marina y Mayerly por ser mis mejores amigas con las cuales compartí muchos momentos, y a mis sobrinos por darme la alegría y la dicha de volver a la niñez. Y finalmente quiero agradecer a dos seres importantes en mi vida que Dios me envió, para que cuidara, para que amara, para que protegiera, las cuales me han llenado de amor, valentía, motivación, inspiración y coraje para cada día ser alguien mejor, la una me espero durante un año y medio, entregándome el amor más puro y sincero, manteniéndose fuerte a pesar de la distancia, ella es mi novia, y la otra que con una sonrisa angelical me enamora cada día más y fue quien me dio ese impulso para ahora llegar a esta etapa final, ella es mi hija.

En tercer lugar, agradezco a todos mis profesores del curso de Arquitectura y Urbanismo por todos los conocimientos adquiridos, a mi orientador de Trabajo de Conclusión de Curso el Lic. Ms. Lúcio Flávio Gross Freitas, por la dedicación y la orientación a lo largo del trabajo y al Ing. Miguel Tisalema por todo el conocimiento y por las horas de dedicación brindadas para la elaboración de este trabajo.

Por último, agradezco a la Universidad Federal de la Integración Latino-Americana, por abrirme las puertas en un momento de sueños y anhelos mostrándome una visión diferente de la realidad, conociendo diferentes facetas de

los pueblos de América Latina y el mundo. Y sin duda a mis amigos latinoamericanos por esa vivencia de intercambio y enriquecimiento cultural, por tantos años de buenos y malos momentos, por los trabajos y la dedicación a lo largo de este camino que cada vez se fue luchando.

*“Aprendí que los sueños transforman la vida en una gran aventura. Ellos no determinan el lugar a donde vamos a llegar, pero producen la fuerza necesaria para arrancarnos del lugar en que estemos”*

(Augusto Cury)

GONZÁLEZ, Bryan. **Arquitectura en Área de Movimientos Sísmicos**: Estudio y propuesta para implantación de viviendas con materiales sismo-resistentes en el cantón de Pedernales, Provincia de Manabí-Ecuador.2017. 222p. Trabajo de Conclusión de Curso (Graduación en Arquitectura y Urbanismo) – Universidad Federal de la Integración Latino-Americana, Foz de Iguazú, 2017.

## RESUMEN

Este trabajo está direccionado a la investigación y a la práctica sobre tecnologías y materiales constructivos, que pueden ser empleados para viviendas en autoconstrucción, sobre todo para zonas en donde se presentan movimientos sísmicos. A partir de la investigación y levantamientos de campo realizados se proponen módulos de habitación unifamiliar de carácter sismo resistente, en base a la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC) 2015 y al Manual de Arquitectura e Ingeniería del Instituto Latino Americano del Fierro y del Acero (2007), para ser implantadas en el cantón de Pedernales, provincia de Manabí-Ecuador, la cual se localiza en una zona de alta actividad sísmica y que fue albo de varias pérdidas humanas y materiales en el último terremoto del 16 de abril del 2016. En Ecuador desde el año 1541 hasta 1998 han sucedido 37 sismos de gran magnitud, con un promedio de 0.08 eventos por año y con una recurrencia de terremotos destructivos a cada 12.37 años, a partir de las estadísticas se presenta un interés principalmente en zonas de amenaza sísmica. La metodología abordada para el siguiente trabajo está basada en investigación bibliográfica definiendo términos estructurales y cargas actuantes sobre una edificación, utilizando autores como: Salvadori (2011), Rebello (2000), Diez (2012) y Ching (2010), así como también conceptos de sismicidad basándose en el autor Nava (2002) y el estudio de tecnologías constructivas con los autores Freire, Beraldo (2013). En la segunda etapa del trabajo, se realiza una investigación de campo viajando al cantón de Pedernales, provincia de Manabí en Ecuador, para identificar los daños estructurales de las viviendas causadas por el sismo, a través de un levantamiento fotográfico y entrevistas a los ciudadanos, y por último realizar una visita a una obra de construcción sismo resistente en la ciudad de Quito. Con la colecta de los datos y el estudio de las tecnologías y materiales constructivos se propone la realización de tres prototipos de viviendas unifamiliar sismo resistente a base de una modulación, con el sistema que mejor se adaptaba a la zona sísmica delimitada, el cual *Steel Framing* cumplía con dichas características al ser un material leve, rígido y sobre todo económico en relación con el sistema convencional de concreto armado y mampostería. Posteriormente se analiza un prototipo de vivienda unifamiliar sismo resistente, con el *software* SAP 2000, con el objetivo de comprobar su resistencia ante un fenómeno natural y verificar el estudio teórico puesto en la práctica simulando movimientos sísmicos en el sistema estructural de los perfiles de acero en frio de Steel Framing. Como parte del resultado final se desenvuelve un instrumento de divulgación para que la población y profesionales puedan utilizar como guía en las construcciones en zonas donde se presentan abalos sísmicos evitando futuros daños.

**Palabras-clave:** Tecnologías y Materiales Constructivos, Cantón de Pedernales, Autoconstrucción, Módulo Habitacional Unifamiliar, Sismo Resistente, Steel Framing.

GONZÁLEZ, Bryan. **Arquitetura na Área de Movimentos Sísmicos: Estudo e proposta para implantação de moradias com materiais sismo-resistentes na Cidade de Pedernales na Província de Manabí-Ecuador.** 2017. 222p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2017.

## RESUMO

O trabalho destina-se à pesquisa e práticas sobre tecnologias e materiais construtivos, que podem ser implantados para moradias na autoconstrução, especialmente para áreas onde os terremotos ocorrem. A partir da pesquisa e os levantamentos de campo se propõe módulos de habitação unifamiliar de caráter sismo resistente com base na Norma Equatoriana de Construção (NEC) 2015 e o Manual da Arquitetura e da Engenharia do Instituto Latino Americano do Ferro e do Aço (2007), para serem implantadas na cidade de Pedernales na província de Manabí-Ecuador, que está localizada numa área de alta atividade sísmica e foi alvo de várias perdas humanas e materiais no último terremoto ocorrido o 16 de abril de 2016. No Equador desde 1541-1998 houve 37 sismos de grande magnitude, com a média de 0.08 eventos por ano e com uma recorrência de terremotos destrutivos a cada 12.37 anos, a partir das estadísticas surge o interesse principalmente nas áreas de riscos sísmicos. A metodologia adotada para o seguinte trabalho está baseada na pesquisa bibliográfica que define os termos estruturais e as cargas atuantes na edificação, usando autores tais como: Salvadori (2011), Rebello (2000), Diez (2012) e Ching (2010), bem como conceitos de sismicidade com base no autor Nava (2002) e o estudo das tecnologias e materiais de construção com os autores Freire, Beraldo (2013). Na segunda etapa do trabalho, realiza-se uma pesquisa de campo fazendo uma viagem na cidade de Pedernales, província de Manabí no Equador, para identificar os danos estruturais das vivendas causadas pelo sismo, através de um levantamento fotográfico e entrevistas com os cidadãos, e por último fazer uma visita numa construção sismo resistente na cidade de Quito. Com a recolha de dados e o estudo das tecnologias e dos materiais de construção se apresenta três protótipos de residência unifamiliar sismo resistente com base de uma modulação, com o sistema mais adequado na zona sísmica delimitada, no qual o *Steel Framing* satisfazia com tais características por ser um material leve, rígido e, especialmente econômico em relação ao material do sistema convencional de concreto armado e mamposteria. Posteriormente se faz uma análise de um protótipo de residência unifamiliar sismo resistente com o software SAP 2000, a fim de verificar a sua resistência a um fenômeno natural e verificar o estudo teórico colocado na pratica simulando movimentos sísmicos através do sistema estrutural dos perfis de aço em frio de Steel Framing. Como parte do resultado final desenvolve-se um instrumento de divulgação para que a população e profissionais possam utilizar como guia nas construções em áreas onde se apresentam abalos sísmicos evitando danos futuros.

**Palavras-chave:** Tecnologias e Materiais Construtivos, Cidade de Pedernales, Autoconstrução, Módulo Habitacional Unifamiliar, Sismo resistente, Steel Framing.

GONZALEZ, Bryan. **Architecture in the area of seismic movements:** study and proposal for the implementation of housing with earthquake-resistant materials in the canton of Pedernales, Province of Manabi-Ecuador.2017. 222p. Work of conclusion of Course (graduation in Architecture and Urbanism) - Federal University of Integration Latino-Americana, Foz de Iguazu, 2017.

## ABSTRACT

This work is directed to research and practice on technologies and materials that can be used for housing in construction, especially for areas where there are seismic movements. From the research and field survey made room modules are proposed house of character earthquake resistant, on the basis of the Ecuadorian Rule of Construction (NEC) 2015 and the Manual of Architecture and Engineering of the Institute of Latin American Iron and Steel Institute (2007), to be implanted in the canton of Pedernales, province of Manabí-Ecuador, which is located in an area of high seismic activity and that was the center of several human and material losses in the last earthquake of 16 April 2016. In Ecuador since the year 1541 up to 1998 there have been 37 earthquakes of great magnitude, with an average of 0.08 events per year and with a recurrence of destructive earthquakes to every 12.37 years, from statistics show an interest mainly in areas of seismic hazard. The methodology addressed for the next job is based on bibliographic research defining structural terms and loads acting on a building, using authors as: Salvadori (2011), Rebello (2000), Diez (2012) and Ching (2010), as well as concepts of seismic activity on the basis of the author Nava (2002) and the study of constructive technologies with the authors Freire, BERALDO (2013). In the second stage of labor, is carried out a field investigation traveling to the canton of Pedernales, province of Manabí in Ecuador, to identify the structural damage to homes caused by the earthquake, through a photographic survey and interviews to the citizens, and finally make a visit to a seismic resistant construction in the city of Quito. With the collection of data and the study of the constructive technologies and materials it is proposed to conduct three prototypes of a family house earthquake-resistant housing based on a modulation, with the system best suited to the seismic zone delimited, which Steel Framing complied with these characteristics to be a mild, rigid material and above all economic, in relation to the conventional system of reinforced concrete and masonry. Second, we look at a prototype house earthquake resistant, with software SAP 2000, with the objective of verifying their resilience in the face of a natural phenomenon and check the theoretical study put in practice by simulating seismic movements in the structural system of the cold steel profiles of Steel Framing. As part of the final result is an instrument of outreach to the population and professionals can use as a guide in the constructions in areas where there are seismic movements to avoid further damage.

**Key words:** Technologies and Construction Materials, Canton of Pedernales, Self-construction, Single-family Housing Module, Earthquake-resistance, Steel Framing.

## Lista de Figuras

Figura 1. Materialidad de la Arquitectura resumida en tres exigencias .....	27
Figura 2. Principios de la Arquitectura por Vitrubio .....	28
Figura 3. Superestructura y Subestructura de una edificación .....	29
Figura 4. Pilares de una edificación .....	30
Figura 5. Pandeo y radio de giro de un pilar .....	31
Figura 6. Pilares de edificio anclados a los cimientos .....	32
Figura 7. Vigas de una edificación .....	33
Figura 8. Viga soportando cargas transversales .....	33
Figura 9. Representación de la deflexión y el momento flector en una viga .....	34
Figura 10. Tipos de cizallamiento en una viga .....	34
Figura 11. Viga en voladizo .....	35
Figura 12. Losas en varios vanos de una edificación .....	36
Figura 13. Tipos de losas .....	37
Figura 14. Pared portante .....	37
Figura 15. Corte esquemático mostrando la superestructura y las fundaciones de una edificación .....	38
Figura 16. Fuerzas colineales y fuerzas concurrentes .....	39
Figura 17. Barra sujeta a esfuerzos de tracción .....	41
Figura 18. Barra sujeta a esfuerzos de compresión .....	41
Figura 19. Barra sujeta a fuerzas perpendiculares .....	42
Figura 20. Barra sometida a esfuerzos de flexión .....	43
Figura 21. Cargas permanentes .....	44
Figura 22. Mobiliarios concentrados en la cocina, ejerciendo cargas útiles .....	45
Figura 23. Cargas eólicas en una edificación .....	47
Figura 24. Periodo de oscilación de un edificio .....	47
Figura 25. Colapso de Puente de Tacoma (EE.UU), por oscilaciones aerodinámicas .....	48
Figura 26. Amortiguador dinámico para contrarrestar cargas eólicas y sísmicas .....	49
Figura 27. Dilatación de un puente por cargas térmicas .....	51
Figura 28. Deformación de pilares y vigas ocasionadas por cargas térmicas .....	52
Figura 29. Distribución proporcional de esfuerzos de recalque .....	52
Figura 30. Cargas sísmicas .....	53

Figura 31. Cargas actuantes en una edificación sin abalo sísmico .....	55
Figura 32. Fuerzas actuantes durante un abalo sísmico. ....	56
Figura 33. Flujo de fuerzas de una estructura durante vibraciones sísmicas .....	57
Figura 34. Fallas en las columnas.....	57
Figura 35. Falla viga-columna .....	58
Figura 36. Fallas de punzonamiento .....	58
Figura 37. Movimiento de las placas sísmicas .....	60
Figura 38. Tipos de fallas .....	61
Figura 39. Rotura de la masa denominada pangea, en dos grandes continentes: Laurasia y Godwana .....	61
Figura 40. Placas tectónicas en el mundo.....	62
Figura 41. Formas Volumétricas Irregulares .....	67
Figura 42. Formas de rigidez adaptadas a la edificación .....	67
Figura 43. Construcción a través de concreto armado.....	71
Figura 44. Longitud de anclaje del concreto.....	72
Figura 45. Concentración de masas, según sus esfuerzos .....	72
Figura 46. Sistemas constructivos a base de hormigón armado.....	73
Figura 47. Comportamiento mecánico de la madera.....	74
Figura 48. Madera traccionada y sujeta por medio de tornillos .....	74
Figura 49. Madera encajada sometida a esfuerzos de compresión .....	75
Figura 50. Técnica del Kanji en pagodas .....	76
Figura 51. Simulación sísmica en Japón.....	77
Figura 52. Richmond Olympic Oval.....	79
Figura 53. Partes del bambú .....	80
Figura 54. Pabellón de la Expo-Hannover en Manizalez- Colombia .....	81
Figura 55. Vivienda construida con sistema Wood Framing .....	82
Figura 56. Fundación radier .....	83
Figura 57. Vivienda de Steel Framing de FORMAC SA en Chile.....	84
Figura 58. Elementos constructivos de Steel Framing .....	85
Figura 59. Vivienda en Chile con Steel Framing .....	86
Figura 60. Mediateca de Sendai.....	87
Figura 61. Fachada de maqueta, mostrando la sobre posición de las losas cuadradas.....	88
Figura 62. Plantas de la Mediateca de Sendai .....	89

Figura 63. Corte de la Mediateca, mostrando el ingreso de luz por medio de los pilares estructurales .....	91
Figura 64. Separación de ambientes por medio de mobiliarios.....	91
Figura 65. Catedral de Christchurch de papel en Nueva Zelanda.....	92
Figura 66. Vista interna de la catedral.....	93
Figura 67. Pantalla de vidrio de la catedral .....	93
Figura 68. Sistema constructivo de la iglesia por medio de papel y cartón .....	94
Figura 69. Edificio Titanium .....	95
Figura 70. Planta Arquitectónica de la Torre Titanium .....	96
Figura 71. Disipadores de energía en forma de "X" .....	97
Figura 72. Fachada cortina.....	98
Figura 73. Registro de pérdidas humanas .....	99
Figura 74. Región Costa.....	101
Figura 75. Región Sierra .....	102
Figura 76. Terremoto en 1949-Provincia de Tungurahua.....	103
Figura 77. Campamento en Pelileo, después del sismo de Tungurahua .....	103
Figura 78. Región Oriente .....	104
Figura 79. Galápagos.....	104
Figura 80. Mapa de la Provincia de Manabí.....	105
Figura 81. Edificio colapsado en el cantón Pedernales.....	106
Figura 82. Estructura colapsada.....	107
Figura 83. Casa de Madera y Caña .....	107
Figura 84. Dimensionamiento errado de pilares.....	109
Figura 85. Daños en cerramientos .....	110
Figura 86. Estribos mal distribuidos .....	110
Figura 87. Dimensionamiento de estribos para viga y pilar .....	111
Figura 88. Flambaje en la varilla de un pilar.....	112
Figura 89. Arena del mar en la mezcla de concreto .....	112
Figura 90. Varillas expuestas a la intemperie.....	113
Figura 91. Viviendas en zonas no habitables .....	114
Figura 92. Forma irregular.....	115
Figura 93. Portimão, Centro Cooperativo.....	122
Figura 94. Sistema de vigas de concreto armado y acero y losa Steel Deck.....	123
Figura 95. Pared con riostra.....	124

Figura 96. Pilares del Portimão .....	124
Figura 97. Zoneamiento sísmico de Ecuador .....	127
Figura 98. Perfiles separados a 400mm uno de otro.....	130
Figura 99. Transmisión de cargas en el sistema Steel Framing.....	132
Figura 100. Colocación de dintel en aberturas .....	133
Figura 101. Parámetros para una vivienda sismo resistente.....	135
Figura 102. Malla para modulación de espacios en Steel Framing .....	136
Figura 103. Principios de Sismo resistencia.....	138
Figura 104. Forma regular de la planta y elevación .....	139
Figura 105. Primer Prototipo de Vivienda.....	139
Figura 106. Adición de prisma a la forma regular.....	140
Figura 107. Segundo Prototipo de Vivenda.....	140
Figura 108. Desconstrucción del cubo .....	141
Figura 109. Tercer Prototipo de Vivienda.....	141
Figura 110. Estructura diseñada (Prototipo 1).....	160
Figura 111. Análisis sísmico perfil mínimo (fachadas) .....	162
Figura 112. Análisis sísmico perfil mínimo (plantas) .....	163
Figura 113. Cobertura .....	164
Figura 114. Dimensionamiento estructural sismo resistente (fachadas) .....	165
Figura 115. Dimensionamiento estructural sismo resistente (plantas) .....	166

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Dimensiones y masas de especies de bambú .....	80
Tabla 2. Catálogo de Terremotos en Ecuador.....	100
Tabla 3. Análisis cuantitativo de terremotos en Ecuador.....	101
Tabla 4. Problemas y soluciones para edificaciones en Pedernales.....	125
Tabla 5. Estructuración de la vivienda sismo resistente.....	128
Tabla 6. Tipos de perfiles y sus usos .....	131
Tabla 7. Participación de espacios e instalaciones en el costo de la edificación ....	134
Tabla 8. Participación de condicionantes en el costo total de la construcción .....	134
Tabla 9. Programa de necesidades.....	137
Tabla 10. Dimensiones de perfiles con medidas mínimas .....	161
Tabla 11. Especificaciones de materiales .....	161
Tabla 12. Tabla de dimensionamiento de perfiles para zona sísmica .....	164

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Número de pisos por vivienda .....	116
Gráfico 2. Número de personas por hogar .....	116
Gráfico 3. Materiales de construcción de las viviendas .....	117
Gráfico 4. Intervención de un profesional en la construcción de la casa .....	117
Gráfico 5. Años de experiencia en construcción del obrero .....	118
Gráfico 6. Materiales con mayor experiencia del obrero .....	118
Gráfico 7. Motivos por los cuales colapsaron las edificaciones: obrero .....	119
Gráfico 8. Motivos por los cuales colapsaron las edificaciones: arquitecto (a), ingeniero (a) .....	120
Gráfico 9. Responsabilidad por colapso de edificación .....	120
Gráfico 10. Materiales con características sismo-resistentes.....	121

## LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

ABNT	Asociación Brasileira de Normas Técnicas
CERESIS	Centro Regional de Sismología para América del Sur
ILATIT	Instituto Latino-Americano de Tecnología, Infraestructura y Territorio
ILAFA	Instituto Latino Americano del Fierro y del Acero
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censo
MIDUVI	Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda
NEC	Norma Ecuatoriana de Construcción
UNILA	Universidad Federal de la Integración Latino-Americana
USGS	Servicio Geológico de los Estados Unidos

## Tabla de contenido

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	5
<b>1. DELIMITACIÓN DE ESTUDIO E INVESTIGACIÓN</b> .....	15
1.1. EJE: .....	15
1.2. TEMA:.....	15
1.3. PROBLEMA:.....	15
<b>2. PRESENTACIÓN Y JUSTIFICATIVA</b> .....	16
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	20
3.1. OBJETIVO GENERAL: .....	20
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	20
<b>4. HIPÓTESIS</b> .....	21
<b>5. METODOLOGÍA</b> .....	22
5.1. INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	22
5.2. INVESTIGACIÓN DE CAMPO.....	22
5.3. OBSERVACIÓN DIRECTA O VISITA TÉCNICA .....	23
5.3.1. Entrevista .....	24
5.3.2. Cuestionario .....	24
5.3.3. Formulario .....	25
5.4. DESENVOLMIENTO DE MÓDULO HABITACIONAL E INSTRUMENTO DE DIVULGACIÓN.....	25
5.5. ANALISIS SISMICO DE MÓDULO HABITACIONAL.....	26
<b>6. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA</b> .....	27
6.1. CONCEPTUALIZACIÓN ESTRUCTURAL .....	27
6.1.1. Materialidad de la Arquitectura.....	27
6.1.2. Estructura.....	28
6.2. FUERZAS ACTUANTES EN LA ESTRUCTURA.....	39

6.2.1. Fuerza .....	39
6.2.2. Cargas.....	43
6.3. CARGAS EN SITUACIONES FUERA Y DURANTE ABALO SÍSMICO .....	54
6.3.1. Cargas sin abalos sísmicos.....	54
6.3.2. Cargas durante abalo sísmico.....	56
6.4. DAÑOS ESTRUCTURALES OCASIONADOS POR UN SISMO .....	56
6.5. CONCEPTUALIZACIÓN DE SISMOLOGÍA .....	59
6.5.1. Replicas .....	60
6.5.2. Tipos de Fallas .....	60
6.5.3. Formación de continentes .....	61
6.5.4. Placas Tectónicas .....	62
6.5.5. Riesgo Sísmico .....	63
6.5.6. Sismo-resistencia.....	63
6.6. FILOSOFÍA DEL DISEÑO .....	64
6.6.1. Recomendaciones para el diseño sísmico .....	65
6.6.2. Principio de estructuración para sismo-resistencia .....	66
6.6.3. Solicitaciones para diseño sísmico.....	68
6.7. TECNOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS .....	69
6.7.1. Acero.....	70
6.7.2. Concreto Armado .....	70
6.7.3. Madera .....	74
6.7.4. Bambú.....	79
6.7.5. Wood Framing.....	82
6.7.6. Steel Framing.....	84
6.8. ESTUDIOS DE CASO .....	87
6.8.1. Mediateca de Sendai.....	87
6.8.2. Catedral de Christchurch.....	92

6.8.3. Torre Titanium .....	95
<b>7. DESENVOLVIMIENTO .....</b>	<b>99</b>
7.1. ECUADOR-CONTEXTUALIZACIÓN HISTÓRICA DE ABALOS SÍSMICOS ..	99
7.1.1. Región Costa .....	101
7.1.2. Región Sierra o Interandina .....	102
7.1.3. Región Oriente .....	104
7.1.4. Galápagos .....	104
7.2. PROVINCIA DE MANABÍ .....	105
7.2.1. Último Terremoto Destructivo-16 de abril del 2016 .....	106
<b>8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>108</b>
8.1. VISITA TÉCNICA Y ENTREVISTAS.....	108
8.2. FORMULARIOS .....	116
8.3. CUESTIONARIOS .....	119
8.4. VISITA DE OBRA SISMO RESISTENTE EN LA CIUDAD DE QUITO .....	122
<b>9. ESTUDIO DEL ÁREA .....</b>	<b>127</b>
9.1. JUSTIFICATIVA DE LA ELECCIÓN DEL CANTÓN DE PERDENALES .....	127
9.2. ÁREAS PERMISIBLES DE CONSTRUCCIÓN EN PEDERNALES.....	128
9.3 DIRECTRICES PROYECTUALES.....	128
9.3.1. Tecnología constructiva y Sistema estructural adaptado a la vivienda ..	128
9.3.2. Modulación para Steel Framing.....	130
9.3.3. Comparativo Costo/Accesibilidad.....	133
9.3.4. Concepto Arquitectónico .....	135
9.4. PROGRAMA DE NECESIDADES .....	137
9.5. PROCESO PROYECTUAL.....	138
9.6. PLANTAS ARQUITECTÓNICAS .....	142
9.7. ANÁLISIS SÍSMICO.....	160
9.8. INSTRUMENTO DE DIVULGACIÓN .....	167

<b>10. CONSIDERACIONES FINALES</b> .....	175
<b>11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	179
11.1 Específica .....	179
11.2 General .....	180
APÉNDICE A.....	186
APÉNDICE B.....	188
APÉNDICE C .....	190
APÉNDICE D .....	192
<b>12. ANEXOS</b> .....	194

## **1. DELIMITACIÓN DE ESTUDIO E INVESTIGACIÓN**

### **1.1. EJE:**

Tecnología

### **1.2. TEMA:**

Arquitectura en Área de Movimientos Sísmicos

### **1.3. PROBLEMA:**

¿Cómo se puede proponer una arquitectura que atienda residencias a ser implantadas en el área de movimientos sísmicos de la Región Costa de Ecuador, en el Cantón de Pedernales, Provincia de Manabí?

## 2. PRESENTACIÓN Y JUSTIFICATIVA

El país de Ecuador está ubicado en la línea equinoccial o línea *equatorial*, limitando al norte con Colombia, al este y sur con Perú y al oeste con el Océano Pacífico. Posee una superficie de 283.561 km<sup>2</sup>, del cual se divide en cuatro regiones naturales, Costa, Sierra, Amazonía y Región Insular. Su población es de 16.298.217 habitantes (INEC, 2015)<sup>1</sup>.

Ecuador es un territorio que está situado en la zona conocida como Cinturón de Fuego, escenario de gran actividad sísmica y volcánica, es decir, se presentan cambios en la superficie de la Tierra, como respuesta a las placas tectónicas.

La República del Ecuador se localiza entre la Placa Sudamericana y la Placa de Nazca generando un área de subducción frente a las Costas y varias placas tectónicas al interior del territorio en donde se originan la mayoría de movimientos sísmicos del país. Debido a la Placa Nazca y Sudamericana se producen fuerzas muy importantes sobre los bordes de ambas placas generando fracturas en el interior de ellas, lo que se denominan fallas geológicas, en el País existe un aproximado de 10 fallas geológicas.

De acuerdo con Aguiar (2008), en el cinturón circunpacífico y en Ecuador, el proceso de subducción de la placa Nazca genera un alto grado de sismo durante su recorrido, bazamiento hacia el este, por ese motivo es que la costa ecuatoriana tiende a sufrir mayores terremotos produciendo un hipocentro superficial. Un ejemplo notorio fue el sismo en la ciudad de Bahía de Caráquez de 1998, que tuvo su origen en la zona de subducción. Los sismos superficiales son los que causan mayor daño y estos suceden en la región Costa, seguido de la región Sierra y Amazonía que sufren menos daños.

En la historia de Ecuador se han presentado varios movimientos sísmicos de diferentes magnitudes y en diferentes lugares del País, de los cuales

---

<sup>1</sup> INEC: Instituto Nacional de Estadística y Censo  
Disponible en: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/vdatos/>, Acceso en: 17/09/2016

están los que más han generado un impacto ambiental y social: el terremoto ocasionado en la ciudad de Esmeraldas en 1906, con una magnitud de 8.6 escala Richter según Catálogo CERESIS (1985)<sup>2</sup>, generando un Tsunami en Bahía de Caráquez, ciudad situada en la Región Costa, con un total de 1.000 a 1.500 muertes; Ambato, en 1949, con una magnitud de 6.8 Richter dejando un aproximado de 5.050 personas fallecidas (USGS); Santa Elena, en 1953, con magnitud de 7.3 en escala Richter; Frontera Ecuador-Perú, en 1958, un sismo de magnitud 8.0 en escala Richter dejando destruidas el 30% de las edificaciones en la ciudad de Esmeraldas; Volcán Reventador, en 1979, con magnitud 6.1-6.9 escala Richter dejando 1000 fallecidos y daños materiales por \$1000 millones; Tena, en 2010, con magnitud de 7.2 Richter; Quito, en 2014, sismo de 5.1 en escala Richter, Esmeraldas, 2016, con magnitud de 7.8 escala Richter afectando en gran parte, a varias ciudades de la Costa, principalmente a la Provincia de Manabí que fue una de las más perjudicadas, dejando un total de 673 personas fallecidas a nivel nacional.

Conforme Aguiar (2008, p.1), *“Es importante crear conciencia de que los sismos no matan, lo que matan son las estructuras si es que no han sido diseñadas de forma adecuada”*.

Los movimientos telúricos ocasionados en Ecuador, han generado grandes pérdidas de viviendas, destruyéndolas parcial o totalmente, debido a ciertos factores que se deben considerar como la ubicación de las viviendas en el territorio y los materiales con los cuales son construidos. Se estima que, en Ecuador aproximadamente 2.8 millones de ciudadanos y ciudadanas del País están localizados en asentamientos precarios y 37.064 hogares situados en zonas de amenazas no mitigables, declaradas no habitables (MIDUVI, 2014)<sup>3</sup>.

En el País existe un *déficit* habitacional de 45%, de los cuales un 36% sufren *déficit* cualitativo y un 9% *déficit* cuantitativo, que están distribuidos en distintas provincias, en su mayoría de la Región Costa como: El Oro, Esmeraldas, Guayas, Los Ríos, Manabí, y de la Región Sierra Pichincha.

---

<sup>2</sup> CERESIS: es el Centro Regional de Sismología para América del Sur. Disponible en: <http://www.ceresis.org/> Acceso en: 11/09/2016

<sup>3</sup> MIDUVI: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda de Ecuador. Acceso en: 12/09/2016

Con el *déficit* habitacional y el difícil acceso a la vivienda, sean por motivos económicos o por créditos hipotecarios, la población ha tomado como una solución la autoconstrucción de viviendas. Esta forma de construir llega a un 70% en el sector informal, es decir las viviendas son de baja calidad, muchas veces construidas por un obrero, sin el asesoramiento de un técnico o un profesional y sin seguir las normas de construcción y de urbanismo (MIDUVI, 2009).

La autoconstrucción se vuelve un modo de construir ante la disparidad de los ingresos de una casa y el costo de la vida, siendo que un hogar promedio necesita ahorrar aproximadamente 41 salarios mínimos mensuales<sup>4</sup>, para comprar una vivienda. Como consecuencia, en el País existe un *stock* de viviendas precarias, en mal estado, con materiales de baja calidad, muchas veces con carencias de servicios básicos, de manera ilegal, sin títulos de propiedad y situados en terrenos de zona de riesgo.

Los materiales predominantes para la construcción en Ecuador según la encuesta realizada por el INEC, en el 2014 son: para la elaboración de los cimientos un 81.57% usa el hormigón armado, el 8.51% prefieren hormigón ciclópeo, el 0.10% pilotes de hormigón y el 0.04% utiliza pilotes de madera. Para la estructura se utiliza: el hormigón armado en 93%, material metálico en un 5.66% y madera 0.25%. Para las paredes son utilizados: bloques registrando el 61.53% de utilidad en el País, ladrillo con un 37.14%, paredes prefabricadas 0.38%, madera 0.14%, adobe tapia 0.05% y caña revestida 0.02%. En las cubiertas son usados: hormigón armado 62.90%, teja de asbesto 24,45%, teja cerámica 5.90% y teja de zinc 7.56%. En los datos expuestos se observa que el hormigón armado es un material que predomina en las construcciones de viviendas en el País, principalmente en la autoconstrucción, que es utilizado muchas de las veces sin los cálculos respectivos ni materiales de calidad.

El último terremoto, ocasionado el 16 de abril del 2016, azotó las costas del noroccidente de Ecuador, el epicentro se localizó en el Cantón Muisne, Ciudad de Esmeraldas, sin embargo, las áreas más afectadas fueron las provincias de Manabí, Esmeraldas, Santa Elena, Guayas, Santo Domingo y Los Ríos. La

---

<sup>4</sup> De acuerdo al diario El Telégrafo, el Salario Básico Unificado (SBU) en Ecuador para el 2017 es \$375 dólares americanos.

provincia que mayores daños ocasionó el sismo fue en Manabí y uno de sus cantones Pedernales, con una población de 55.000 habitantes. El sismo de 7.8 grados en escala Richter dejó 673 muertos, 9 desaparecidos, 6.274 heridos, 28.775 personas en albergue y 6.998 edificaciones destruidas, las cuales en su gran mayoría eran de hormigón armado, de acuerdo a informes del presidente de la República del Ecuador Rafael Correa, según el Diario El Universo (2016)<sup>5</sup>.

De acuerdo al censo realizado por el MIDUVI (Ministerio de Desarrollo y Vivienda), después de que aconteciera el sismo, se evaluaron daños en 24.013 edificaciones en varias provincias, de los cuales 4.925 edificaciones en la provincia de Esmeraldas, 665 estructuras con daños en Santo Domingo, 823 construcciones en Los Ríos, 102 edificaciones en Guayas y 17.295 viviendas presentaron daños en Manabí. Según evaluaciones técnicas, el 70% de la infraestructura en Pedernales tiene que ser demolida porque muestran graves daños tanto en su estructura, como en su fachada, conforme el Diario El Telégrafo (2016)<sup>6</sup>.

Los movimientos sísmicos presentes a lo largo de la historia en el Ecuador, principalmente en la Región Costa, han ocasionado la destrucción de muchas viviendas que no han estado preparadas para recibir esta clase de fenómenos naturales causando la muerte de miles de personas.

Mediante los datos sísmicos presentados se tiene una preocupación acerca del conocimiento por parte de la población y de los profesionales a la hora de construir una casa, sea una cuestión del diseño, materiales o cálculos, para que la edificación pueda resistir movimientos sísmicos como es el caso de un terremoto. De esta manera se justifica la propuesta del trabajo presentada.

---

<sup>5</sup> Disponible en: <http://www.eluniverso.com/noticias/2016/06/16/nota/5638848/terremoto-16-abril-ha-desencadenado-1896-replicas-dos-meses>. Acceso en 17/09/2016

<sup>6</sup> Disponible en: <http://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/ecuador/3/el-terremoto-afecto-a-24-013-edificaciones>. Acceso en 17/09/2016.

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1. OBJETIVO GENERAL:

Crear un módulo habitacional unifamiliar sismo resistente, con tecnologías y materiales que puedan ser utilizadas en la autoconstrucción de viviendas para zonas donde se presentan abalos sísmicos.

#### 3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Elaborar un estudio de tecnologías constructivas que puedan ser implantadas en áreas donde se presenten movimientos sísmicos principalmente para el cantón de Pedernales en la Provincia de Manabí.
2. Localizar problemas de construcción en las viviendas que sufrieron daños durante movimientos sísmicos.
3. Levantar datos de campo por medio de entrevistas y fotografías en el lugar donde acontecieron los hechos.
4. Crear un instrumento de divulgación que pueda ser adoptado en viviendas donde se presenten este tipo de fenómenos.

#### 4. HIPÓTESIS

- Mediante la utilización de materiales flexibles como el bambú, la madera, la caña, el acero etc., se podrá disminuir el número de viviendas afectadas, durante el abalo sísmico en la Provincia de Manabí.
- Cuanto más liviana sea la estructura o la edificación, menos será la fuerza que tendrá que soportar cuando ocurra un movimiento sísmico.
- Formas geométricas de la edificación deben ser sencillas y no complejas, es decir, asimétricas que pueden causar deformaciones a la hora de las vibraciones producidas por un terremoto.
- A partir de un material divulgativo, que contenga conocimientos técnicos y de diseño, se reducirán problemas de construcción para aquellas personas que realizan autoconstrucción de viviendas.
- Con la aplicación estricta de normas constructivas, disminuirán los riesgos destructivos de las edificaciones.

## 5. METODOLOGÍA

La metodología empleada para el desenvolvimiento del trabajo está dividido en varias etapas, compuesto de una parte teórica y otra parte práctica, las cuales direccionaran la investigación para llegar a los objetivos planteados.

### 5.1. INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA

Para Marconi y Lakatos (2003), la investigación bibliográfica o investigación secundaria, es aquella bibliografía pública relacionada con el tema en discusión. Esta investigación va desde; boletines, periódicos, revistas, libros, monografías, tesis, material cartográfico, etc., hasta medios de comunicación orales como: radio, grabaciones en cinta magnética y audiovisual, películas y televisión. El objetivo de la bibliografía es colocar al investigador en pleno contacto con trabajos que ya fueron escritos, dichos o filmados.

Según Fachin (2006, p.68, traducción nuestra):

La investigación bibliográfica es, por excelencia, una fuente inagotable de informaciones, pues auxilia en la actividad intelectual y contribuye para el conocimiento cultural en todas las formas de saber. Se puede decir que es un tipo de investigación que ocupa lugar de destaque entre las demás, por constituirse el primer paso en la vida del estudiante.

La investigación bibliográfica es cualquier tipo de investigación en cualquier área de conocimiento, que exige bibliografía previa, sea para cuestionamientos o para fundamentación teórica (CERVO; BERVIAN, 2002).

Esta primera parte metodológica, pretende revisar varias fuentes bibliográficas; de libros, tesis, artículos, periódicos y noticias, que ayuden en el desenvolvimiento del trabajo sobre la temática abordada. La bibliografía colectada, direccionará la parte teórica y técnica del trabajo de investigación.

### 5.2. INVESTIGACIÓN DE CAMPO

Es aquella utilizada con el objetivo de conseguir informaciones sobre un problema que busca una respuesta, o una hipótesis que desea comprobarse, o

tal vez descubrir nuevos fenómenos que se relacionen (MARCONI, M.A.; LAKATOS E.M., 2003).

Para Fachin (2005), la investigación de campo o investigación social se basa en el contexto en el cual es detectado un problema. Este fenómeno o problema pasa a ser examinado para posteriormente ser respondido por medios metodológicos y técnicos.

En la investigación de campo se emplearán instrumentos que proporcionarán respuestas a la problemática abordada. Para ello se utilizarán entrevistas, formularios, cuestionarios, y visitas técnicas.

### 5.3. OBSERVACIÓN DIRECTA O VISITA TÉCNICA

La observación directa o visita técnica, es aquella realizada a través de la observación, que permite recoger datos e informaciones, a partir de los sentidos, relacionándose con aspectos de la realidad. No solo se trata de ver o escuchar, más allá de eso se debe examinar los fenómenos que se van a estudiar (MARCONI, M.A.; LAKATOS E.M., 2003).

Se recomienda que la observación o visita de técnica, debe indicar el campo, el tiempo de duración de la misma, como también los instrumentos que serán utilizados y como estos serán registrados (CARVALHO, 2009, apud RUDIO 1978).

La observación directa o visita de campo, será elaborada en la segunda parte del trabajo de investigación (TCC II). Para ello, será necesario realizar un viaje a Ecuador, específicamente al cantón de Pedernales en la Provincia de Manabí, lugar que más daños presentó por el último sismo del 16 de abril del 2016. Por medio de este contacto directo, se logrará coleccionar datos a través de las entrevistas. Además, se visitará una obra con características sismo-resistente en la ciudad de Quito.

### 5.3.1. Entrevista

La entrevista es un diálogo entre dos personas, con el fin de que una persona obtenga información sobre el tema estudiado, a través de una conversación. Este procedimiento es utilizado en la visita técnica o de observación, donde se necesita coleccionar datos para el diagnóstico y que ayuden en el desenvolvimiento del trabajo (MARCONI, M.A.; LAKATOS E.M., 2003).

De acuerdo con Ana Florencia de Carvalho (2009), la entrevista consiste en una técnica de conversación directa, realizada de manera metódica. En este diálogo, el investigador debe tener sus objetivos bien planteados para coleccionar la información. Para la entrevista es necesario que esta sea estructurada, teniendo un conocimiento de las personas que serán entrevistadas, la hora y el lugar en donde se realizarán las entrevistas y organizar un itinerario para coleccionar datos de forma organizada.

#### 5.3.1.1. Entrevista Semi-Estructurada

Es un tipo de entrevista más espontánea, en relación a la entrevista estructurada. En esta entrevista el investigador posee un cuestionario de preguntas predefinidas, pero está en la libertad para realizar otras preguntas, cuyo interés surja en el transcurso de la entrevista (MARCONI, M.A.; LAKATOS E.M., 2003).

En la entrevista semi-estructurada, se busca trabajar con dos arquitectos y dos ingenieros, para tratar sobre el tema abordado, a través de un formulario elaborado, que nos permita coleccionar datos técnicos (Apéndice A).

### 5.3.2. Cuestionario

Según Marconi y Lakatos (2003), el cuestionario es un instrumento de colecta de datos, formado por una serie de preguntas, que pueden ser respondidas sin la presencia del entrevistador. Comúnmente los cuestionarios son enviados a las personas por medio de sus correos, para que puedan ser respondidos y retornados de la misma manera.

En el diccionario de sociología, de *Theodorson y Theodorson*, el cuestionario, es un modelo en el cual existe una serie de preguntas, cuyas respuestas deben ser respondidas personalmente por el informante sin la asistencia directa del investigador (FACHIN, 2006).

Este procedimiento pretende coleccionar datos, a partir de preguntas establecidas que serán enviadas por correo, a cinco arquitectos(as) y cinco ingenieros(as), los mismos que retornarán el cuestionario una vez respondido (Apéndice B).

### 5.3.3. Formulario

El formulario es un instrumento de colecta de datos, que se basa en el registro de informaciones de forma directa con el entrevistado. La característica del formulario está en que, es un contacto cara a cara entre el investigador y el informante, y el cuestionario de preguntas es llenado por el entrevistador conforme el informante vaya respondiendo (MARCONI, M.A.; LAKATOS E.M., 2003).

Es recomendable que antes de estructurar el formulario, tanto para cuestionario o para entrevista, es necesario definir con exactitud cuáles son las informaciones que se necesitarán, para que se realicen preguntas pertinentes y serán presentadas de manera ordenada siguiendo una lógica (CARVALHO, 2009, apud RUDIO, 1978).

En esta parte metodológica, serán aplicadas dos tipos de entrevistas: cuatro para moradores del cantón de Pedernales en la Provincia de Manabí (Apéndice C), y cuatro entrevistas para obreros de construcción (Apéndice D). Los formularios para este público blanco, tienen como objetivo conocer las diferentes perspectivas sobre construcción en zonas que presentan abalos sísmicos.

## 5.4. DESENVOLVIMIENTO DE MÓDULO HABITACIONAL E INSTRUMENTO DE DIVULGACIÓN.

A partir de la revisión bibliográfica, visitas de campo, entrevistas, formularios y cuestionarios, se obtendrá un resultado que permitirá el uso del

material más indicado para el área de estudio en la Provincia de Manabí. En la segunda parte del trabajo (TCC II), se propondrán módulos habitacionales que pueda ser usado por la población que se encuentra en zonas de abalos sísmicos. A partir de esta solución y con el estudio alcanzado, se elabora un instrumento de divulgación con el objetivo de orientar a las personas dando a conocer la tecnología utilizada para la propuesta de vivienda unifamiliar, considerando el diseño arquitectónico en zonas sísmicas y así evitar daños destructivos después de un fenómeno natural.

#### 5.5. ANALISIS SISMICO DE MÓDULO HABITACIONAL

Después de la realización proyectual del módulo habitacional unifamiliar sismo resistente, se elaborarán análisis sísmicos, a través del programa SAP 2000<sup>7</sup>, el cual, por medio de simulaciones de movimientos, se comprobará su resistencia.

---

<sup>7</sup> SAP 2000, es un software de elementos finitos, con interfaz gráfico en 3D, preparado para realizar de forma integrada, la modelación, el análisis y dimensionamiento de los elementos estructurales, trabajando con diferentes cargas: sismos, vientos y vehículos. Disponible: <http://www.csiespana.com/software/2/sap2000>. Acceso en: 30/09/2016

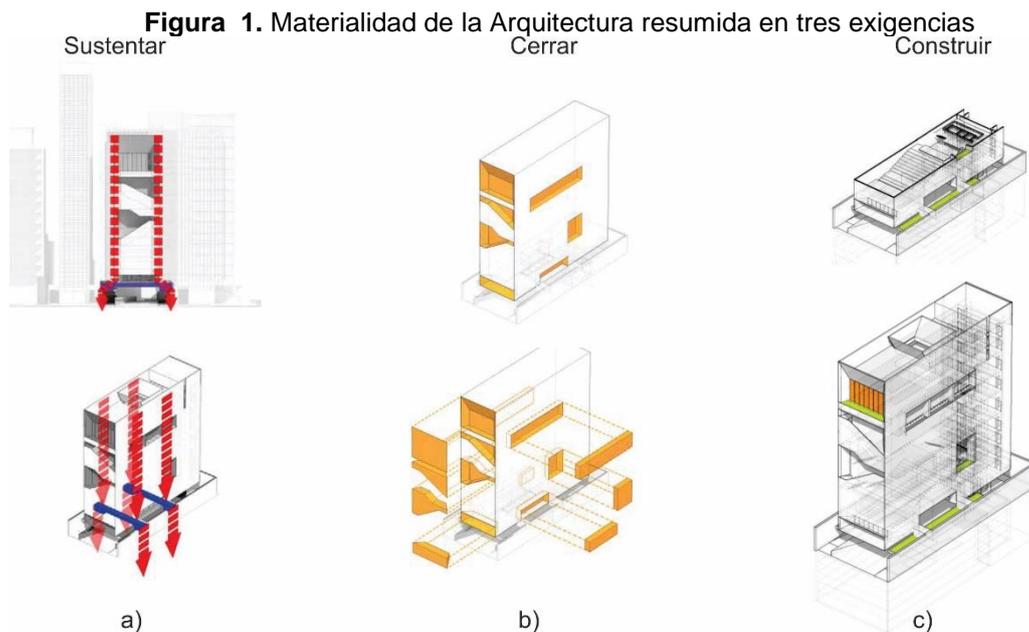
## 6. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

### 6.1. CONCEPTUALIZACIÓN ESTRUCTURAL

#### 6.1.1. Materialidad de la Arquitectura

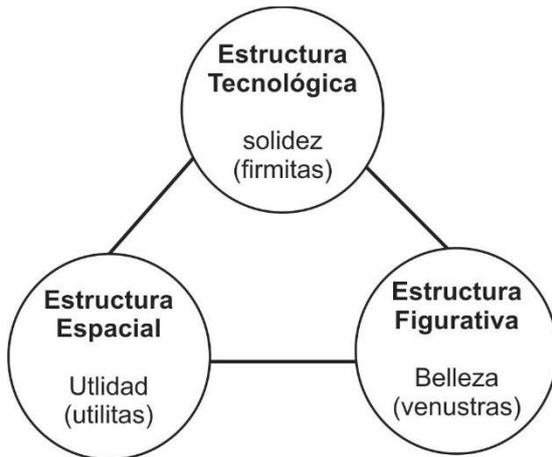
De acuerdo con García (2013), la materialidad de la Arquitectura es el reconocimiento de la dimensión esencial del hecho arquitectónico, que se puede resumir en tres exigencias: sustentar, cerrar y construir. Por tanto, se debe incorporar y asumir conscientemente en el proyecto arquitectónico desde su primera etapa, desde su concepción.

Cuando el autor habla de sustentar, se refiere al conjunto de cargas actuantes de acuerdo con el comportamiento estructural, con los materiales aptos para recibir esfuerzos que serán sometidos (Figura 1-a). La función de cerrar se refiere a que los espacios deben ser habitables de acuerdo a su finalidad, mediante la adaptación del material y recursos más aptos que cumplan dichas funciones (Figura 1-b). Y la de construir y proyectar refiriéndose a la función de la estructura, del cerramiento en un sistema constructivo coherente, ligado al contexto histórico-social en el cual esta inserido (Figura 1-c).



Para Diez (2012), hablar de Arquitectura, también es hablar de estructuras, es decir, no pueden separarse el uno del otro. La estructura es un elemento muy importante de la arquitectura, sea para dar abrigo o para cerrar algún espacio determinado.

**Figura 2.** Principios de la Arquitectura por Vitrubio



Fuente: González, B. Principios de la Arquitectura por Vitrubio, CAU-UNILA, Foz de Iguazú, 2016.

El autor señala que desde la antigüedad el hombre tuvo que desenvolver algunas formas para ciertos materiales y aprender a usarlos para soportar las distintas cargas, y así poder distribuir el espacio para desarrollar actividades.

Uno de los primeros arquitectos de la antigüedad, Vitruvio, decía que toda construcción debe tener 3 principios: solidez (firmitas), utilidad (utilitas), y belleza (venustras) (Figura 2).

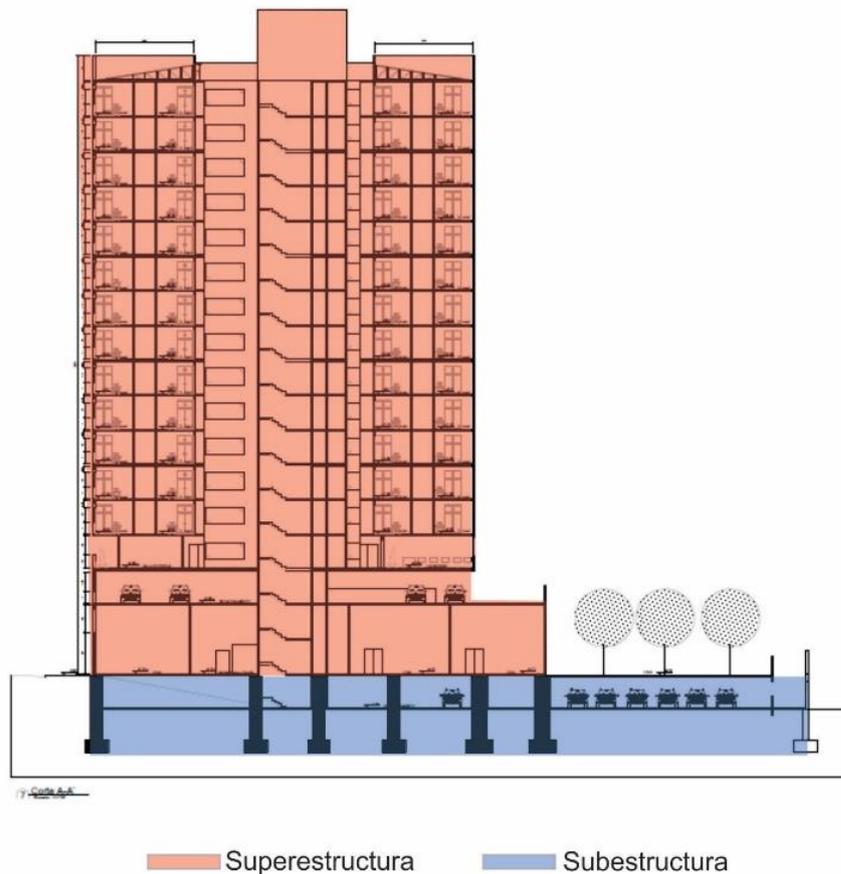
### 6.1.2. Estructura

La estructura es el conjunto de elementos que actúan como un todo, soportando y transmitiendo cargas. Cuando se habla de estructura, se piensa en un conjunto de partes que sustenta, soporta o distribuye cargas, en otras palabras, que hace un equilibrio estático en la construcción. La estructura deberá soportar tanto estáticamente como estéticamente una edificación (DIEZ, 2012).

Según Rebello (2000), la estructura a primera vista, es todo aquello que sustenta algo. En la arquitectura y sobre todo en las edificaciones, la estructura, es un conjunto de elementos como: pilares, vigas y losas, que se interrelacionan entre sí. Es decir, la losa se apoya en la viga y la viga en los pilares para realizar una determinada función, que es la de crear un espacio donde las personas pueden ejercer actividades.

Para Ching<sup>8</sup>, el sistema estructural en una edificación es proyectada con el fin de sustentar y transferir al suelo con seguridad, tanto las cargas laterales, como las cargas de gravedad. De esta manera el autor nombra las partes estructurales de la edificación: la superestructura y subestructura (Figura 3).

**Figura 3.** Superestructura y Subestructura de una edificación



Fuente: GONZÁLEZ, B. Diseño de proyecto habitacional de interés social, CAU-UNILA, Foz de Iguazú, 2016.

La superestructura es la extensión vertical de una edificación, en otras palabras, los elementos estructurales como: pilares, vigas, losas y paredes portantes. Y la subestructura, es la estructura que cumple la función de dar sustentación a la edificación, como son el caso de las fundaciones, que son las responsables de transportar las cargas hacia el suelo.

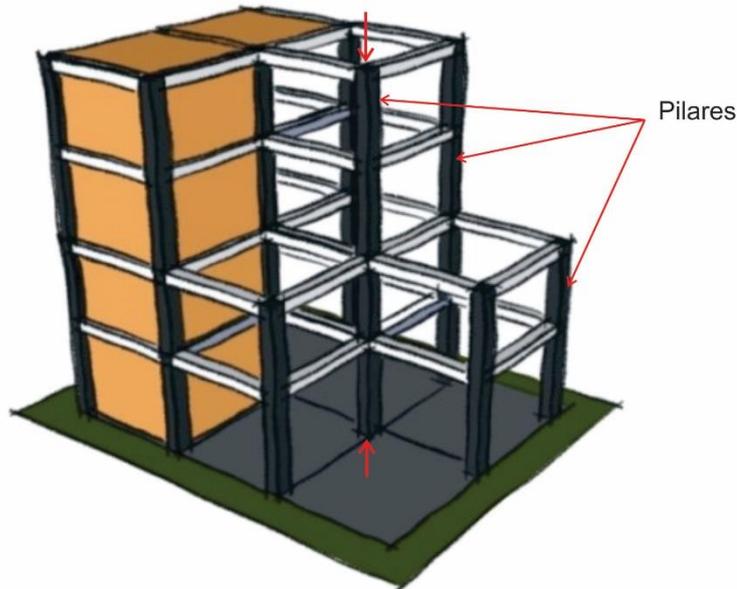
<sup>8</sup> Cf. Op. Cit. , p. 2.3

### 6.1.2.1. Superestructura

#### 6.1.2.1.1. Pilares

De acuerdo con Ching (2010) los pilares son elementos estructurales rígidos, relativamente esbeltos, que son proyectados para soportar cargas de compresión axial a sus extremidades (Figura 4). El colapso en una estructura ocurre cuando el esfuerzo de una carga axial excede su resistencia a la compresión del material disponible en la sección transversal. Una carga excéntrica, puede producir flexión y resultar en una distribución de solicitaciones desequilibradas en la sección.

**Figura 4.** Pilares de una edificación



Fuente: ABREU, COURET, 2013, edición nuestra

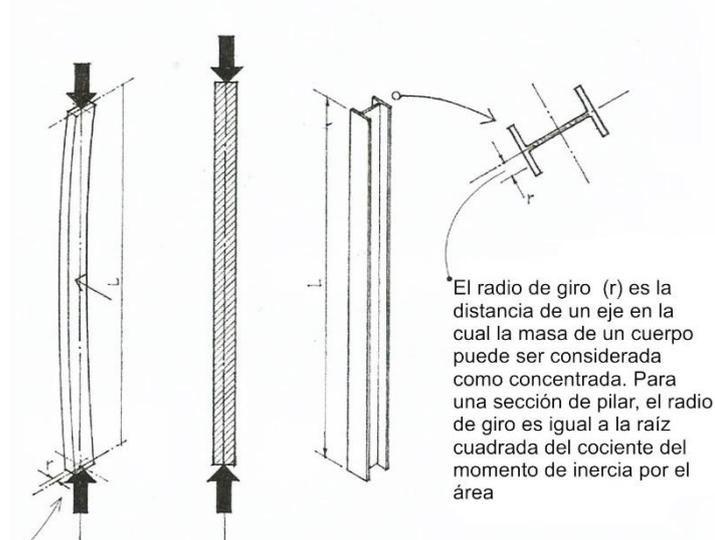
Aún, el autor afirma que los pilares largos y esbeltos, están más expuestos a colapsos por causa del pandeo<sup>9</sup>. Cuando una carga produce pandeo, el pilar comienza a tener inestabilidad lateralmente, y no consigue tener las fuerzas internas necesarias para regresar nuevamente a su punto de origen. Cuando mayor sea el índice de un pilar esbelto, menor es el esfuerzo que hará en la hora de pandeo.

---

<sup>9</sup> Pandeo es la inestabilidad lateral o de torsión repentina de un elemento estructural esbelto inducida, por la acción de una carga axial antes que la tensión del material sea alcanzada (CHING, 2000, p.2.13, traducción nuestra).

Uno de los principales objetivos de un pilar es reducir su índice de esbelteza, disminuyendo su longitud o maximizando el radio de giro<sup>10</sup> de su sección transversal como muestra la Figura 5.

**Figura 5.** Pandeo y radio de giro de un pilar



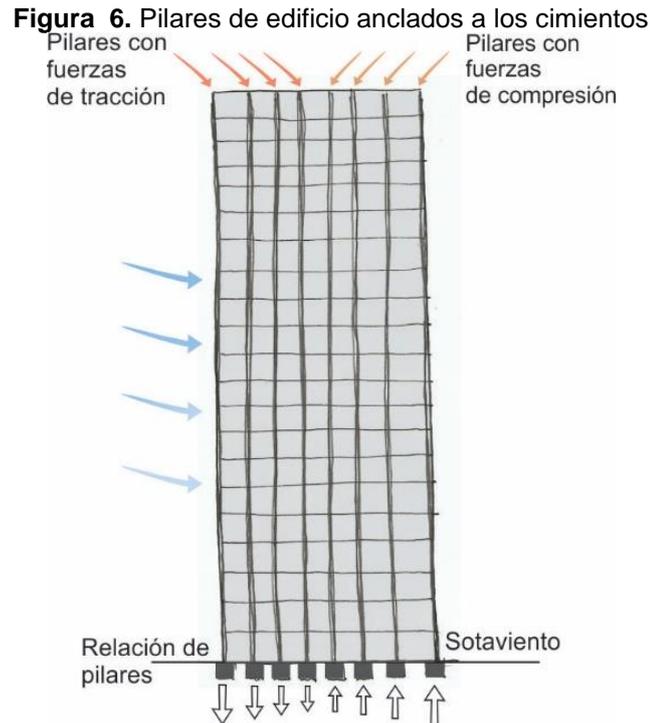
Fuente: CHING, 2010, p 2.13, edición nuestra

Salvadori (2011), afirma que el equilibrio da estabilidad a un edificio, así como a todas sus partes, y muestra un ejemplo de un terremoto que ocurrió en California en 1971. El edificio que funcionaba como un hospital, fue sacudido por el movimiento sísmico, sin sufrir daños significativos. La fuerza del terremoto fue suficiente para tumbar el edificio, pero la capacidad de equilibrio con que fue construida, bastó para mantener a la estructura en pie.

Incluso el autor indica, que un edificio para no ser tumbado, por efectos del viento, sus pilares deben ser anclados a los cimientos, posicionados profundamente en el suelo. Así, el edificio se curva ligeramente sobre la presión del viento, manteniéndose estable por su propio equilibrio de peso y porque las fuerzas actúan sobre los pilares. Los pilares a barlovento sufren movimientos de tracción y los de sotavento<sup>11</sup> a contracción, tal como muestra la Figura 6.

<sup>10</sup> Radio de giro, es la distancia de un eje en el cual la masa de un cuerpo está concentrada.

<sup>11</sup> Barlovento es la parte de donde viene el viento con respecto a un punto o a un lugar determinado y Sotavento, es la parte opuesta a aquella de donde viene el viento, es decir, opuesto a barlovento. Disponible en: <http://dle.rae.es/?id=YSpzefS>. Acceso en: 06/11/2016. Autor: Diccionario de la Real Académica Española.



Fuente: GONZÁLEZ, B. Pilares de edificio anclado a los cimientos, CAU-UNILA, Foz de Iguazú, 2016.

El desvío lateral del tope del edificio, producido por el viento, ocasiona el alargamiento de los pilares a barlovento sobre tracción, como se observa en la figura 6, con flechas de color rojo y sotavento ejerciendo fuerzas de compresión. Los pilares de un rascacielos de 300 metros de altura se comprimen 3 milímetros, pero el tope del edificio puede curvarse más de un metro por cargas laterales (SALVADORI, 2011).

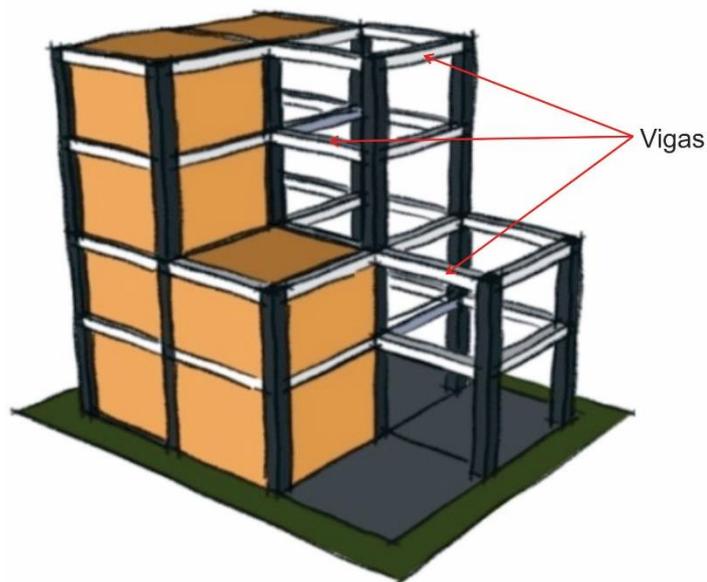
Para Rebello (2000), el pilar es la pieza fundamental dentro de la estructura, pues su posicionamiento y su forma, son determinantes para la elaboración del proyecto arquitectónico. El pilar por lo general está sometido a cargas horizontales, producidas por los vientos, esfuerzos de flexión y esfuerzos de compresión.

No obstante, el autor indica, que cualquier material que trabaje bien con la compresión simple, puede ser utilizado en la elaboración de los pilares, sugiriendo al acero como el más indicado para las fuerzas de contracción.

### 6.1.2.1.2. Viga

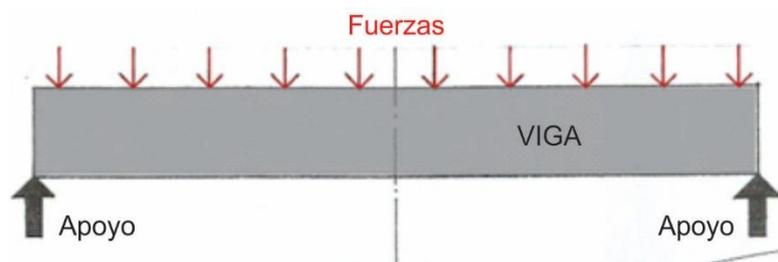
De acuerdo con Ching (2010), las vigas son componentes estructurales rígidos (Figura 7), que son proyectados para soportar cargas transversales, a través del espacio para los elementos de apoyo como indica la Figura 8. Una viga está expuesta a fuerzas de flexión y deflexión, las cuales deben ser compensadas por la fuerza interna del material.

**Figura 7.** Vigas de una edificación



Fuente: ABREU, COURET, 2013, edición nuestra

**Figura 8.** Viga soportando cargas transversales

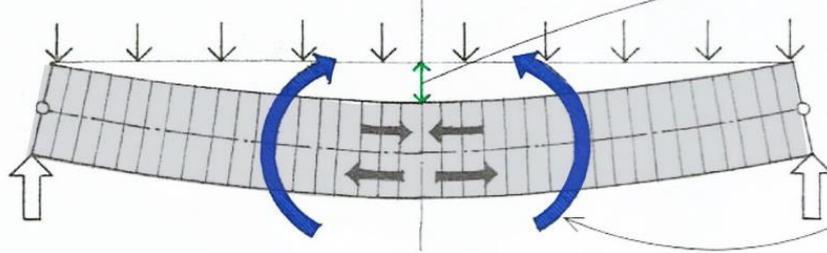


Fuente: CHING, 2010, p. 2.14, edición nuestra

La deflexión como muestra la flecha de color verde en la Figura 9, es la distancia perpendicular que un elemento se desplaza por las cargas transversales, aumentando el vano de tamaño y disminuyendo con el aumento, en el momento de la inercia de la sección de elasticidad del material. El momento flector de color azul,

es un momento externo que tiende a causar el movimiento de rotación de una estructura; algebraicamente es la suma de los momentos en relación al eje neutro de la sección.

**Figura 9.** Representación de la deflexión y el momento flector en una viga

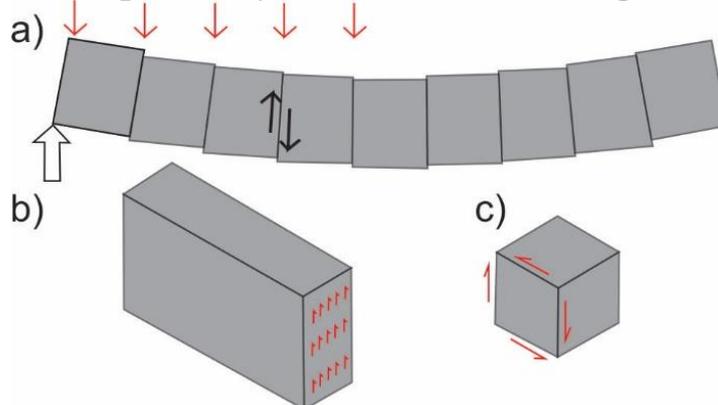


Fuente: CHING, 2010, p. 2.14, edición nuestra

El autor describe los tipos de esfuerzo causado por cizallamiento<sup>12</sup> en una viga:

- Esfuerzo de cizallamiento transversal, que ocurre en una sección transversal de una viga (figura 10-a).
- Esfuerzo de cizallamiento vertical, que desenvuelve el papel de resistir los esfuerzos de cizallamiento transversal (figura 10-b)
- El esfuerzo de cizallamiento horizontal, por su vez evita el deslizamiento de los planos horizontales de la viga sobre el deslizamiento transversal (figura 10-c).

**Figura 10.** Tipos de cizallamiento en una viga

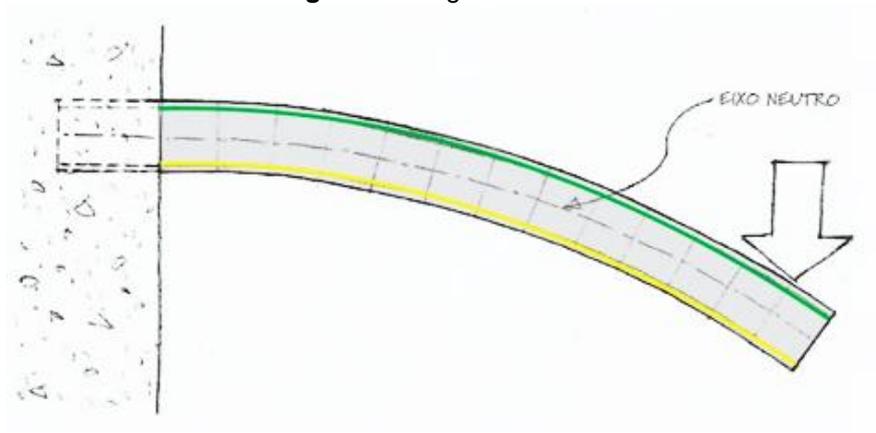


Fuente: CHING, 2010, p.2.14, edición nuestra

<sup>12</sup> Se denomina cizallamiento a la deformación lateral que se produce por una fuerza extrema, también llamada de corte. Disponible en: <http://www.parro.com.ar/definicion-de-cizallamiento>. Acceso en 07/11/2016. Diccionario de Arquitectura y Construcción.

Salvadori (2011), explica de forma ejemplar, las deformaciones existentes en una viga en voladizo, considerando una viga apoyada en una pared y soportando un peso al otro extremo, como se observa en la Figura 11. Al momento que la viga se mueve en forma descendiente, las fibras de la parte superior se alargan (color verde), y de las de la parte inferior se encogen (color amarillo). La característica de esa deformación es que la línea neutra, ubicada entre la fibra inferior y posterior mantiene su longitud original.

**Figura 11.** Viga en voladizo



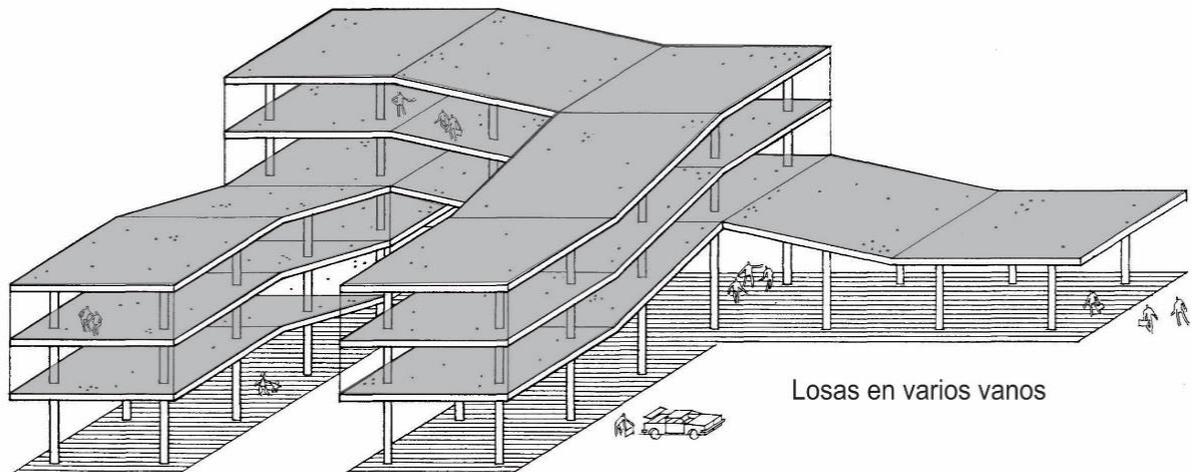
Fuente: SALVADORI, 2011, p.78, edición nuestra

Por lo tanto, el autor afirma que sea cual sea el material de la viga, no es un elemento estructural muy eficiente, porque sus fibras funcionan con la mitad de sus resistencias.

#### 6.1.2.1.3. Losa

De acuerdo con Diez (2012), losas son elementos horizontales sometidos a esfuerzos de flexión (Figura 12). Las losas pueden ser fabricadas con concreto armado, o a su vez pueden ser pre-fabricados para ser instalados en la hora de su ejecución.

**Figura 12.** Losas en varios vanos de una edificación

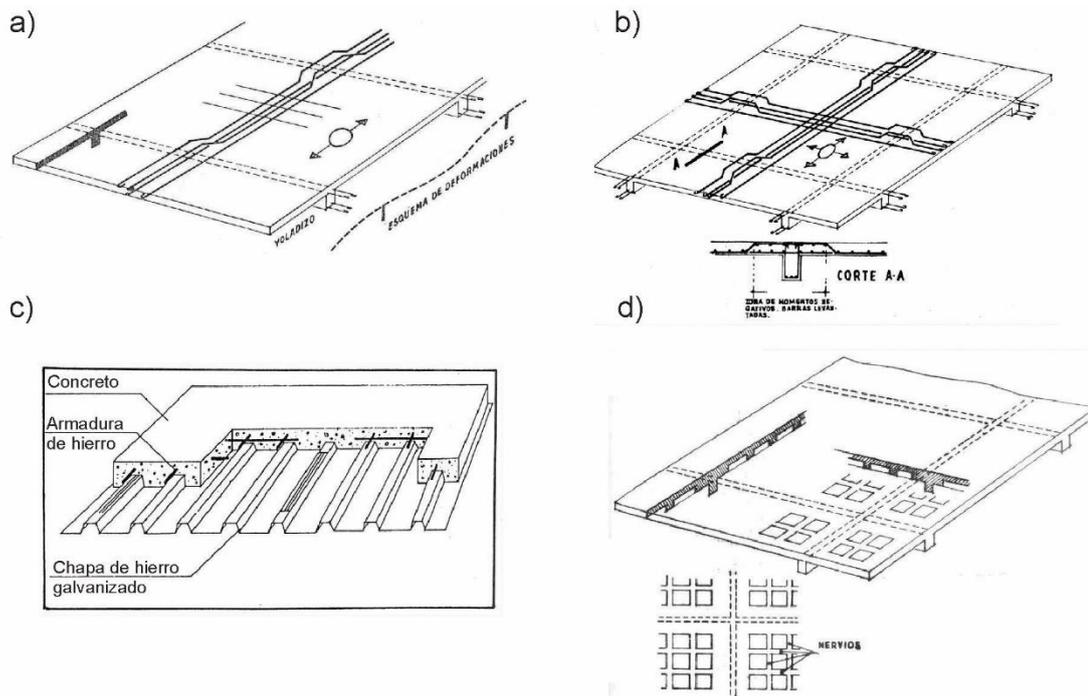


Fuente: ENGEL, 2003, p. 208, edición nuestra

Según el autor existen varios tipos de losa:

- Losas armadas en una dirección: es cuando el cociente entre el lado mayor y el lado menor es mayor que dos, la losa se arma en dirección del lado menor conforme la Figura 13-a.
- Losas en armaduras con dos direcciones: es cuando el cociente entre dos lados es menor dos, la losa se arma en dos sentidos (Figura 13-b).
- Losa nervurada: es muy similar a la losa maciza armada en una dirección y es usada para cubrir vanos mayores.
- Losas pre-moldadas de viguetas y bloques: es un sistema constructivo que agiliza el montaje y armado, constituida por viguetas pre-tensionadas bloques cerámicos (Figura 13-c).
- Losa sistema Steeldeck: es un sistema constituido por un tablero metálico de chapa galvanizada de 1mm de espesura con canaletas.
- Casetonado: son losas nervuradas cruzadas, los nervios son coladas en ambas direcciones y cuando sucede esto forma paralelepípedo (Figura 13-d)

**Figura 13.** Tipos de losas

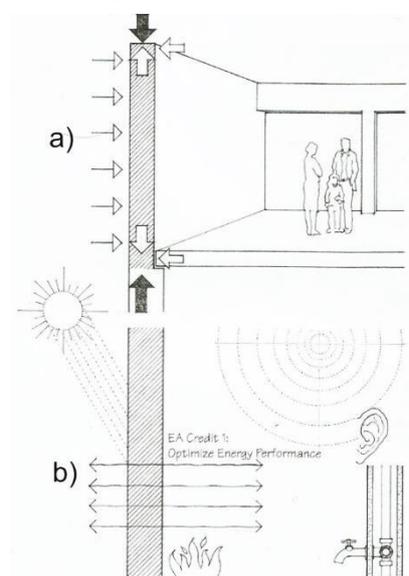


Fuente: DIEZ, 2012, p.180-183

#### 6.1.2.1.4. Pared portante

Pared portante o pared estructural, como define Ching (2010), cumple la función de cerrar, separar y proteger una edificación, y son proyectadas para transmitir las cargas de pisos y coberturas. A través de las paredes, que funciona como un elemento protector de los espacios internos, sus componentes constructivos deben controlar el paso del calor, humedad, sonidos y la infiltración del agua (Figura 14-a).

**Figura 14.** Pared portante



Fuente: CHING, 2010, p. 5.2

Incluso el autor menciona, que las paredes más allá de transferir las cargas verticales, también está expuesto a cargas horizontales ocasionadas por el viento (figura 14-b). Las paredes como elemento estructural de la edificación pueden soportar cargas eólicas o sísmicas, siempre y cuando estas sean rígidas, funcionando como diafragmas.

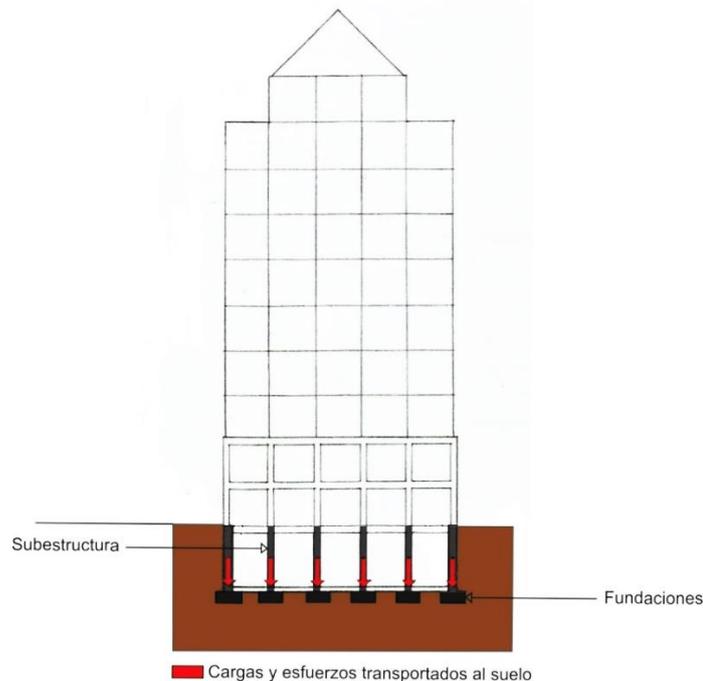
Para Engel (2001), las paredes portantes o láminas estructurales, están solicitadas a cargas paralelas a la superficie de las vigas. Por su comportamiento mecánico portante, pueden compararse con las vigas, a diferencia de estas, es que las paredes poseen una altura inferior a la medida de su vano.

#### 6.1.2.2. Subestructura.

##### 6.1.2.2.1. Fundación

Según Ching (2010, p.3.2), las fundaciones, son la parte inferior de una edificación, que están constituidas en la parte baja del suelo (Figura 15). La característica o función de la fundación, es la de soportar la superestructura, es decir, los pilares, las losas, las vigas, y las paredes portantes, y transferir las cargas de la edificación de manera segura a la tierra. La fundación además de cumplir con la función de distribuir las cargas de la edificación, estas deben adaptarse al *layout* y la forma de la construcción.

**Figura 15.** Corte esquemático mostrando la superestructura y las fundaciones de una edificación



Fuente: CHING, 2010, p. 3.2, edición nuestra

Las principales cargas actuantes en las fundaciones, son las cargas muertas o permanentes y accidentales que actúan de manera vertical en la

superestructura. Más allá de soportar esas cargas, las fundaciones están expuestas a soportar cargas eólicas, cargas por movimientos de la tierra, por terremotos, y soportar la presión de las masas del suelo y del agua de las capas freáticas (CHING 2010).

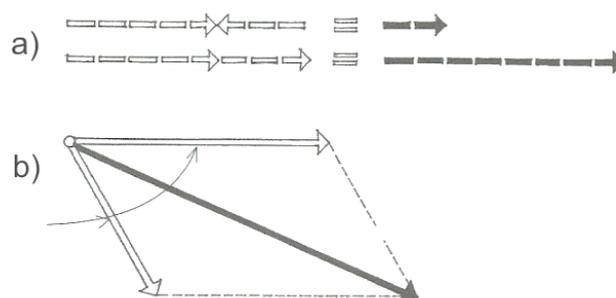
Diez (2012), denomina fundación, a la parte estructural que está en contacto con la tierra, que tiene por objetivo transmitir todas las cargas, entre ellas; el peso de la edificación y el efecto dinámicos de las cargas móviles, de tal manera que el suelo sea capaz de resistir.

## 6.2. FUERZAS ACTUANTES EN LA ESTRUCTURA

### 6.2.1. Fuerza

Según Ching (2010), la fuerza es cualquier influencia que provoca un cambio en el movimiento de un cuerpo. Este movimiento es un vector que posee magnitud y dirección, cuya distancia es proporcional a la magnitud y la orientación en el espacio representa la dirección. Cuando una sola fuerza actúa sobre una masa puede ser considerada como actuante en cualquier lugar a lo largo de su línea recta, sin alterar el esfuerzo externo de la fuerza. Cuando existen dos fuerzas, pueden ser: fuerzas colineales (Figura 16-a), las cuales ocurren a lo largo de una línea recta y su suma vectorial, es la suma algebraica de las magnitudes de las fuerzas que actúan en la misma línea. Y las fuerzas concurrentes (figura 16-b), que poseen una línea de acción que se cruzan en un punto común y la suma vectorial es equivalente y produce el mismo efecto de un cuerpo rígido.

**Figura 16.** Fuerzas colineales y fuerzas concurrentes



Un cuerpo que tiene una determinada masa que está en reposo e inicia un movimiento rectilíneo con una velocidad constante, y esta velocidad y la dirección es alterada, se dice que fue aplicada una fuerza. Entonces, la fuerza está relacionada con la masa, aceleración, dirección y sentido. Es necesario saber las fuerzas actuantes en una edificación en su intensidad dirección y sentido. Así como también son de gran importancia las fuerzas externas producidas en una construcción que son denominadas cargas (Rebello, 2000).

En la física, Newton establece leyes aplicadas a las estructuras, afirmando:

En la primera ley de movimiento a la estructura, se dice que un cuerpo en reposo no se mueve a menos que una fuerza nueva y fuera de equilibrio sea aplicada sobre él. La tercera ley expone que, cuando un cuerpo está en reposo, para cada fuerza aplicada sobre él hay una reacción igual y opuesta, también aplicada sobre él (SALVADORI, 2011, p. 71, traducción nuestra).

Todavía Salvadori, argumenta que, si queremos que las estructuras no se muevan, cuando se ejecutan movimientos realizados por la elasticidad, las leyes de Newton son la base esencial que dominan el equilibrio que deben existir entre todas las fuerzas que se aplica a una estructura.

#### *6.2.1.1. Estados de sollicitación en la estructura*

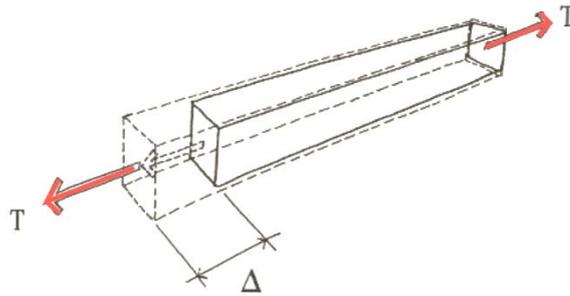
Según Diez (2012), los estados de sollicitación, o sollicitaciones, son esfuerzos básicos que pueden resistir los materiales estructurales, de acuerdo con la forma, la carga y la posición. Los estados de sollicitación simple se dividen en: producidos por fuerzas y producidos por pares.

##### 6.2.1.1.1. Estado de sollicitación producido por la fuerza

###### **6.2.1.1.1.1. Tracción**

Para Rebello (2000), tracción es cuando un material es sometido a fuerzas exteriores, es decir, cuando sufre un aumento de su tamaño, en su mismo eje como muestra la Figura 17. Esta deformación ocurre de manera uniforme, en otras palabras, todas sus fibras se estiran de igual manera.

**Figura 17.** Barra sujeta a esfuerzos de tracción



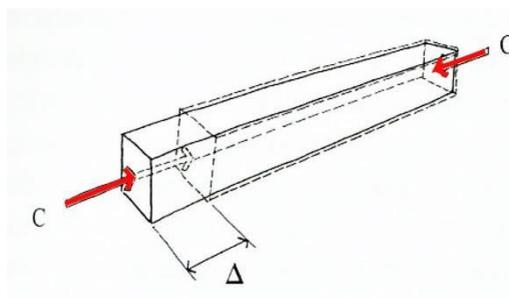
Fuente: REBELLO, 2000, p.49, edición nuestra

De acuerdo con Diez (2012), tracción es cuando la carga actúa normal a la sección y como resultado separa las dos secciones próximas.

#### **6.2.1.1.1.2. Compresión**

Rebello (2000), afirma que la compresión se da cuando son sometidas las fuerzas externas Figura 18, sufriendo una disminución de su tamaño en la dirección de su eje. Todas las fibras del material se comportan de la misma manera.

**Figura 18.** Barra sujeta a esfuerzos de compresión



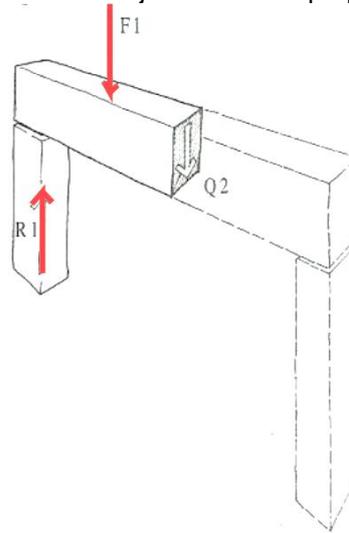
Fuente: REBELLO, 2000, p.50, edición nuestra

Diez (2012, p.85), define compresión como: “La carga que actúa en forma normal a la sección y tiende a aproximar sus dos secciones próximas, disminuyendo la distancia intermolecular”.

### 6.2.1.1.1.3. Corte

Rebello (2000), define corte en un ejemplo de una viga, la cual es apoyada en sus extremos y expuesta a fuerzas perpendiculares (Figura 19). Si esta misma viga es cortada, ambos elementos perderían un equilibrio. Para que la viga pueda recuperar su equilibrio necesitaría de una fuerza de apoyo, la cual se denomina fuerza cortante.

**Figura 19.** Barra sujeta a fuerzas perpendiculares



Fuente: REBELLO, 2000, p.54, edición nuestra

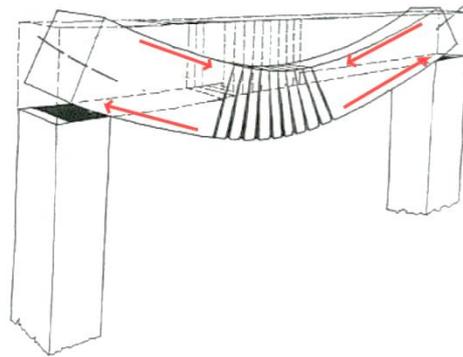
Para Diez (2012), son fuerzas iguales, en sentido opuestas en el plano transversal de la sección. Esta acción sucede cuando se combinan otras fuerzas, como de tracción y compresión

### 6.2.1.1.2. Estado de sollicitación producido por pares

#### 6.2.1.1.2.1. Flexión

La flexión es cuando se aplica una fuerza perpendicular a la sección transversal y esta no coincide con su recta en su estado normal. Cuando los esfuerzos de flexión están sometidos sobre secciones próximas y paralelas, tienden a girar, haciendo con que sus distancias en una zona se aproximen y en la otra zona se alejen (Figura 20) (DIEZ, 2012).

**Figura 20.** Barra sometida a esfuerzos de flexión



Fuente: REBELLO, 2000, p. 57, edición nuestra

Como afirma Rebello (2010), la fuerza de flexión ocurre en una barra sometida a esfuerzos que son aplicados perpendicularmente al eje, provocando giros en las secciones.

### 6.2.2. Cargas

Diez (2012), considera a la carga, como todo efecto que sea capaz de producir estados de tensión en una estructura, o también puede definirse como fuerzas actuantes sobre los elementos estructurales.

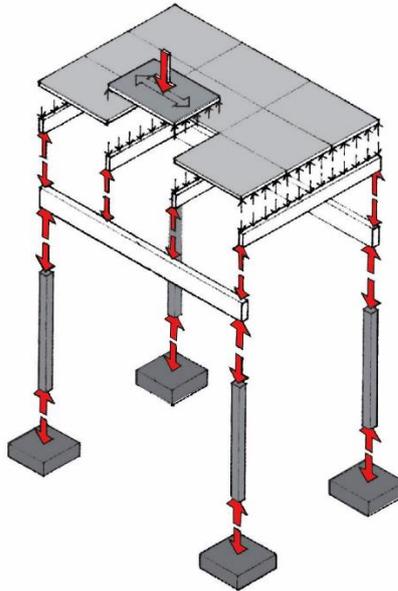
Según Engel (2001), el soporte o elemento estructural, de una u otra forma posee un proceso interno de transmisión de cargas. Si un objeto no tiene la capacidad de transferir y descargar cargas, ni siquiera podrá soportar su propio peso y menos sobrecargas. De esta manera, la estructura funciona a partir de tres operaciones: la de recibir la carga, transmitir la carga y descargar la carga.

#### 6.2.2.1. Cargas Permanentes

De acuerdo con Salvadori (2011), las cargas permanentes son elementos pesados de una construcción como: columnas, vigas, losas, arcos o cúpulas (Figura 21). Para calcular el peso de una estructura, se debe tomar en cuenta sus elementos y materiales ya establecidos. El volumen de los elementos debe multiplicarse por el peso del volumen del material, para obtener un peso

específico<sup>13</sup>

**Figura 21.** Cargas permanentes



Fuente: DIEZ, 2012, p. 33, edición nuestra

Las cargas permanentes no cambian, siempre mantienen su propio peso. Por lo general, materiales usados como: albañilería y concreto, tienden a tener un mayor peso que la estructura debe soportar. A estas cargas permanentes se debe incorporar, el peso del piso, los materiales de la cobertura y de aislamiento térmico.

La norma de Chile, Nch1537 (1986, p.2), define a las cargas permanentes como:

La acción, cuya variación en el tiempo es despreciable en relación a sus valores medios o aquella para la cual la variación tiende a un valor constante; por ejemplo, peso de los elementos estructurales, instalaciones, recubrimientos, terminaciones, rellenos, pavimentos, empujes de tierra y líquidos, etc.

<sup>13</sup> Ejemplo de Mario Salvadori para calcular el peso específico de una estructura: “Una viga de concreto reforzado de 9 metros de largo, 0,30 metros de ancho y 0.9 metros de altura tiene un volumen de  $9,00 \times 0,30 \times 0,90 = 2,32$  metros cúbicos. Como 1 metro cúbico de concreto pesa 2,402 kilos, la carga muerta de la viga es  $2,43 \times 2.402 = 5.836,86$ ” (SALVADORI, 2011, p. 34, traducción nuestra).

Las cargas permanentes o cargas muertas, son todos los elementos fijos de una construcción tales como: muros, tabiques, recubrimientos, instalaciones eléctricas, sanitarias, máquinas o equipos y todos los componentes estructurales fijos o permanentes de una edificación. En el cálculo de las cargas permanentes, se debe tomar en consideración el peso de cada material que compondrá la construcción, para ellos existen valores específicos, que son encontrados en normas de construcción (NORMA ECUATORIANA DE CONSTRUCCIÓN, 1996, p.4).

#### 6.2.2.2. Cargas útiles

Para Salvadori (2011), las cargas útiles, son pesos como: las personas, mobiliarios, equipamientos, mercaderías, etc. (Figura 22). Las cargas útiles pueden variar según los eventos que ocurran dentro de la edificación, por ejemplo; en un día puede existir, una sola persona dentro de una casa, otro día puede haber un sinnúmero de personas. Pueden existir pocos mobiliarios y después varios en un solo espacio, lo cual puede alterar el peso de una estructura.

**Figura 22.** Mobiliarios concentrados en la cocina, ejerciendo cargas útiles



Fuente: GONZÁLEZ, B. Mobiliarios concentrados en la cocina, ejerciendo cargas útiles, CAU-UNILA, Foz de Iguazú, 2016.

Para calcular las cargas útiles, generalmente se utilizan valores, como el autor resalta “en el peor de los casos”, es decir, pesos establecidos de la

durabilidad o vida de una estructura, puesto que no se sabe con exactitud la carga útil y la distribución que esta tendrá. *“Es mejor ser cauteloso, que ser responsable por un fracaso que puede arruinar propiedades y hasta mismo matar personas”* (SALVADORI, 2011, p.35, traducción nuestra.)

De acuerdo con Nilson (2001), las cargas útiles o cargas vivas, son cargas de ocupación en edificios y carga de tráfico en puentes, que pueden estar total o parcialmente en un sitio, y suelen variar de localización. La distribución de estas cargas es incierta, dado que cambian de ubicación. Para el diseño de los entresijos y cubiertas de una edificación, existen tablas de cargas mínimas que deben ser empleadas de acuerdo al uso de la construcción.

Las tablas presentan valores con cargas vivas uniformemente distribuidas para varios tipos de ocupación. Los valores que presentan las tablas, son valores máximos esperados y exceden considerablemente valores promedios.

El autor recomienda, que además de las cargas uniformemente distribuidas, se debe diseñar los entresijos para soportar en forma segura algunas cargas concentradas cuando estas producen esfuerzos mayores.

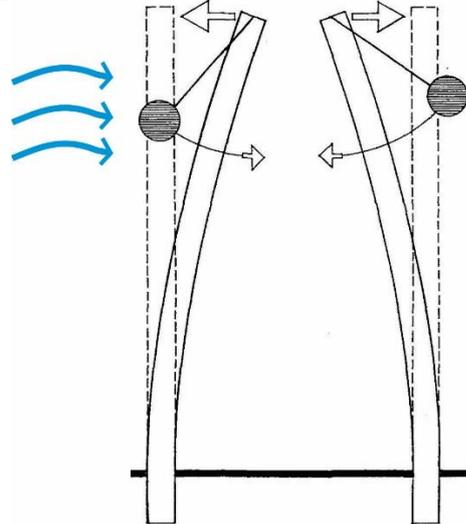
#### 6.2.2.3. Cargas Dinámicas

Según Salvadori (2011), las cargas dinámicas cambian su valor rápidamente, y pueden ser muy peligrosas porque tienen un efecto sumamente mayor a las cargas lentamente aplicadas. El autor cita al martillo con un clavo, como ejemplo de carga dinámica, que al caer sutilmente sobre un clavo no causaría mucho efecto. Pero si este mortero ejerciera una fuerza mayor sobre el clavo, hiciera con que éste ingrese a la madera.

Para la identificación de una carga dinámica, depende mucho de la estructura a la cual está siendo aplicada. Salvadori, comenta sobre un edificio, el cual oscila por ser sometido a la acción de una ráfaga de viento. Este edificio se mueve como un péndulo (Figura 23), de lado a lado en un tiempo determinado, en donde se disloca 30 centímetros a la derecha y 30 centímetros a la izquierda. Este tiempo que demora el edificio en realizar todo el movimiento hasta parar se llama

periodo. El periodo de oscilación, de una torre de acero de 442 metros, es de 8 segundos, mientras que un edificio de ladrillos tiene un periodo menor de medio segundo.

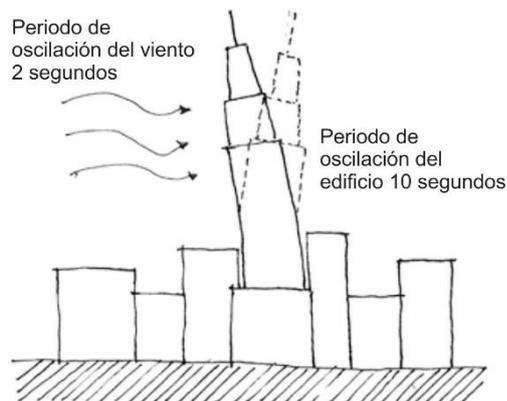
**Figura 23.** Cargas eólicas en una edificación



Fuente: ENGEL, 2001, p.283, edición nuestra

A partir del ejemplo dado por el autor, la acción del viento depende, no solo del tiempo en el cual alcanza su valor máximo y disminuye de nuevo, sino también del periodo del edificio en el cual está actuando. Si la ráfaga de viento aumenta hasta alcanzar su valor máximo y disminuye en un tiempo más corto que el periodo del edificio, se puede decir que existe una carga dinámica. Existe una carga dinámica para una torre que oscila en 10 segundos, con una ráfaga de viento de 2 segundos (Figura 24).

**Figura 24.** Periodo de oscilación de un edificio

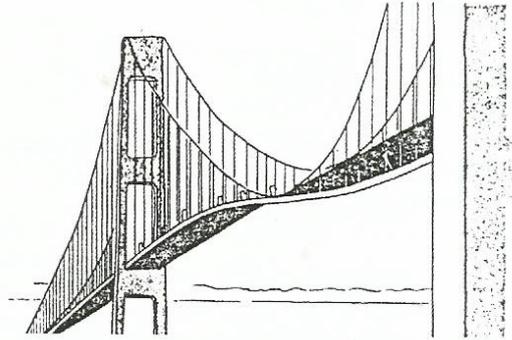


Fuente: GONZÁLEZ, B. Periodo de oscilación de un edificio, CAU-UNILA, Foz de Iguazú, 2016.

Se denominan cargas dinámicas, las cargas aplicadas en un periodo relativamente corto. Estas mismas cargas pueden tomar distintas formas, algunas cargas pueden ser aplicadas y desaparecer al instante, las que se denominan cargas de impacto. Hay otras cargas que actúan con un tiempo más largo, variando de intensidad y son llamadas de cargas fluctuantes.

Salvadori, afirma que son ejemplos de cargas de impacto, objetos que colapsan, o a su vez cuando un objeto cae sobre otro. Las cargas fluctuantes suceden cuando son producidas por maquinaria, tránsito de personas o vehicular, ráfagas de viento, etc. (Figura 26).

**Figura 25.** Colapso de Puente de Tacoma (EE.UU), por oscilaciones aerodinámicas



Fuente: DIEZ, 2012, p.31

Las cargas dinámicas se diferencian de las cargas estáticas, por causar grandes modificaciones en la estructura, en la forma y en la rotura de los materiales. Al impactar una carga dinámica contra un cuerpo en movimiento, pueden generar en la estructura efectos vibratorios. Cuando las cargas dinámicas coinciden con el periodo de vibración de la estructura, se produce la resonancia, es decir, la estructura puede entrar en un colapso (ESTABILIDAD II, 2010).

#### 6.2.2.4. Cargas Eólicas

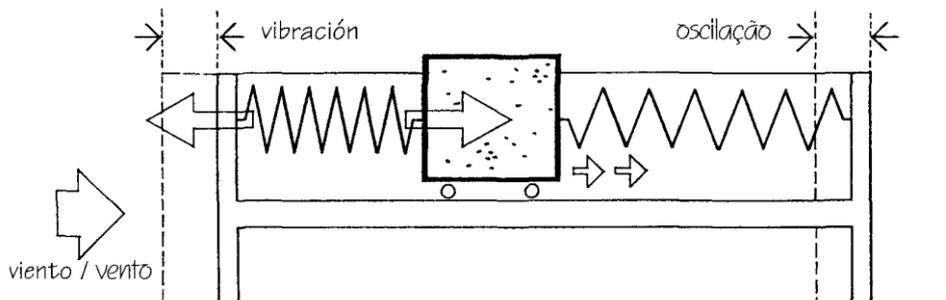
Salvadori (2011), define a las cargas eólicas, como fuerzas ejercidas por los vientos sobre una edificación, y adquieren gran importancia cuando se trata de construcciones de gran altura. La velocidad del viento aumenta conforme la altura y la presión del viento aumenta en la proporción del cuadrado de una velocidad de

viento.

Aún el autor menciona, que la presión que ejerce el viento actúa de manera horizontal, y principalmente en los edificios altos se requiere una estructura separada y diferente de aquella que resiste las cargas de gravedad vertical. Para la proyección de una edificación, se debe tomar en cuenta, antes de la ejecución de la construcción, la presión de los vientos del local y estos valores pueden ser encontrados en tablas. Las oscilaciones de los vientos, a simple vista no pueden ser observadas o distinguidas, pero si pueden ser sentidas por las personas que están localizadas en los últimos pisos de una edificación alta.

Incluso el autor afirma que, para evitar las cargas de resonancia de un predio, se debe alterar el periodo de oscilación, reforzando la estructura para que este sea más firme. Existen dispositivos que permiten la reducción de las oscilaciones por el viento, como, por ejemplo: amortiguador dinámico sincronizado, que consiste en un bloque grande de concreto, ubicado en la parte central de las muelas laterales (Figura 26).

**Figura 26.** Amortiguador dinámico para contrarrestar cargas eólicas y sísmicas



Fuente: ENGEL, 2001, p.283

Este dispositivo oscila de la misma manera que oscila la edificación, pero con sentido contrario para reducir el movimiento de la construcción. Hay otros amortiguadores dinámicos muy semejantes que controlan las oscilaciones laterales. Estos son anillos de metal, conectados al tope de una campana por muelas radiales (SALVADORI, 2011).

El profesor Davenport, dedicado a la investigación de viento-estructuras decía:

El viento es una fuerza parásita para la mayoría de las estructuras y la verdad estaríamos mejor sin ella. Algunas estructuras naturales, tales como los árboles se han adaptado a su acción; sin embargo, las estructuras diseñadas por los ingenieros no disponen de millones de años para evolucionar como los árboles (VALENCIA, 2002, p. 9).

Los movimientos del aire se producen por la acción de la gravedad en las masas de aire de diferente densidad. Cuando el aire frío baja de la atmósfera y se coloca sobre el aire caliente, la energía potencial se convierte en energía cinética. La energía potencial se constituye cuando se generan cambios de temperatura a causa de la radiación entre la atmósfera la tierra y el espacio exterior. Entonces, los movimientos del aire son el resultado de la masa, de la gravedad, la rotación de la tierra, la presión vertical, horizontal, y de la temperatura.

Los movimientos de las masas de aires a través de las corrientes de viento crean una presión de viento, las cuales chocan con las estructuras, que si no son diseñadas para enfrentar este tipo de fenómenos se ven muy afectadas (VALENCIA, 2002).

Valencia expone que, para obtener la velocidad del diseño del viento, se toma en consideración las variantes como: la topografía del lugar, su rugosidad, el tamaño de la construcción, la altura sobre el terreno, las ráfagas y la importancia de la construcción.

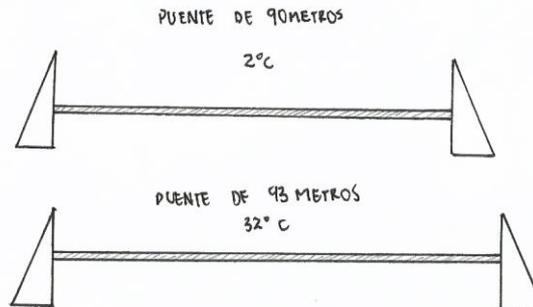
#### *6.2.2.5. Cargas térmicas y de recalque*

Salvadori (2011) también las denomina, cargas ocultas o esfuerzos internos. Estas cargas son muy importantes a ser consideradas por lo ingenieros, debido a que se presentan diariamente, por causa de la temperatura del aire o por la acomodación irregular del terreno sobre una edificación.

El autor cita un ejemplo, de la existencia de la carga térmica, en un puente de acero, con 90 metros de ancho. Este puente fue construido en invierno con una temperatura de 2°C, y en verano cuando su temperatura llega a 32°C, el

puente aumento de ancho a 93 metros. El motivo del aumento del tamaño se debe a que los cuerpos se dilatan cuando son calentados (figura 27).

**Figura 27.** Dilatación de un puente por cargas térmicas



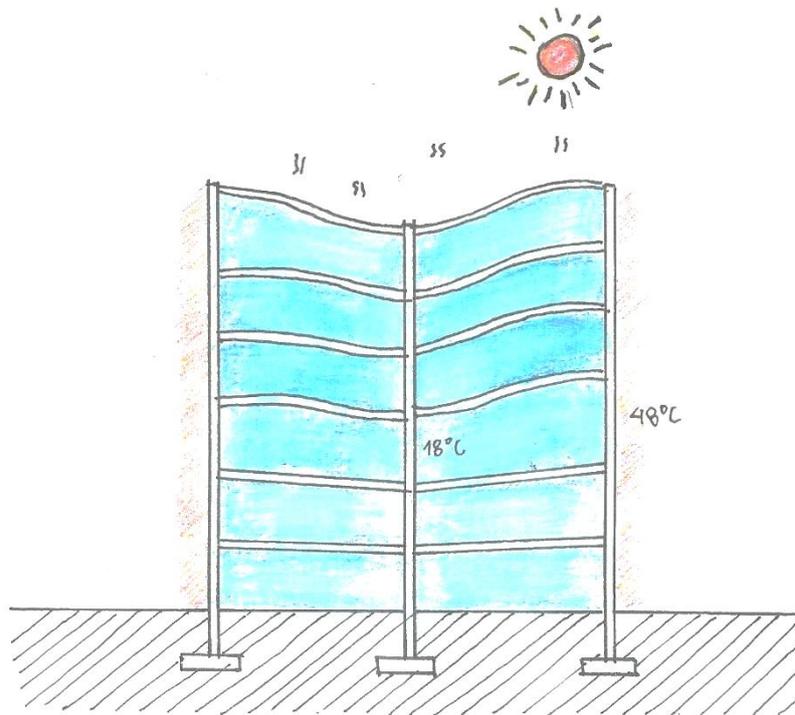
Fuente: GONZÁLEZ, B. Dilatación de un puente por cargas térmicas, CAU-UNILA, Foz de Iguazú, 2016.

Otro ejemplo de cargas térmicas sucede en la base de las cúpulas grandes, que se dilatan conforme la temperatura va aumentando. La dilatación hace que la parte inferior de la cúpula se expanda y se contraiga conforme los cambios de temperatura, por esa razón es necesaria la aplicación de anillos resistentes colocados en el borde para evitar los movimientos.

La parte estética, juega un papel muy importante para que las cargas térmicas actúen sobre la edificación. Hay en la actualidad edificios, que muestran su estructura por la parte exterior de la fachada y no por la parte interior. Un ejemplo, es el edificio de Columbia Broadcasting System en New York, construido en concreto. La parte inferior es refrigerada para mantener una temperatura promedio de 18°C y en verano la parte externa llega a una temperatura de 48°C.

Con el verano los pilares externos aumentan su tamaño en relación a los pilares internos, variando entre 5 a 8 centímetros. A su vez en el invierno la temperatura es de 6°C, generando una reducción de sus pilares de 5 a 8 centímetros. Estas deformaciones no dañan los pilares, pero si deforman las vigas que conectan los pilares, principalmente en los pisos más altos. Estas deformaciones pueden ser graves si la estructura no fue proyectada para este tipo de cargas (Figura 28).

**Figura 28.** Deformación de pilares y vigas ocasionadas por cargas térmicas

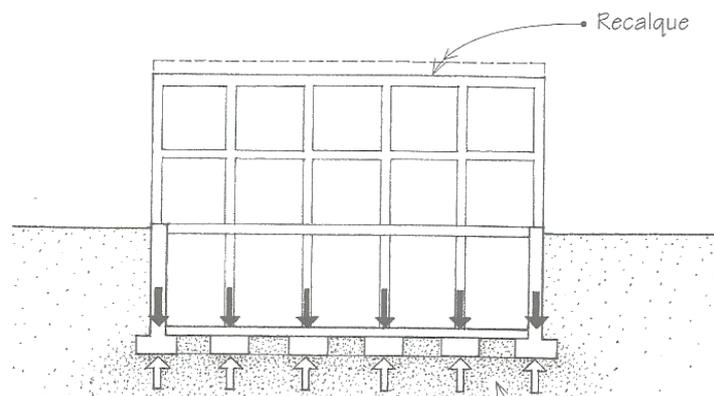


Fuente: GONZÁLEZ, B. Deformación de pilares y vigas ocasionadas por cargas térmicas, CAU-UNILA, Foz de Iguazú, 2016

Ching (2010), define a las fuerzas de recalque como:

El hundimiento gradual de una estructura a medida que el suelo sobre sus fundaciones se comprime debido a la carga. Cuando se construye una edificación se debe esperar cierto nivel de recalque a medida que la carga sobre las fundaciones aumenta y causa una reducción de volumen de vacíos en el suelo que contienen aire o agua. (CHING, 2010, p. 3.3, traducción nuestra).

**Figura 29.** Distribución proporcional de esfuerzos de recalque



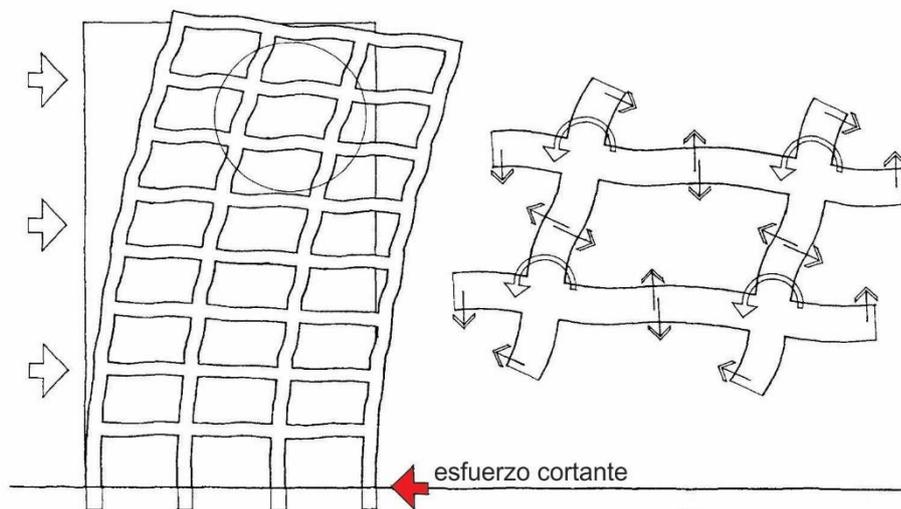
Fuente: CHING, 2010, p.3.3

Ching, asegura que un sistema de fundaciones bien proyectado podrá distribuir de manera correcta sus cargas, de modo que una fuerza de recalque sea mínima y sea distribuidas uniformemente en todas las partes de la edificación (Figura 29). Para conseguir que las cargas sean distribuidas proporcionalmente, se debe distribuir los apoyos de manera equivalente por unidad de área hacia el suelo, sin ultrapasar la capacidad de carga.

#### 6.2.2.6. Cargas sísmicas

Las cargas sísmicas ocasionadas por un terremoto consisten en vibraciones longitudinales y transversales de manera brusca, inducidas en la corteza terrestre, por el movimiento de las placas tectónicas (Figura 30). Los movimientos horizontales, son considerados los más importantes y que deben ser considerados en el proyecto estructural (CHING, 2010).

**Figura 30.** Cargas sísmicas



Fuente: ENGEL, 2001, p. 279, edición nuestra

Los movimientos sísmicos con el tiempo han causado gran destrucción, y fue en los últimos treinta y cuarenta años, que ese conocimiento y el impacto generado en las edificaciones, se convirtió en proyecto de estructuras, para soportar terremotos. Las estructuras para abalos sísmicos, especialmente robustos, son muy similares para la aplicación de cargas de viento, que pasan por un proceso

a partir de cálculos, o simulaciones para verificar la resistencia contra movimientos sísmicos.

Los terremotos son generados, debido a que la corteza terrestre flota sobre un núcleo de piedra derretida, y algunas de sus partes se mueven independientemente. Ese movimiento genera puntos de tensión en la corteza, a lo largo de fracturas que son llamadas de fallas. Existe un movimiento repentino de deslizamiento en dirección a la falla que ocasiona el movimiento en el área de la edificación.

Las fuerzas de los terremotos son medidas en escala Richter, es decir, mide la magnitud de la energía que ocasiona el sismo. Existen sismos de 4 o 5 grados escala Richter, que ocasiona movimientos en la edificación de manera leve, paralelamente a movimientos sísmicos con escala Richter de 8 grados que puede provocar grandes daños, desde pérdidas humanas, hasta la destrucción de las viviendas (SALVADORI, 2011).

De acuerdo con Awad (2012), tanto el ingeniero como el arquitecto deben tener una preocupación ante abalos sísmicos, enfocándose en las características de los materiales, la configuración geométrica y la distribución de las cargas y de rigidez, para que la estructura presente un buen comportamiento antes los movimientos. El autor indica que debe existir una comunicación entre el arquitecto y el ingeniero, desde el anteproyecto hasta la construcción para lograr un diseño sismo-resistente, consiguiendo un buen sistema estructural que se adecue a la parte funcional y a la estética del edificio.

### 6.3. CARGAS EN SITUACIONES FUERA Y DURANTE ABALO SÍSMICO

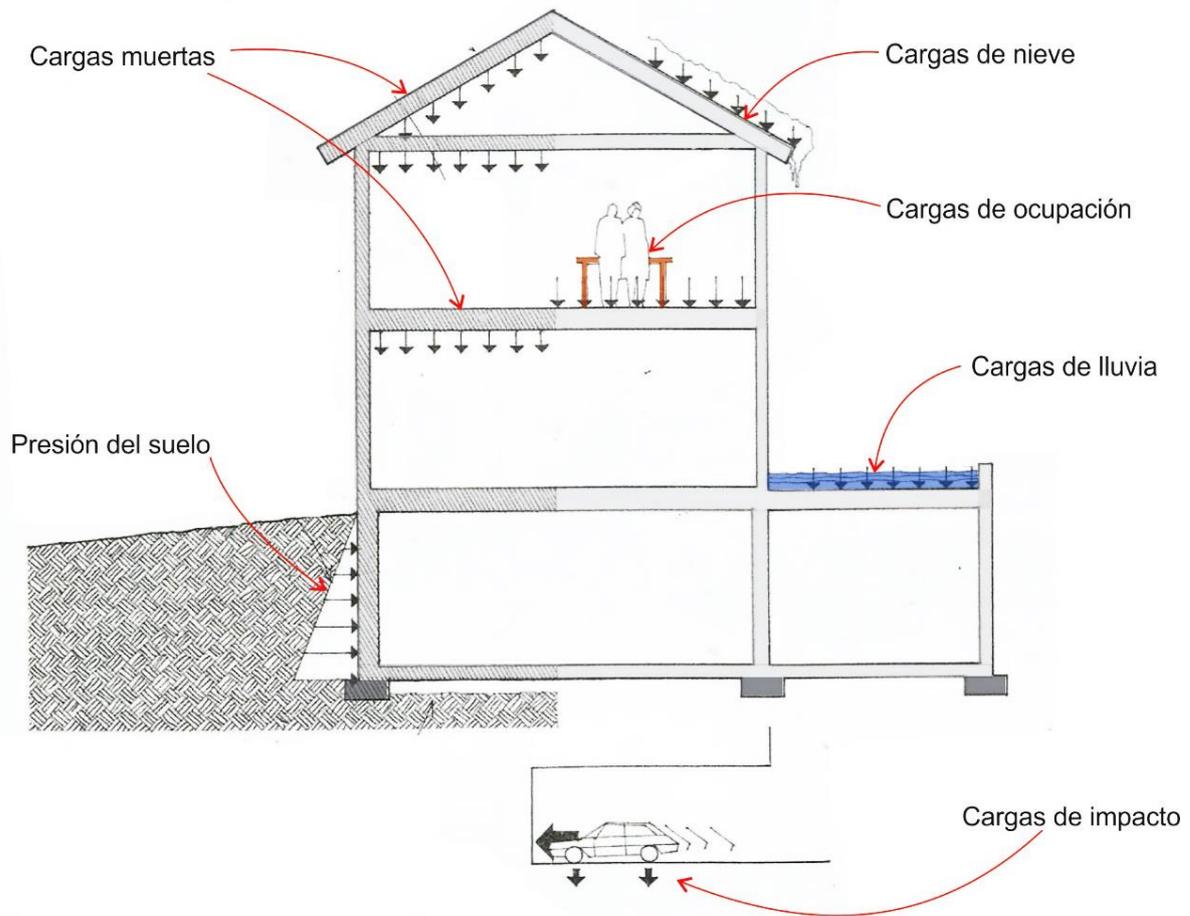
#### 6.3.1. Cargas sin abalos sísmicos

De acuerdo con Ching (2010), una edificación está expuesta a cargas muertas o cargas permanentes, es decir, soporta el peso de su propia estructura. Además, la estructura presenta cargas útiles o de ocupación, esto es, el peso de las personas. Ya las cargas de impacto, son ocasionadas por los vehículos

o equipamientos y maquinaria.

Ching afirma que cargas de nieve por lo general, se presentan por el peso en la cobertura, sin embargo, no en todos los lugares del mundo ocurre este fenómeno natural. Las cargas de lluvia, se presenta por la acumulación de agua en las coberturas dependiendo de su forma, según manifiesta el autor (Figura 31).

**Figura 31.** Cargas actuantes en una edificación sin abalo sísmico



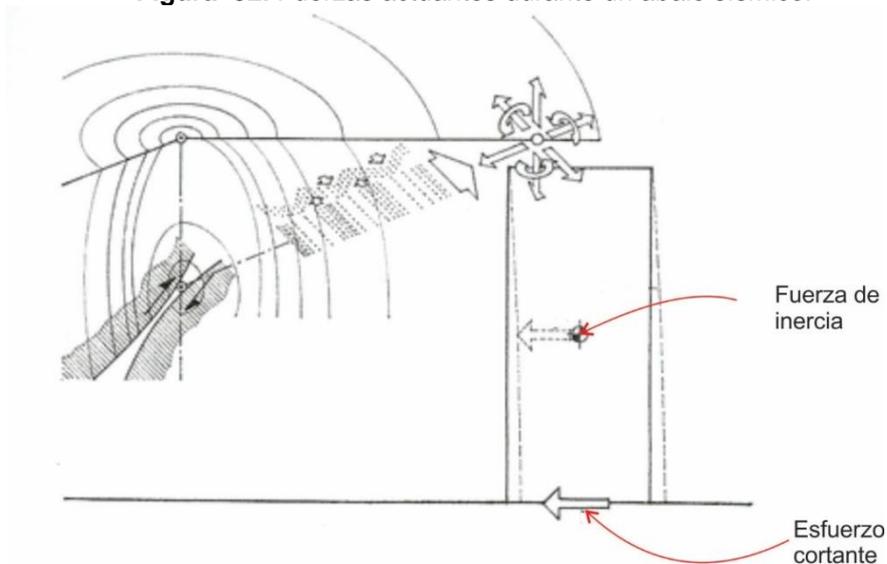
Fuente: CHING, 2000, p. 2.8, edición nuestra

Las cargas eólicas o de viento, presentes en la edificación son ejercidas por la energía cinética y son más presenciadas en estructuras de gran altura. No entando estas cargas surgen dependiendo del lugar con mayor fuerza como afirma Salvadori (2011). La presión del terreno, es otra carga presente en las edificaciones, ejerciendo una fuerza horizontal hacia una contención vertical.

### 6.3.2. Cargas durante abalo sísmico

Durante un abalo sísmico, a más de las cargas actuantes en una edificación como se mencionó en el anterior ítem, aparecen otros tipos de esfuerzos. Al ser sacudida la estructura, la masa superior desenvuelve esfuerzos de inercia como se aprecia en la Figura 32. Además, la estructura se expone a esfuerzos cortantes en la base, ocasionando fuerzas laterales, en dirección horizontal.

**Figura 32.** Fuerzas actuantes durante un abalo sísmico.



Fuente: CHING, 2000, p.2.10, edición nuestra

### 6.4. DAÑOS ESTRUCTURALES OCASIONADOS POR UN SISMO

Bazán y Meli (2013), afirman que el factor de influencia para la determinación del diseño sísmico, parte a través de la experiencia del comportamiento observado en los elementos estructurales de la edificación, que han sufrido sismos de una gran amplitud. Con la identificación de las fallas dadas en una construcción y el análisis de los daños, han permitido de forma decisiva entender el comportamiento sísmico de las estructuras.

Según los autores, la insuficiente resistencia a la carga lateral de los elementos verticales de soporte de la estructura, es el principal motivo para que la estructura entre en colapso. La Figura 33 presenta de manera ilustrativa el flujo de las fuerzas de inercia desde la parte superior hasta la parte inferior, la cimentación, generando fuerzas cortantes hacia los pisos inferiores, las cuales deben ser

resistidas por elementos verticales. La mayoría de las fallencias que se han observado, en estructuras de concreto, ha sido por la falta de refuerzos.

**Figura 33.** Flujo de fuerzas de una estructura durante vibraciones sísmicas

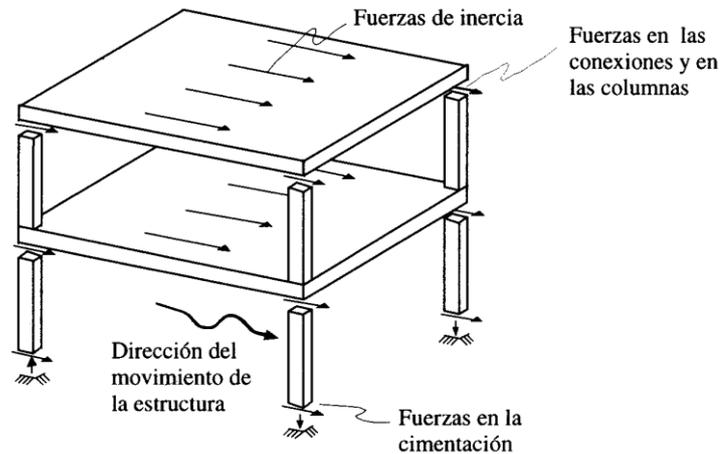


Imagen: BAZÁN, MELI, 2013, p.28

De acuerdo a los autores, para que el edificio presente un buen comportamiento ante cargas sísmicas, además de ser resistente, debe tener la capacidad de deformarse, o poseer propiedades dúctiles que eviten el colapso de la estructura. La Figura 34 muestra dos casos en donde los refuerzos de la columna del concreto armado están distribuidos de manera inadecuada, entrando en colapso. Por lo general la mayoría de defectos en estructuras de concreto armado se presencia un pobre detallado de refuerzos.

**Figura 34.** Fallas en las columnas



Fuente: AWAD, 2013, p. 35, edición nuestra

Las conexiones que realizan los elementos estructurales, son zonas críticas cuando ocurre un evento sísmico y estas conexiones tienen como objetivo soportar dichos esfuerzos. Generalmente las zonas críticas se presentan en las uniones entre muro y losa en estructuras a base de paneles, y entre vigas y columnas en estructuras de marcos. En la Figura 35, presenta un caso de falla columna-viga, en la cual posee puntos de conexión del tipo frágil que deben ser tratados con mayor precaución.

**Figura 35.** Falla viga-columna



Fuente: BAZAN; MELI, 2013, p. 35

Los autores manifiestan que un ejemplo claro de estos tipos de fallas comúnmente sucede en losas planas, apoyadas directamente sobre las columnas sin vigas. La Figura 36 muestra fallas de punzonamiento en las columnas, producidas por los movimientos cortantes, dejando sin apoyo a la estructura dando como resultado el colapso total de la edificación.

**Figura 36.** Fallas de punzonamiento



Fuente: BAZAN; MELI, 2013, p. 35, edición nuestra

## 6.5. CONCEPTUALIZACIÓN DE SISMOLOGÍA

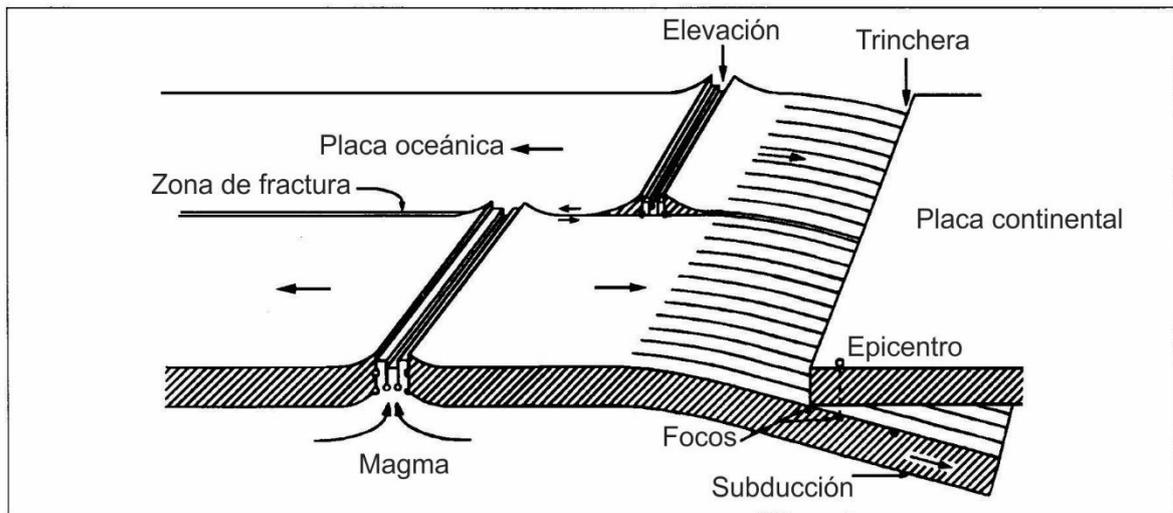
De acuerdo con Nava (2002), la palabra sismo, viene del griego *seiein*, que significa mover, cualquier parte del terreno, este es el término que se utiliza con mayor frecuencia. La palabra temblor, es un pequeño sismo más local, en cambio un sismo que produce grandes daños es denominado terremoto. Los maremotos, son terremotos sucedidos bajo el mar, y los tsunamis son olas grandes producidas por los terremotos o maremotos.

La sismología a su vez es la ciencia que estudia a los sismos y sus variantes, su localización, orientación, magnitud, etc. El estudio de la fuente sísmica se encarga de ver las causas y los procesos que presentan un sismo, un terremoto, o un maremoto. Existen disciplinas que acompañan el estudio de la sismología, como; las matemáticas, la geología, la topografía, la química, entre otros.

Alexander von Humboldt fue uno de los pioneros en establecer la relación de las fallas geológicas y los terremotos, que más tarde en 1875, E. Suess, toma nuevamente la iniciativa de Humboldt. A raíz del terremoto de San Francisco en 1906, H Reid, propone el primer modelo mecánico de fuente sísmica, afirmando: *“Los sismos ocurren cuando las rocas no soportan los esfuerzos a los que están sometidas y se rompen súbitamente, liberando energía elástica en forma de ondas sísmicas”* (NAVA, 2002, p. 26).

El autor menciona que, si se aplica una fuerza perpendicular a un cubo, este se deforma en compresión. Cuando al mismo cubo se le aplica una fuerza en dirección paralela a sus caras, existe una deformación en corte o cizalla. La fuerza por unidad de área se llama esfuerzo, y al deformar un cuerpo mediante un esfuerzo se produce un trabajo, que consume energía.

La energía que se produce en el momento de un sismo es liberada en formas de ondas vibratorias. Estos movimientos que se ocasionan en la corteza de la tierra (Figura 37), son las que ponen en peligro a las edificaciones. Los movimientos vibratorios de las masas de los edificios, producen fuerzas de inercia que inducen esfuerzos en elementos de la estructura y que pueden conducir a la falla (BAZAN; MELI, 2013).

**Figura 37.** Movimiento de las placas sísmicas

Fuente: BAZÁN; MELI, 2013, p.16, edición nuestra

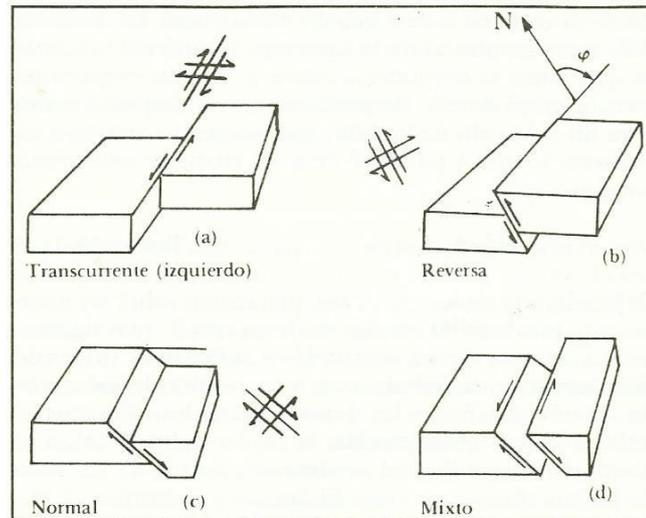
### 6.5.1. Réplicas

Se denominan réplicas a temblores pequeños, después de haber sucedido uno grande, cuyo foco están localizados en el área de ruptura del sismo principal. La duración de las réplicas puede durar desde días hasta años, esto depende de la magnitud con que haya ocurrido el sismo de gran magnitud (NAVA, 2002).

El autor afirma que en el momento que es aplicada las fuerzas actuantes sobre las rocas, esta puede comportarse de manera plástica y no soportar, generando una falla. Así, cuando el terreno ya no soporta dichos esfuerzos, se rompe a lo largo de un plano, denominándose, plano de falla.

### 6.5.2. Tipos de Fallas

Existen varios tipos de fallas, dependiendo de los esfuerzos que actúen sobre un cuerpo. La falla normal (Figura 38- c), es resultante del esfuerzo de tensión, la falla reversa (Figura 38-b), realiza un esfuerzo de compresión, y la falla transcurrente (Figura 38-a) es aplicada cuando sus esfuerzos son cortantes. En el momento que existen las tres fallas anteriores al mismo tiempo, se llaman fallas mixtas (Figura 38-d) (NAVA, 2002).

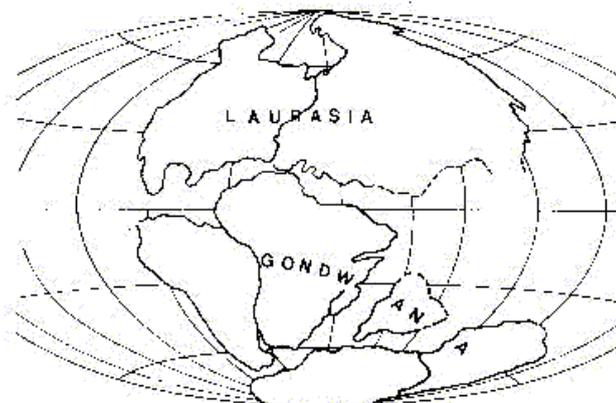
**Figura 38.** Tipos de fallas

Fuente: NAVA, 2002, p.32

### 6.5.3. Formación de continentes

Según Aguiar (2008), hace millones de años, todos los continentes estaban unidos en una sola masa, llamada pangea y el único océano que rodeaba a la pangea era el Panthalassa. Con el tiempo esta masa empezó a moverse lentamente y a su vez a romperse. Una primera ruptura se da en Groenlandia, cuando se separa de Europa, formando dos grandes continentes, Laurasi y Godwana (Figura 39).

**Figura 39.** Rotura de la masa denominada pangea, en dos grandes continentes: Laurasia y Godwana



Fuente: AGUIAR, 2008, p.2

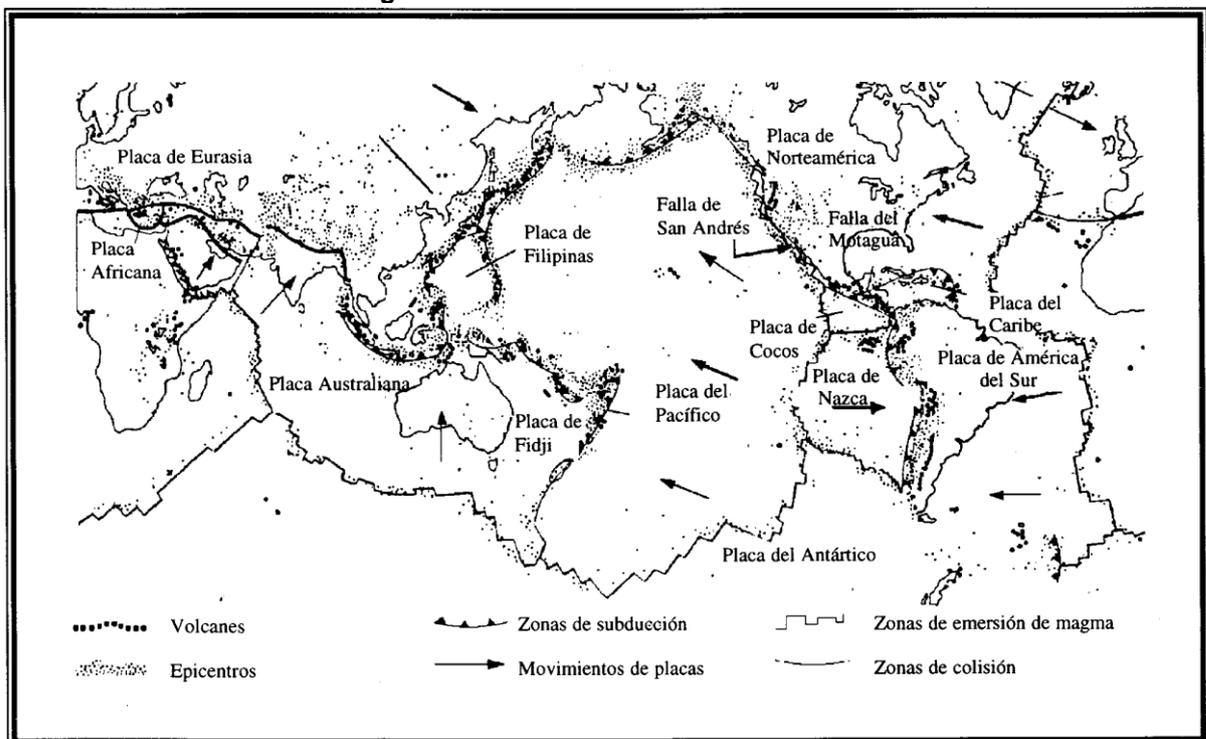
El autor comenta que la teoría formulada por el meteorólogo Alfred Wegener en 1912, sobre la teoría de la deriva continental, afirma las roturas de la masa para la formación de los continentes. Si se observa, al unir los continentes,

América, África y Europa, encajan una con otra en forma de un rompecabezas, y son coincidencia que, en los continentes de Oceanía, África y América, tengan los mismos minerales, flora y fauna muy similares.

#### 6.5.4. Placas Tectónicas

Los movimientos llamados tectónicos, son los responsables por la aparición de las montañas, volcanes, sismos, fallas geológicas (AGUIAR, 2008). Las fallas, que afectan la corteza terrestre, tienen una gran actividad sísmica que se concentran en las zonas donde se producen los movimientos más frecuentes. La zona que libera gran parte de la energía sísmica, se encuentra en el Cinturón Circumpacífico (BAZÁN; MELI, 2013). En América del sur, se encuentran la Placa de Nazca o Placa Oceánica y la Placa de América del Sur o Placa Continental (Figura 40).

**Figura 40.** Placas tectónicas en el mundo



Fuente: BAZÁN; MELI, 2013, p.16

#### 6.5.5. Riesgo Sísmico

Según Nava (2002), se denomina peligro sísmico a las probabilidades de ocurrencia de un sismo en un lugar determinado, que cause pérdidas o daños. En el peligro sísmico, entran factores, como: efectos locales de ampliación, daños en construcciones y pérdidas de vidas.

Para determinar el riesgo sísmico, depende mucho de la localización del asentamiento humano y son medidos por medio de acelerogramas. Estos dispositivos, son utilizados con gran frecuencia para obtener la variación de aceleraciones con el tiempo en el lugar del sismo. Los acelerogramas registran la aceleración del terreno en tres direcciones, dos horizontales y una vertical, permitiendo definir la intensidad del movimiento y los efectos que causará en la estructura (BAZÁN; MELI, 2013).

#### 6.5.6. Sismo-resistencia

De acuerdo con el Centro Nacional de Construcción de Colombia (2003), la sismo-resistencia es una propiedad de una edificación. Que, a partir de técnicas de diseño en la configuración geométrica y la inserción de sistemas estructurales, sea capaz de resistir esfuerzos producidos por movimientos sísmicos, protegiendo la integridad de las personas. En el caso de un movimiento fuerte, una edificación sismo resistente no debe entrar en colapso y tiene la función proteger la vida de los ocupantes.

La sismo-resistencia está encargada de que la edificación tenga la capacidad de resistir fuerzas sísmicas, aunque estos presenten daños en la estructura a causa de un sismo fuerte. La disminución de la respuesta estructural es el objetivo del diseño sismo-resistente, que garantice una buena resistencia (SANCHEZ, 2012, apud Thomson 2008).

Aun el autor menciona que una edificación sismo-resistente debe cumplir con ciertos parámetros estructurales, para soportar un movimiento sísmico. Más allá de escoger un sistema estructural adecuado, se debe tener en cuenta

algunos principios, como la geometría de la planta, su volumetría, y la tecnología constructiva. Hay que recalcar que la cimentación es una parte muy importante, la cual cumple con la función de transportar las cargas vivas, muertas, y cargas dinámicas producidas por los movimientos del terremoto, para lo cual se debe tener un gran cuidado con sus materiales para que este resista dichas cargas.

Para Moroni (2014), la sismo-resistencia ha tenido una gran influencia en la arquitectura. Los aspectos como el diseño del proyecto y la distribución de la estructura son aspectos fundamentales para enfrentar un sismo, sin embargo, la autora menciona que la sismo-resistencia ha sido vista como una limitación para el diseño arquitectónico, es así que muchos arquitectos la miran como una restricción para el proyecto.

Por otro lado, Maroni afirma que la sismo-resistencia fue desarrollada a finales del siglo XX, y especialistas han manifestado que existe una relación entre la configuración de la planta, de la forma, con el comportamiento sismo-resistente. Más allá de eso se realizan análisis y cálculos sísmicos de la edificación.

## 6.6. FILOSOFÍA DEL DISEÑO

Según Bazán y Meli (2013), lo peculiar en el diseño sísmico, no está solo en la capacidad de respuesta estructural, sobre los efectos dinámicos de los sismos, sino también a la intensidad con que pueden llegar a suceder estos fenómenos. A esto se suma la intensidad del sismo con relación a la vida útil de la estructura.

Aún los autores mencionan, que en la mayoría de los reglamentos sísmicos, establecen como metas, evitar un colapso de la estructura ante un movimiento sísmico excepcionalmente severo y moderado. Para estos objetivos se plantean términos sobre los estados límites que se propone en caso de un movimiento sísmico.

a) Estado límite de servicio: en el cual no deben exceder deformaciones o

- interferencia con el funcionamiento de equipamientos ni daños en elementos no estructurales, como; puertas, ventanas, tabiques, etc.;
- b) Estado límite de integridad estructural o estado de daño: en este estado, puede presentarse daño no estructural y daños estructurales con un rango menor, como por ejemplo: grietas sobre las estructuras de concreto;
  - c) Estado de límite o de supervivencia o de colapso: aquí puede ocasionar un daño estructural significativo, ocurriendo rara vez en el tiempo de vida útil.

Para Awad (2012), el nivel permitido de daños, depende de la importancia o uso que tenga la edificación, es decir, si una edificación es vital para la sobrevivencia de las personas, como: hospitales, escuelas, centros de salud, plantas de energías, etc., los daños permitidos deben ser mínimos, para así garantizar el funcionamiento de estos centros en ocasiones de desastres.

#### 6.6.1. Recomendaciones para el diseño sísmico

Meli y Bazán (2013) afirman, que la estructura, debe ser capaz de disipar la energía ocasionada por un terremoto. En casos de un movimiento severo, es aceptable que gran parte de esta disipación de energía, se realice con deformaciones inelásticas que ocasionan daños, siempre y cuando no colapse su estructura.

En otros términos, los autores manifiestan, que la estructura debe tener rigidez para soportar los desplazamientos laterales, comportándose de manera dinámica que eviten amplificaciones excesivas de la vibración. Además, la estructura debe ser resistente a cargas laterales para absorber la fuerza de la inercia.

El diseño sísmico, está expuesto a las siguientes etapas:

- a) Selección de un sistema estructural adecuado: el sistema estructural, debe tener la capacidad de absorber la energía disipada por el terremoto. Para los autores, la selección del sistema constructivo garantiza el diseño sísmico.
- b) Análisis sísmico: las diferentes leyes, establecen criterios de construcción, para calcular la respuesta de la estructura y proporcionar métodos de análisis para

distintos grados, preferencialmente con análisis que se acerquen más hacia la realidad. Para ello existen una diversidad de programas los cuales ayudan a simular los estados sísmicos.

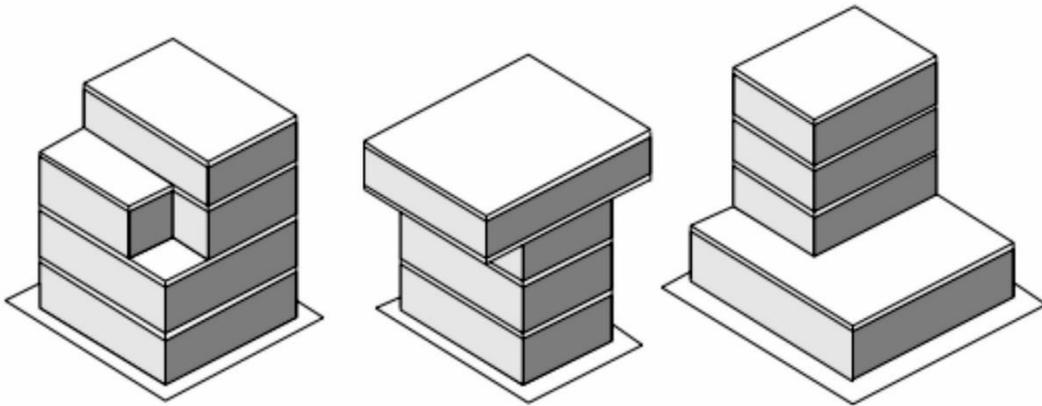
- c) Detallar las estructuras: para que las estructuras se comporten de manera dúctil, es recomendable por los autores, detallar sus elementos y conexiones para proporcionar la capacidad de deformación en casos de colapso.

#### 6.6.2. Principio de estructuración para sismo-resistencia

Para Awad (2012), el diseño sísmico, no solo trata de la simetría de la estructura, sino también existen otros factores que permiten a la edificación tener un buen comportamiento antes sismos. Conforme a las experiencias obtenidas a través de varios sismos acontecidos en el mundo, se puede decir, que la estructura presenta un mejor comportamiento sísmico cuando:

- **Poco peso:** entre más liviana sea la edificación menos será la fuerza que tendrá que soportar la estructura ante un abalo sísmico. Las estructuras con grandes pesos se mueven con gran dislocamiento cuando ocurre un evento ante este fenómeno.
- **Simetría y regularidad tanto en planta como en su elevación:** la forma irregular de la edificación hace con que la estructura sufra torsión. La uniformidad ocasiona concentración de fuerzas en las esquinas, dando como resultado falta de resistencia en la estructura. La organización Panamericana de Salud (2000), muestra tres ejemplos de formas irregulares que sufren daños por causa de sismos (Figura 41).
- **Plantas poco alargadas:** el autor sugiere que en planta la estructura debe ser poco larga, para que los efectos de movimientos de un extremo no sean diferentes del otro. La edificación no debe presentar una gran altura para evitar el volcamiento de este.

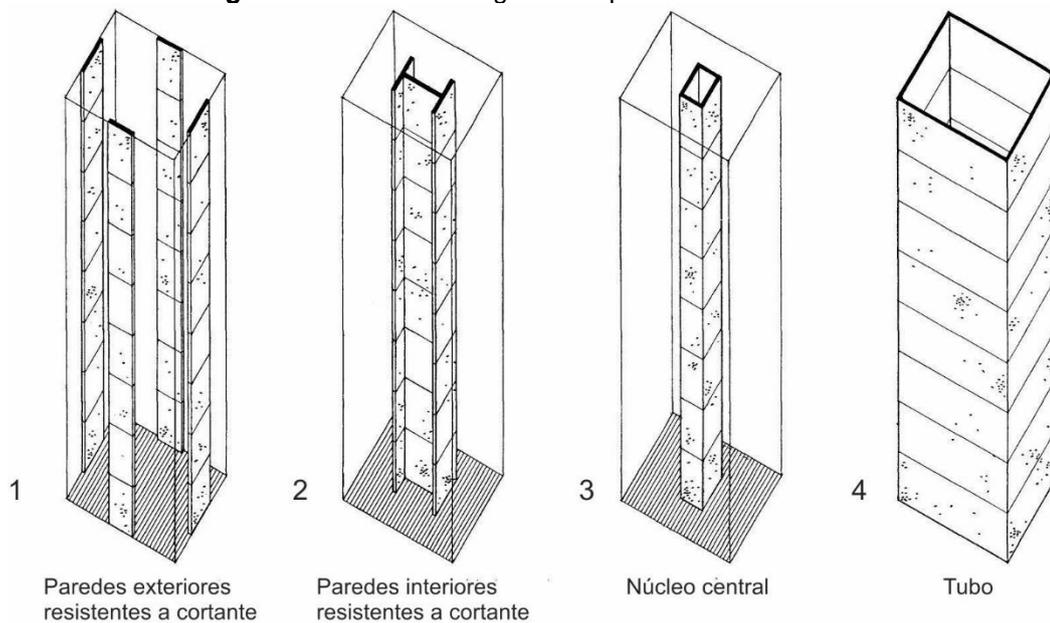
**Figura 41.** Formas Volumétricas Irregulares



Fuente: OPS, 2000, p.35

- **Resistencia y rigidez:** Awad, expone que la resistencia y la rigidez, debe ser colocada proporcionalmente en la edificación, así el cuerpo se comporta como uno solo. Engel (2001), presenta formas con las cuales se puede conseguir una rigidez vertical (Figura 42).

**Figura 42.** Formas de rigidez adaptadas a la edificación



Fuente: ENGEL, 2001, p. 282

- **Propiedades dinámicas deben ser compatibles con el terreno:** Las propiedades de la edificación deben ser congruentes con las del suelo en la cual está cimentada.
- **Congruencia entre la construcción y el diseño proyectado:** Finalmente el

autor enuncia, que la edificación debe ser realizada como un todo, sin sufrir alteraciones con el pasar del tiempo.

### 6.6.3. Solicitaciones para diseño sísmico

El autor Awad (2012), indica que una construcción, debe crear espacios en donde las personas puedan realizar sus actividades en condiciones seguras y que proporcionen *confort*. Para ellos menciona 3 condiciones que debe tener una estructura: resistencia, rigidez y ductilidad.

#### 6.6.3.1. Resistencia

Para Engel (2001), resistencia es: *“La fuerza con que se opone un cuerpo a un desplazamiento o un cambio de forma a causa de la acción de una fuerza externa, que es igual a la fuerza de resistencia”*.

Conforme Diez (2012), se trata de la integridad de la estructura y todas sus partes. La estructura no debe tener rupturas en su conjunto o de sus partes. De esa manera los materiales de la estructura deben ser de calidad y ser utilizado la cantidad necesaria para poder resistir cargas de diferentes solicitaciones.

Awad (2012), expresa que la estructura debe tener la suficiente resistencia para soportar efectos producidos por las diferentes cargas, sean verticales, cargas eólicas producidas por los vientos y las cargas sísmicas.

#### 6.6.3.2. Rigidez

Diez (2010), menciona que un material es tan rígido cuanto mayor sea el esfuerzo para producir una deformación, o cuanto menos sea la deformación producida por el esfuerzo provocado. En otras palabras, es la capacidad que un material tiene para resistir a la deformación.

De acuerdo con Armas (2010), la rigidez es la propiedad que presenta un cuerpo oponiéndose a deformaciones. Incluso puede definirse como la capacidad de soportar cargas o tensiones sin que la estructura llegue a deformarse.

Awad (2012), manifiesta que la estructura debe tener rigidez para enfrentar a las deformaciones excesivas, en situaciones de abalos sísmicos. Al menos en temblores de baja intensidad para reducir daños en elementos no estructurales.

#### *6.6.3.3. Ductilidad*

Según Meli y Bazán (2003), la ductilidad es la propiedad de un material, que le permite mantener su resistencia para poder deformarse. Para los autores esta propiedad es muy importante en una estructura sismo resistente, porque elimina la posibilidad de una falla de tipo frágil, y que pone una fuente adicional de amortiguamiento.

De acuerdo con Bozzo y Barbat (2004), la ductilidad es la capacidad del material para llegar a su deformación plástica sin romperse. Un material es dúctil, cuando tiene la capacidad de deformarse de manera permanente y apreciable a un rango inelástico antes de fallar. Es así, que la capacidad de absorción de energía como la disipación de energía, dependen de si el material es dúctil. Existen materiales como el acero, que poseen propiedades dúctiles, mientras que el hormigón sin refuerzos no es un material dúctil.

Por lo tanto Awad (2012), expresa que la estructura debe tener una ductilidad suficiente para que en el peor de los casos, las cargas sísmicas superen los valores estimados, la estructura se deforme inelásticamente, sufriendo daños estructurales menos en los no estructurales, sin que la edificación colapse.

### 6.7. TECNOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS

La respuesta de una estructura ante un sismo es influenciada principalmente por las propiedades de los materiales o tecnologías constructivas. Existen diferentes características de los materiales tales como: el peso, que determina la masa de la estructura, e influye en la fuerza de la inercia generada por los movimientos laterales del sismo; el módulo de elasticidad del material, que determina la rigidez lateral de la estructura durante los periodos de oscilación; la deformación del material; la ductilidad y el amortiguamiento inelástico. Las

tecnologías constructivas, más usuales para edificaciones sismo-resistente son: el acero, el concreto armado, la madera y el bambú, que presentan grandes características ante un evento sísmico, sobre todo de disipar energía.

#### 6.7.1. Acero

El acero es un material producido en la industria, que está compuesto de hierro y carbono. El carbono determina la resistencia y la ductilidad del material. Entre mayor sea la cantidad de carbono, el acero es más resistente y menos dúctil. Al perder ductilidad, perjudica el uso como material estructural, a causa de la fragilidad de su ruptura, en otros términos, sufre grandes deformaciones (REBELLO, 2000). Estas deformaciones se producen porque existe en el hierro un alto tenor de carbono, que se denomina hierro fundido, el cual es un material que se derrite con facilidad, permitiendo moldear formas elaboradas (SALVADOR, 2011).

Aún Rebello menciona que el acero para ser aplicados en estructuras posee la misma resistencia para tracción y compresión. Sin embargo, el acero se adapta mejor a esfuerzos de tracción, mismo por producir secciones esbeltas, así como la facilidad de adaptar vínculos a la estructura. El acero por ser un material resistente es indicado que su uso se de en esfuerzos de tracción. Para esfuerzos de flexión, el acero presenta buenos resultados, ya que tiene iguales esfuerzos contra tracción y compresión.

Salvadori comenta que el acero se volvió un material muy económico en el mercado, que es utilizado en edificios con gran cantidad de pavimentos de alta resistencia. El autor manifiesta que con el pasar del tiempo el acero de alta resistencia ya no se tornará tan frágil a medida que su resistencia aumente. Sin embargo, existen algunas dificultades del acero, ya que su punto de fusión llega a 500°C y su fragilidad para los 34°C negativos.

#### 6.7.2. Concreto Armado

Salvadori (2011), expresa que el concreto armado es un material estructural artificialmente interesante, que al mezclar la resistencia a la compresión del concreto y la resistencia a la tracción del acero, puede ser moldeado de

cualquier forma. Es un material a bajo costo, que está disponible en cualquier parte del planeta y sobre todo es a prueba de fuego. Puede ser utilizado para disminuir las cargas permanentes disminuyendo sus materiales o también puede ser reforzado para aumentar la resistencia de la estructura.

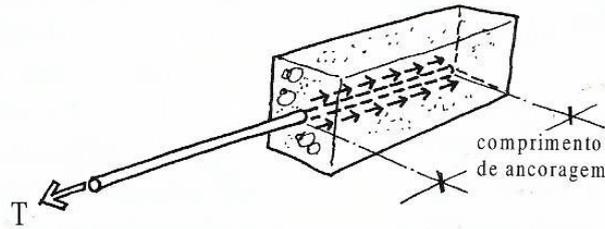
Aún el autor acrecenta, que el concreto u hormigón, es una mezcla de varios componentes como: arena, cemento, grava y agua. La resistencia del concreto depende de la relación del agua con el cemento y del cemento en relación a la grava, por ejemplo, cuanto más delgado y fino sea la arena y la piedra, más resistente será el concreto. Y así contrariamente, entre más cantidad de agua tenga la mezcla, el concreto tiende a ser más frágil. En el concreto armado, se inserta barras de acero, ya que este material trabaja con la tracción, absorbiendo toda la carga y el concreto trabajando a compresión.

**Figura 43.** Construcción a través de concreto armado



Fuente: AECweb, 200?

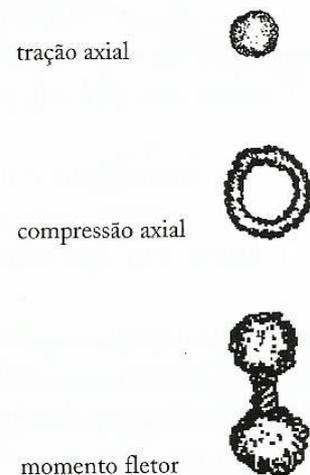
Rebello (2000), afirma que el concreto, tiene la función de proteger la armadura, ya que el acero, está expuesta a sollicitaciones de esfuerzos. Esto puede ocasionar fisuras con aberturas muy grandes, obligando a disminuir tensiones de trabajo. Los vínculos son fácilmente viables, cuando el concreto armado u hormigón armado, está expuesto a fuerzas de tracción, puesto a que la transmisión de los esfuerzos en esas conexiones se da de acuerdo a la longitud de anclaje de la armazón.

**Figura 44.** Longitud de anclaje del concreto

Fuente: Rebello 2000, p.73

En la Figura 44, muestra la longitud del anclaje, siendo la longitud necesaria de la armazón, que el concreto necesita para transmitir de forma adecuada las fuerzas de tracción o de compresión en los vínculos y conexiones de las demás piezas de hormigón armado.

Como el autor expone, que para cada tipo de esfuerzo existe una distribución adecuada en el material en la sección de la pieza. Es así que cuando la pieza es sometida a esfuerzos de tracción, su masa puede estar concentrada en su centro. En cambio, en esfuerzos de compresión, para tener un buen rendimiento, las secciones deben tener sus masas alejadas del centro de gravedad de la sección. Cuando el material está sujeto a esfuerzos de flexión, sus masas concentradas deben estar lejos del centro de gravedad contenido en el plano ortogonal al de la sección de esfuerzo (Figura 45).

**Figura 45.** Concentración de masas, según sus esfuerzos

Fuente: REBELLO, 2000, p74.

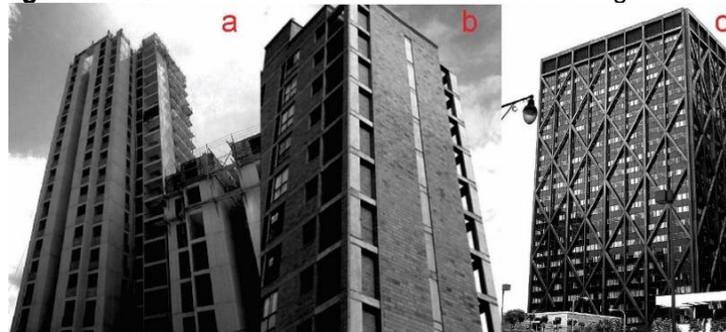
Según Silva (2006), para diseñar una edificación de concreto armado y que sea resistente ante un sismo, debe tener: rigidez, masa, resistencia y ductilidad. La masa es una variable muy importante en la edificación ya que esta propicia una fuerza de inercia causada por los movimientos sísmicos, cuanto mayor sea la masa, su periodo<sup>14</sup> de oscilación será mayor. Con la rigidez es al contrario, entre mayor sea la rigidez el edificio tendrá menos opciones de colapsar.

<sup>14</sup> Silva (2006) define periodo en estructura, como el tiempo que toma la estructura para desplazarse y cumplir un ciclo completo de oscilación.

De acuerdo con Awad (2013), existen sistemas comunes de construcción con hormigón armado o concreto armado, los cuales se comportan de manera satisfactoria ante un sismo:

- **Sistema de muros:** en este sistema la estructura soporta las cargas verticales denominado muro de carga, mientras las cargas horizontales por muros reforzados. En este sistema no hay columnas ni vigas (Figura 46-a).
- **Sistema de pórticos dúctiles a flexión:** es un pórtico tridimensional de alta ductilidad soportando las cargas de flexión de vigas y columnas, tanto en cargas verticales como en horizontales. El autor menciona que los pórticos con alta ductilidad quieren un detallado en sus esfuerzos, principalmente en sus uniones donde más daños sufre la estructura ante movimientos sísmicos (Figura 46-b).
- **Sistema de pórtico:** En este sistema las cargas verticales son soportadas por pórticos mientras que las cargas horizontales por pórticos arriostrados, este sistema es a base de acero Figura (46-c).
- **Sistema dual:** Consiste en pórticos tridimensionales acoplados a muros estructurales, con alta ductilidad y resistencia. Estos pórticos deben soportar el 25% de cargas horizontales. El autor menciona que el concreto reforzado y el sistema dual, es el más indicado en zonas donde se presenta altos índices de sismicidad. Este sistema ha sido ya investigado en países como Japón y Estados Unidos presentando una gran defensa antes terremotos, por los muros estructurales y pórticos especiales de gran estabilidad, ductilidad y resistencia.

**Figura 46.** Sistemas constructivos a base de hormigón armado

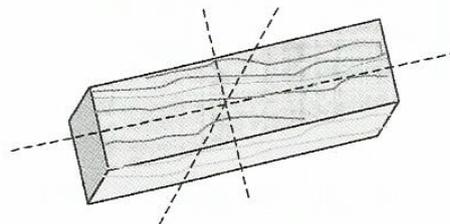


### 6.7.3. Madera

Para Rebello (2000), las propiedades de la madera son bastante variadas, dependiendo del árbol del cual sea extraída, por esos sus propiedades mudan. Al ser un material natural, la madera está expuesta a ciertos factores climáticos que pueden interferir en la vida del material.

El autor, expresa que existen dos tipos de árboles, frondosas y coníferas. Los árboles frondosos presentan una mayor dureza, por lo tanto, son más resistentes a los esfuerzos y a agentes que puedan deteriorarlo. La madera está compuesta por fibras, las cuales determinan su dirección, obteniendo como resultado un material anisótropo y poco homogéneo. Diez (2012), afirma que las moléculas de la madera, están organizadas como fibras, y sus propiedades mecánicas son diferente, según la dirección del esfuerzo ejercido. Al ser un material anisótropo, presentas tres comportamientos mecánicos diferentes (Figura 47).

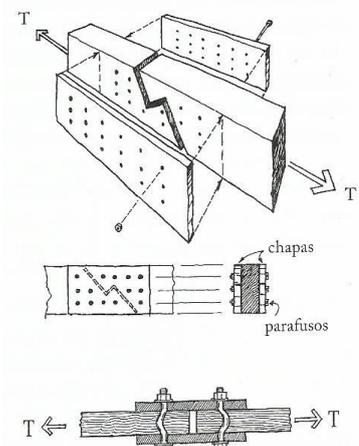
**Figura 47.** Comportamiento mecánico de la madera



Fuente: DIEZ, 2012, p.89

Aun el autor, reitera que la madera observe esfuerzos de tracción, siempre y cuando actúen en dirección de sus fibras. En piezas estructurales, se presenta dificultades para transmitir esfuerzos de tracción, principalmente cuando se realizan conexiones o emendas entre barras y apoyos como muestra la Figura 48. Para conectar estas dos piezas, es necesario la utilización de otros elementos como, pernos, chapas, etc. Rebello, recomienda que, para evitar la flexión de los tornillos o pernos, y no se disloquen, es mejor usar

**Figura 48.** Madera traccionada y sujeta por medio de tornillos

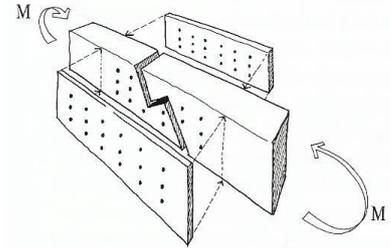


Fuente: REBELLO, 2000, p.70

piezas poco espesas.

Los esfuerzos de compresión son bien absorbidos por la madera, cuando estos actúan en el sentido de las fibras. Al realizar las enmiendas o conexiones a la estructura, y cuando es sometida a solicitudes de tracción, el material presenta facilidades de ejecución, que hasta pueden ser hechos por encajes como se ve en la Figura 49.

**Figura 49.** Madera encajada sometida a esfuerzos de compresión



Fuente: REBELLO, 2000, p.71

Por su vez, la madera sometida a esfuerzos de flexión presenta buenos resultados, pero si existe enmiendas y presentan esfuerzos son bastantes complejas y trabajosas. Como anuncia el autor, en este tipo de esfuerzos es mejor evitar las enmiendas.

De acuerdo con los autores Bazán, Meli (2013), la madera es un material natural, por lo tanto, sufre algunas propiedades mecánicas. Su principal ventaja con respecto al comportamiento sísmico es su bajo peso que limitan a las fuerzas de inercia que produce la estructura. Su comportamiento tiende a ser lineal, sin embargo, no desarrolla grandes propiedades de ductilidad, más allá de eso es un material con gran capacidad para disipar la energía ocasionada por un sismo. En cuanto a su deformación es un material más resistente a la tensión que compresión, además su resistencia y elasticidad aumentan conforme las cargas se aplican en grandes velocidades.

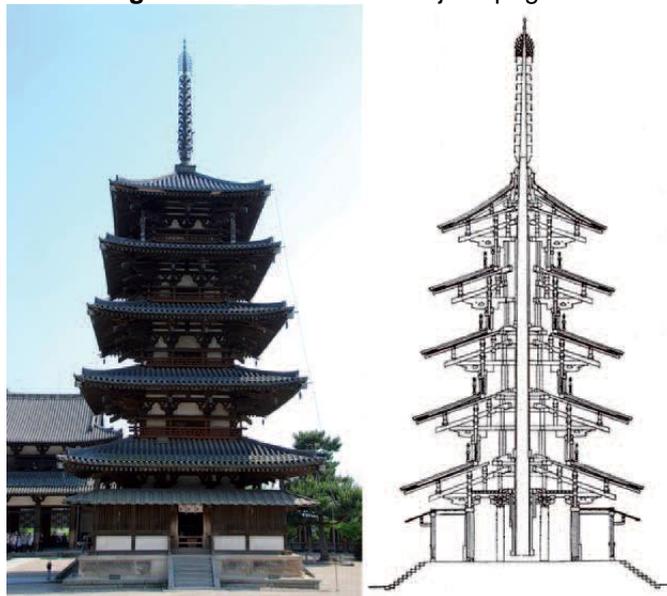
Según Garcacía (2013), las cualidades de la madera para absorber fuerzas dinámicas le convierten en un material excelente para zonas donde se presentan abalos sísmicos. La energía liberada de la tierra para la estructura provoca esfuerzos por tiempos breves, lo cual la madera contrarresta gracias a las propiedades dúctiles del material.

Según el autor, los primeros en utilizar esta técnica constructiva de madera, fueron los japoneses en el año 700. Las pagodas (Figura 50), fueron el experimento de esa época, colocando como objetivo la elaboración de edificios con 30 metros de altura realizados a base de madera. El propósito era levantar las

estructuras de madera, encajándola una bajo de la otra con un margen de tolerancia para permitir el movimiento de los distintos elementos del sistema estructural de la base. Cada planta era de forma cuadrada, y tenía distintas dimensiones que al ser colocadas como una pirámide iban disminuyendo su tamaño como una conífera.

Esta técnica es llamada de *Kanji*, que significa columna de cajas, que genera una inercia importante, estabilizando a la estructura. Para evitar que el edificio colapse frente a movimientos sísmicos, ya que cada piso funciona independientemente, los constructores insertaron en el centro de la estructura un gran pilar que evita que los niveles se desencajen por los fuertes movimientos horizontales. Muchas de las veces se intentaban colocar el pilar desde lo más alto de la pagoda, funcionando a manera de péndulo. Todo su conjunto actuaba como un dispositivo de amortiguamiento de masas sincronizadas, disipando la energía producida por el sismo.

**Figura 50.** Técnica del Kanji en pagodas



Fuente: GARCACIA, 2013

Con el tiempo y con el inicio de la Revolución Industrial, la madera maciza es sustituida por materiales como el acero, el hormigón. Sin embargo, la madera para ser trabajada se necesitaba de mano de obra para realizar distintos ensambles, ahora existen materiales que reemplazan a esas técnicas como anclajes de metal los cuales hacen más resistentes a la estructura sobre esfuerzos actuantes. A partir de las herramientas industrializadas, como la sierra, han permitido que la

madera sea un material que realice grandes formatos.

Todavía Garcacía afirma que en Norteamérica se desarrolló un sistema constructivo denominado *light Frame*, el cual permite elaborar viviendas unifamiliares con dos pisos a base de madera. Este sistema constructivo incorpora herrajes metálicos y paneles rígidos que ayudan a la estructura a enfrentar los movimientos laterales o cortantes producidos por un sismo, transformando muros en cargas ligeras.

**Figura 51.** Simulación sísmica en Japón



Fuente: MADERA21, 2014

En Japón a través del proyecto *Capstone*, *NeesWood 2009*, se han podido realizar pruebas en escala 1:1 (Figura 51), para la simulación sísmica en un terreno con movimientos de magnitud de 7.5, para una edificación de 7 pisos. Los resultados fueron positivos, en los cuales utilizaron sistemas de anclajes integrales

que van conectados desde la parte más alta del edificio hasta los cimientos, para evitar el vuelco de la estructura.

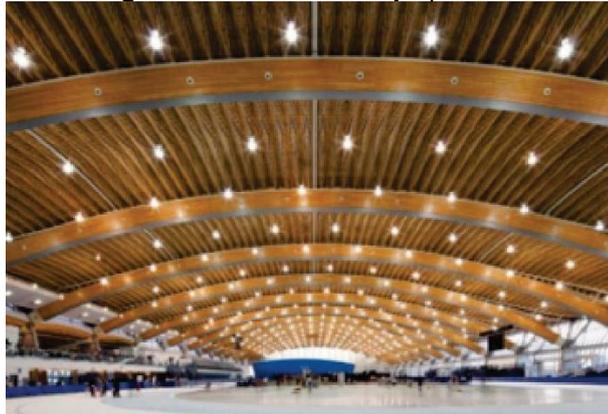
Este sistema de anclaje llamado *Anchor Tiedown Systems*, está compuesto por varillas roscantes y muelles de contracción. Las varillas que trabajan a tracción permiten la estabilidad del edificio, mientras que los muelles de contracción, compensa los esfuerzos generados en cada planta ya que cada nivel se comporta distinto debido a que la aceleración se reacciona de acuerdo a la altura del edificio, entre más alto sea, su periodo será más grande. El autor recomienda que se debe utilizar la madera con bajo índice de humedad para evitar grandes dilataciones.

#### 6.7.3.1. *Madera laminada encolada*

La madera laminada encolada es el resultado del colaje, de las láminas de madera con las fibras orientadas paralelamente al eje longitudinal de la pieza (GRANATO, 2011, apud RUSELL et al., 1999). Según el autor a causa del debilitamiento de las secciones de la madera maciza por defectos del crecimiento de los árboles, llevó a la utilización de productos derivados de la lámina de madera.

De acuerdo con el autor, la madera laminada presenta grandes ventajas sobre la utilización de láminas de mejor calidad en las regiones de alta sollicitación y láminas de menor calidad en regiones de baja sollicitación. Si se compara la madera laminada encolada con el acero o el concreto armado, posee un peso muy reducido, generando mayor economía en la ejecución de las fundaciones. Por el contrario, presenta un costo elevado en el proceso productivo, es decir, entre más grande sea la pieza mayor será su costo.

Un aspecto positivo al trabajar con madera laminada encolada, es que pueden producirse grandes vanos. Un ejemplo de este tipo es el Richmond Olympic Oval (Figura 52), que fue construido para las Olimpiadas de Invierno en 2010. Posee aproximadamente 33.000 m<sup>2</sup> de estructura cubierta, con 100 metros de vano libre de madera. Según el autor se optó como material la madera, ya que en la región es abundante y por presentar beneficios ambientales referentes al secuestro de carbono.

**Figura 52.** Richmond Olympic Oval

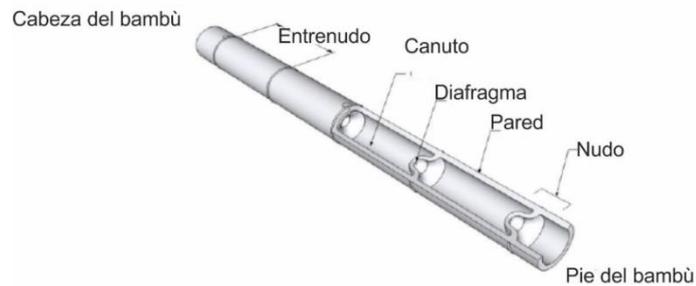
Fuente: GRANATO, 2011, apud ARCHITECTS NEWSPAPER, 2010

La madera laminada ha sido reconocida por diferentes normas de construcción como en Ecuador y Colombia, mediante la norma de sismo-resistencia NRS10, la cual establece algunas regulaciones acerca de la calidad de la madera laminada, de la clasificación de las especies de árboles, de su uso en cuanto a la humedad, etc. De acuerdo al Ingeniero Briceño (2011), la madera laminada encolada, ha sido un material que gracias a sus propiedades ha sido catalogada como un material para construir grandes estructuras de bajo peso y por su alto índice de sismo-resistencia. La madera a diferencia de los demás materiales, es renovable que durante su vida retiene gas carbónico.

#### 6.7.4. Bambú

En los últimos años, el bambú, ha sido utilizado como materia prima para grandes desenvolvimientos tecnológicos. Muy contrario a la madera, este material natural, el bambú, no ha sufrido grandes explotaciones y deforestaciones como la madera, y puede servir para un sinnúmero de aplicaciones dentro de la construcción (FREIRE; BERALDO, 2013).

El bambú, es un material de rápido crecimiento en la Tierra y existen en casi todos lados, según afirman los autores. La caña de bambú está constituida por nudos y entrenudos (Figura 46), que se alteran conforme su longitud. Los nudos de la caña, presentan mayor resistencia para la estructura, y los entrenudos no son macizos, por lo tanto, existe un vacío en la parte interior de la caña.

**Figura 53.** Partes del bambú

Fuente: SANCHEZ 2015.

Según mencionan Freire y Beraldo, existen diversidades de medidas en los bambús, que va desde la especie *Arundinaria pusilla*, con medidas de 0.5m de altura y 5 mm de diámetro, hasta la especie *Dendrocalamus giganteus*, con cañas de hasta 30m de altura, con un diámetro de 30cm. En la Tabla 1 están las diferentes especies de bambú, con sus respectivas medidas.

**Tabla 1.** Dimensiones y masas de especies de bambú

Especies	Colmo			Comprimento do internó cm
	Comprimento útil <sup>1</sup> m	Diâmetro cm	Massa kg	
<i>Bambusa vulgaris</i>	10,7	8,1	12,5	32,0
<i>Bambusa vulgaris</i> var. <i>vittata</i>	9,3	7,2	10,3	34,0
<i>Bambusa oldhami</i>	9,9	6,9	8,4	41,0
<i>Bambusa nutans</i>	10,0	5,8	7,8	38,0
<i>Bambusa tulda</i>	11,9	6,6	11,9	49,0
<i>Bambusa beecheyana</i>	9,0	7,8	10,5	28,0
<i>Bambusa stenostachya</i>	15,1	8,2	17,5	35,0
<i>Bambusa tuldoidea</i>	9,2	4,3	3,8	46,0
<i>Bambusa textilis</i>	8,1	4,8	3,3	44,0
<i>Bambusa ventricosa</i>	9,3	4,8	4,5	44,0
<i>Bambusa maligensis</i>	7,4	4,3	3,5	28,0
<i>Bambusa dissimulator</i>	9,5	4,6	5,2	41,0
<i>Dendrocalamus asper</i>	14,5	12,2	61,3	34,0
<i>Dendrocalamus latiflorus</i>	11,5	11,5	40,7	37,0
<i>Dendrocalamus strictus</i>	10,5	7,6	15,0	38,0
<i>Dendrocalamus giganteus</i>	16,0	14,2	84,5	34,0
<i>Ochlandra travancorica</i>	11,3	9,4	26,0	40,0
<i>Phylllostachys edulis</i>	4,4	3,6	2,1	15,0

Fuente: Febre Berarlo, 2013 p. 260

Los nudos ejercen un amarre transversal proporcionando mayor rigidez a la caña de bambú. Mientras que algunas cañas de bambú presentan en su parte exterior una especie de barniz, el cual protege contra fuego, en cuanto la parte interna es cubierta por una membrana (FREIRE; BERALDO, 2013, apúd, LOPEZ, 1974).

De acuerdo con los autores, las propiedades mecánicas del bambú, son influenciadas por diversos factores, tales como: especie, edad, tipo de suelo, condiciones climáticas, época de colecta, tenor a la humedad, localización con respecto a la caña, presencia de nudos y el tipo de prueba realizada. Fueron elaborados algunas pruebas con 7 tipos de bambú en Brasil. Como resultado surgió, que el bambú posee una alta variación de resistencia, comparada con el acero, presentando ventajas ante cargas dinámicas, como en el caso de terremotos.

Más allá de eso Freire y Beraldo afirman, que el bambú, además de servir como elemento estructural se caracteriza por absorber alta energía y es muy seguro para zonas en donde se producen abalos sísmicos. Zhou, apud Luise (1987), presenció que el bambú, en cuanto a la resistencia por tracción y compresión aumentan durante 6 años, a diferencia de un bambú de 8 años presenta resistencia a flexión.

Según Gutierrez (2011), el bambú es un material ancestral muy utilizado en Colombia principalmente en las zonas rurales, además este material presenta buenos comportamientos sísmicos gracias a su rigidez. De acuerdo al autor el máximo exponente en construcciones con bambú es Simón Velez, con el Pabellón de la Expo-Hannover 2000 Figura 54, en el cual fueron sometidos diferentes pruebas para comprobar su resistencia.

**Figura 54.** Pabellón de la Expo-Hannover en Manizalez- Colombia



Fuente: GUTIERREZ, 2011

EL bambú o caña guadua ha sido introducido como material sismo-resistente en la Norma Colombiana NRS-10, estableciendo como límite 2 pavimentos de construcción con bambú y solo se podrá utilizar con fines de vivienda,

además la ley afirma que no debe existir encima de la construcción de bambú, otro pavimento con materiales como el concreto armado para evitar el colapso.

#### 6.7.5. *Wood Framing*

De acuerdo con Calil Junior; Molina (2010), el sistema *Wood Framing* consiste en la construcción de viviendas a través de perfiles de madera reforestada y tratada. Los cuales sirven de estructura para la elaboración de pisos, paredes y el tejado, y posteriormente son revestidos con otros materiales. Según los autores el sistema constructivo en *Wood Framing* es utilizada en un 95% en los Estados Unidos para viviendas.

Aún los autores exponen que el sistema constructivo al ser industrializado permite la proyección de viviendas de hasta 5 pavimentos. La madera es utilizada para la realización de la estructura, presentando un peso leve y de rápida ejecución (Figura 55). Este sistema ya es implantado en países de América Latina, como en el caso de Brasil, Chile y Venezuela, con la construcción de viviendas de 40 a 65 m<sup>2</sup>, para interés social. Cabe recalcar que la madera es un material renovable, que demanda bajo costo energético para ser producido.

**Figura 55.** Vivienda construida con sistema *Wood Framing*



**Fuente:** Atos ARQUITETURA, 2016

Calil Juniot; Molina, afirman que la madera presenta buenas características térmicas, logrando absorber 40 veces menos calor que la albañilería

de ladrillos. La madera utilizada para el sistema *Wood Framing*, es sacada del pino y el eucalipto, estas especies presentan un crecimiento rápido, sin embargo, el pino por ser permeable evita el ataque de insectos.

El dimensionamiento de los paneles estructurales del sistema *Wood Framing* en paredes y pisos tienen comportamientos de placa o chapa como mencionan los autores, recibiendo las cargas laterales producidas por movimientos del viento o de sismos y las cargas verticales o permanentes producidas por el peso de la propia estructura.

De acuerdo a LP Building Product (2011), apud Ecker; Martins (2014), las fundaciones más comunes en sistemas de *Wood Framing* y *Steel Framing* son utilizadas la zapata corrida y la fundación radier, para transmitir de manera uniforme las cargas hacia el suelo. La fundación radier (Figura 56), de acuerdo a los autores, es un elemento superficial que abarca todos los pilares de la estructura, en cambio la zapata corrida, distribuye las cargas linealmente de los pilares. Este sistema constructivo es muy parecido al *Steel Framing*, con la diferencia de que una es a base de madera y la otra a través de perfil de acero galvanizado den frío.

**Figura 56.** Fundación radier



Fuente: Tecverde apud Ecker; Martins, 2014

Para los pisos Ecker y Martins, comentan que son utilizados decks constituidos por chapas de OSB, las cuales son sujetadas por medio de vigas de

madera con sección rectangular. Estas vigas proporcionan pisos leves que resisten a los esfuerzos de flexión ocasionadas por las cargas accidentales, de viento, o de sismos. A su vez las paredes son compuestas por recubrimiento de madera OSB y el ensamble con la estructura es realizado a través de clavos o grapas para fijación. Para la proyección de pisos superiores, es importante que los montantes que funcionan a manera de pilares estén colocados en la dirección paralela a sus fibras para que sus fuerzas descarguen correctamente hacia la fundación.

#### 6.7.6. *Steel Framing*

Conforme el Instituto Latinoamericano de Fierro y el Acero (ILAFA) (2007), este sistema constructivo está formado a base de perfiles en frío de acero galvanizado, que forman parte de la composición de los paneles estructurales y no estructurales, vigas, techo, etc. Al ser un material industrializado permite la rapidez en su ejecución (Figura 57), más allá de eso su estructura funciona como uno solo, resistiendo a diferentes cargas producidas en el edificio, tales como cargas sísmicas y eólicas. Este sistema constructivo aparece en el siglo XIX, iniciando con casas realizadas a partir de una estructura de madera en Norteamérica, la cual fue denominada *Wood Framing*.

**Figura 57.** Vivienda de *Steel Framing* de FORMAC SA en Chile

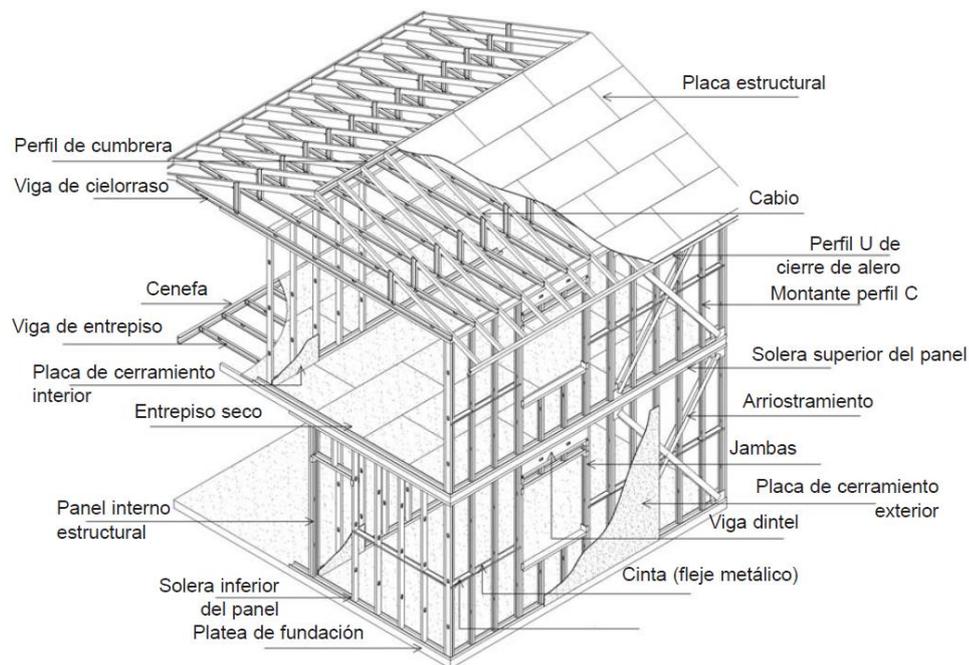


Fuente: Dannemann, 200?

El ILAFA afirma que, a partir de la Segunda Guerra Mundial Estados Unidos empezó a tener una abundante producción de acero y posteriormente a la

fabricación de perfiles en frío, que reemplazaba a la madera por tener diferentes ventajas, tales como; mayor resistencia y una gran eficiencia estructural para enfrentar catástrofes naturales como terremotos y huracanes. En Japón fue utilizado el sistema *Steel Framing* después de la Segunda Guerra Mundial, ya que las casas que estaban construidas a base de madera se incendiaron. El sistema *Steel Framing* está compuesta de paredes, pisos y techo como muestra la Figura 58.

**Figura 58.** Elementos constructivos de *Steel Framing*



Fuente: ILAFA, 2007

Hay que destacar que este sistema constructivo permite realizar modulaciones, el cual optimiza costos y mano de obra. Así mismo los paneles estructurales cumplen con la función de transmitir todas las cargas hacia el suelo y sus cerramientos pueden ser realizados con OSB para exteriores y yeso acartonado para interiores. Los entre pisos son realizados con el mismo material de acero galvanizado siguiendo la misma modulación de los montantes y las vigas son apoyadas en los montantes para que coincidan con sus almas y dar resistencia sobre todo a las cargas axiales. Y con respecto al techo *Steel Framing* permite diversos diseños de tejado, inclinado o plano de acuerdo al diseño arquitectónico.

Conforme Dannemann (200?) a partir de los movimientos que se

generan por el terremoto, se producen fuerzas de inercia que deforman a la estructura, por lo tanto, cuanto menor sea la masa de la construcción menor será la inercia producida en la edificación. Esta reducción de masas está presente en el sistema *Steel Framing* y en sus componentes de bajo peso como las planchas de revestimiento exteriores e interiores.

Aún el autor menciona, que las estructuras en *Steel Framing*, se realizan para viviendas de pocos pavimentos, de tres y cuatro pisos en zonas sísmicas, ya en países que no presentan este tipo de fenómenos se construye hasta seis pavimentos. Además, por poseer muros revestidos con planchas rígidas, la edificación presenta una gran rigidez lateral, de la misma forma son colocados en las paredes riostras de perfiles de acero en forma diagonal, para que no exista ningún daño en los cerramientos o paredes.

**Figura 59.** Vivienda en Chile con *Steel Framing*



Fuente: Dannemann, 200?

Dannemann, en la Figura 59, muestra un ejemplo en Chile de una vivienda utilizando el sistema *Steel Framing* con los revestimientos exteriores estucados. A primera vista, la vivienda de tres pisos se asemeja a una construcción convencional realizada de concreto y mampostería, con la diferencia que es más leve, más rígida y resistente a fenómenos naturales. Lo que aconseja el ILAFA, es evitar agregar masas a estas construcciones, como el contrapiso de hormigón, revestimiento de ladrillos, tejas cerámicas, etc., ya que el objetivo de *Steel Framing* es tener viviendas leves para no causar tanta fuerza de inercia a la estructura.

## 6.8. ESTUDIOS DE CASO

### 6.8.1. Mediateca de Sendai

Es una obra que está destinada para un centro cultural de medios de comunicación transparente, permitiendo una completa visibilidad y transparencia de todo lo que le rodea. La mediateca es revolucionaria en cuanto a su ingeniería y su estética, convirtiéndose en un ejemplo de la arquitectura sismo-resistente (Sveiven, 2013).

**Figura 60.** Mediateca de Sendai



Fuente: Engenharia e Construção, 2013

#### 6.8.1.1. Ficha Técnica

Denominación de la obra: Mediateca de Sendai

Autores del proyecto: Toyo Ito

Ubicación del proyecto: Sendai-shi, Japón

Año de inicio de proyecto: 1995

Año de finalización: 2001

Área construida: 21.504m<sup>2</sup>

Sistema constructivo y material: Acero y parcialmente hormigón armado

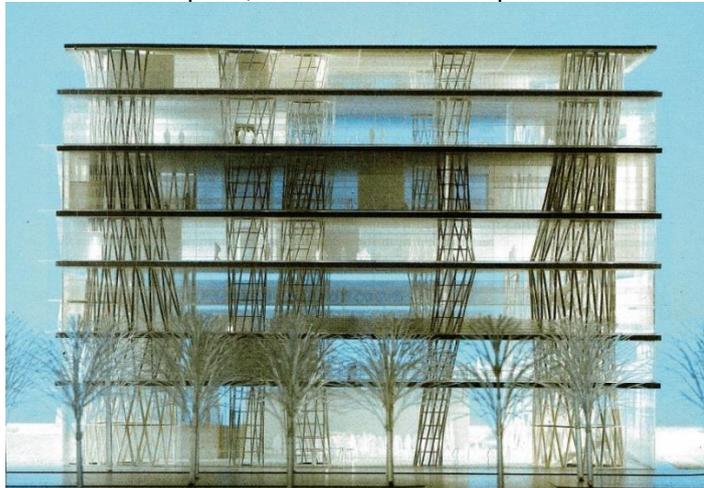
### 6.8.1.2. Descripción de la edificación

La Mediateca de Sendai, mantiene una imagen externa de la tradición moderna. Es una edificación convencional acristalada en la parte exterior y en su configuración interna, su estructura es completamente diferente. Al ser un prisma acristalado, mantiene la idea de Mies Van der Rohe. La propuesta arquitectónica tiene un concepto y un medio de expresión formalista, compuesto por tres partes: placas, tubos y piel (CAPITEL, 201?).

### 6.8.1.3. Análisis de la forma

El volumen de la estructura es de forma cúbica, midiendo 50m de largo y 30m de ancho. Sus losas poseen una figura cuadrada, de forma estática en siete niveles, como muestra la Figura 61, las cuales representan un modo de comunicación diferente entre las personas. Los tubos fueron concebidos como algo que se mueve y baila en el agua como las algas funcionando a manera de pilares, son muy parecidos a la forma de un árbol, que penetran las losas sosteniendo de manera integral. Estos tubos son flexibles y sirven como medio de transporte de personas, para el paso de la luz, viento, sonido. A partir de la forma regular, presenta un diseño sísmico que le garantiza estabilidad a la estructura, comportándose como un solo elemento ante un evento natural. Sus pilares son la base estructural de la edificación que sustentan desde la parte más alta hasta el suelo.

**Figura 61.** Fachada de maqueta, mostrando la sobre posición de las losas cuadradas



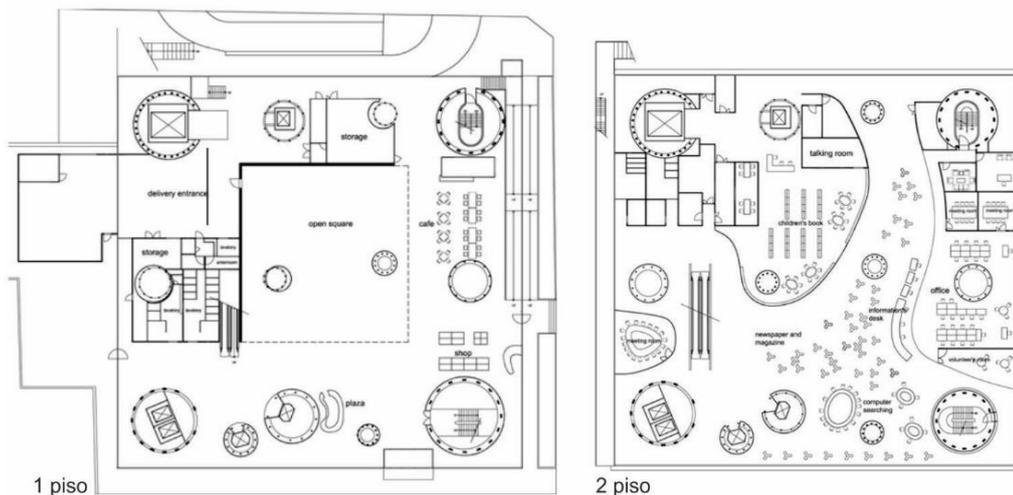
Fuente: Revista Internacional de Arquitectura 2G, 1997

#### 6.8.1.4. Análisis de la función

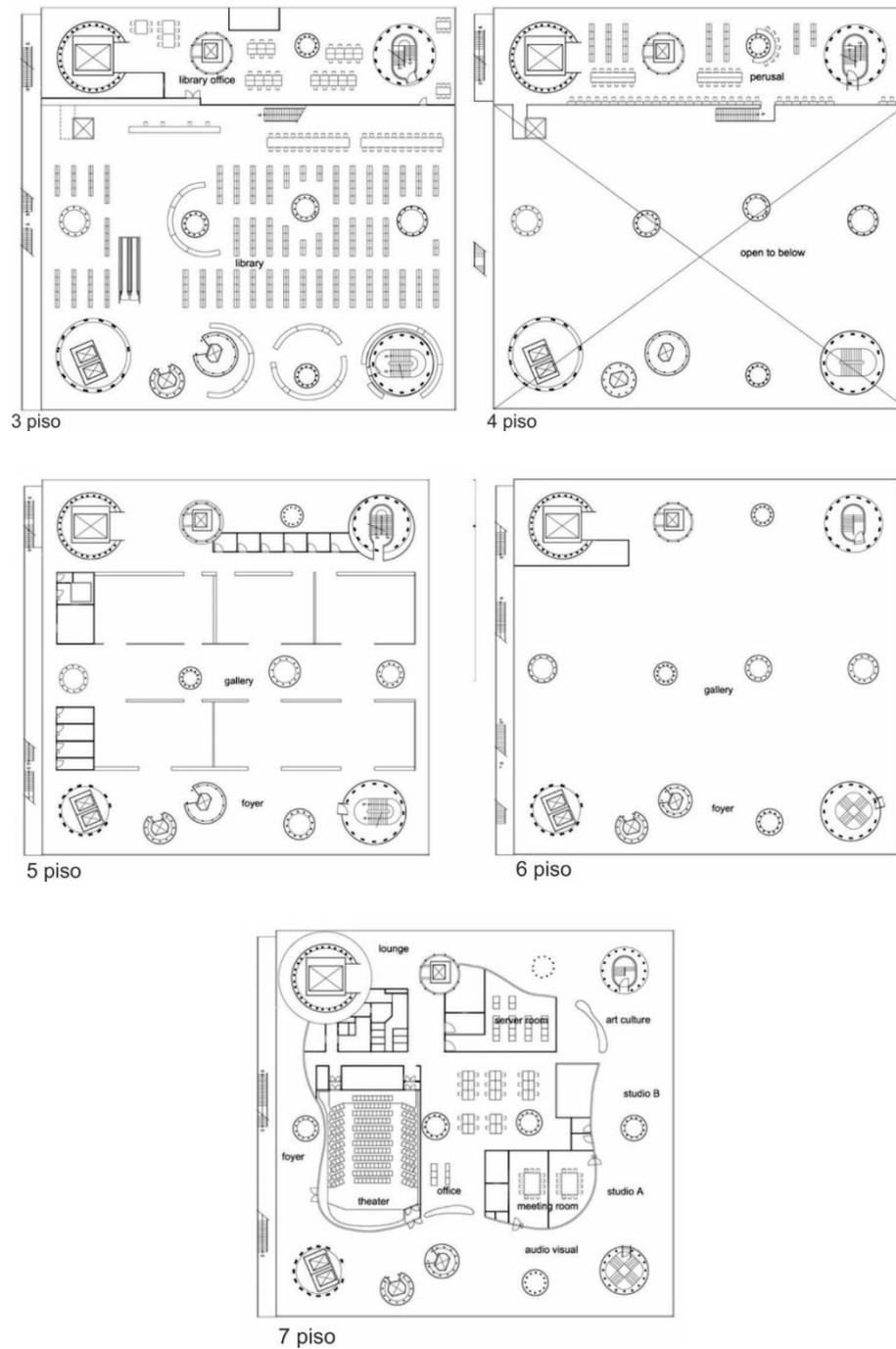
Dentro del programa de necesidades, esta edificación en su primer piso, está localizada una plaza, que funciona como recepción para las personas. En la segunda planta se localiza una biblioteca, internet, y administración. Ya en el tercer y cuarto pavimento se encuentran las salas de estudio y sala de préstamos de libros. En el quinto y sexto piso funcionan las áreas de exhibición, que son acomodadas de acuerdo a su utilidad. En el séptimo piso se encuentra la sala de cine y salas para conferencias, que están encerradas por una pared curva, que el propio arquitecto las denomina como membranas<sup>15</sup> (Figura 62).

En sus plantas se puede observar que la separación de los ambientes, se da por medio de mobiliarios, y no por paredes de concreto. Esto hace con que la estructura presente menos peso, ya que una parte de la carga muerta compuesta por los elementos estructurales disminuye, en otras palabras, la estructura en este caso soporta la carga viva y la carga muerta conformada solo por las vigas.

**Figura 62.** Plantas de la Mediateca de Sendai



15 Autor: Calos Zeballos. Disponible en: <http://moleskinearquitectonico.blogspot.com.br/2008/05/toyo-ito-mEDIATECA-DE-SENDAI.html>. Acceso en 10/11/2016



Fuente: Zeballos, 2008

### 6.8.1.5. Análisis de la Tecnología

Bajo esa idea el arquitecto Toyo Ito utilizó en su estructura 6 losas estriadas de acero, cada una de 0.80cm” de espesor, apoyándose sobre 13 columnas verticales de acero que entrecruzan los pavimentos hasta llegar a la última planta (Figura 63). El arquitecto Toyo Ito, tomó como referencia para la ejecución del

proyecto la forma de los árboles para las columnas, que además de cumplir la función de sustentabilidad del predio, permite el ingreso de luz, sonidos, aire (Sveiven, 2013). El concreto armado y el acero presentan grandes propiedades de disipación de energía, principalmente por el acero que trabaja de manera dúctil hacia los movimientos laterales ocasionadas por el sismo.

**Figura 63.** Corte de la Mediateca, mostrando el ingreso de luz por medio de los pilares estructurales



Fuente: Sveiven, 2013, edición nuestra

Toyo Ito, para la concepción del proyecto, tenía la intención de no crear juntas, no crear vigas, no crear paredes, no crear habitaciones, para propiciar menos peso a la estructura, es por ello que muchos de los espacios son separados por mobiliario o a su vez son grandes espacios cumpliendo varias actividades.

**Figura 64.** Separación de ambientes por medio de mobiliarios



Fuente: Zeballos, 2008

### 6.8.2. Catedral de Christchurch

Esta obra del arquitecto japonés Shigeru Ban, es bastante conocida por su estructura y la tecnología adaptada, que fue levantada rápidamente después de un terremoto sucedido en febrero del 2011, sacudiendo la isla con un sismo de magnitud 6.3 grados en escala Richter, causando daños en la catedral de estilo gótico de 132 años de antigüedad (PORADA, 2013).

**Figura 65.** Catedral de Christchurch de papel en Nueva Zelanda



Fuente: Catalogo Diseño, 2013

#### 6.8.2.1. Ficha Técnica

Denominación de la obra: Catedral de cartón de Shigeru Ban

Autores del proyecto: Shigeru Ban

Ubicación del proyecto: Nueva Zelanda

Año de inicio de proyecto: 2013

Año de finalización: 2013

Sistema constructivo y material: Papel de cartón, contenedores de metal y vigas de madera

### 6.8.2.2. Descripción de la edificación

La catedral, es una estructura temporal que reemplaza a la antigua catedral anglicana, hasta su nueva construcción. Se estima que la catedral construida por el arquitecto nipón dure aproximadamente 50 años. Con el material utilizado a base de cartón y madera, se logró una rápida construcción (FRANCO, 2013).

### 6.8.2.3. Análisis de la forma

La catedral de cartón, posee una forma triangular o en forma de V, que se logra a partir de la cobertura de los tubos. En la fachada donde se encuentra el ingreso posee una pantalla de vidrio de colores (Figura 67). En el interior de la iglesia se encuentran algunos contenedores reciclados para las capillas y uso de almacenamiento (FRANCO, 2013).

**Figura 66.** Vista interna de la catedral



Fuente: FRANCO, 2013

**Figura 67.** Pantalla de vidrio de la catedral



Fuente: FRANCO, 2013

### 6.8.2.4. Análisis de la función

Es un proyecto destinado a la reconstrucción temporal de la catedral antigua devastada por el terremoto, mantiene su uso religioso, utilizada de culto, o a su vez para realizar eventos o conciertos. Es un espacio amplio que alberga alrededor de 700 personas (PORADA, 2013).

#### 6.8.2.5. Análisis de la Tecnología

Para mantener una estructura rígida, que soporte la intemperie, el arquitecto diseñó la catedral con una estructura que se apoye sobre una base de fundación profunda en hormigón, con ocho contenedores que sujetan y estabilizan los taludes de la iglesia. Los tubos están reforzados por vigas de madera laminada, y están a la vez separados para permitir que la luz ingrese hacia el espacio interior. Los tubos están revestidos con poliuretano resistente al agua y al fuego (PORADA, 2013).

**Figura 68.** Sistema constructivo de la iglesia por medio de papel y cartón



Fuente: PORADA, 2013

Los materiales utilizados como el papel y el cartón, permiten una rapidez constructiva, buenos comportamientos acústicos, térmicos y disponibilidad en todo el mundo, más allá de ser un material liviano que no lastima a las personas en relación a los demás materiales. La tecnología constructiva a base de cartón y de madera hacen con que la estructura sea más leve y presente menos peso, lo cual es un factor positivo cuando ocurre un sismo, principalmente por los movimientos de inercia de la estructura, al ser menos pesada corre menos riesgo de voltearse y colapsar.

### 6.8.3. Torre Titanium

El edificio Titanium, está situado en un lugar financiero de la ciudad de Santiago de Chile, siendo la torre más alta de Sudamérica. En su localización geográfica, Chile presenta una alta actividad sísmica, y Titanium, presenta una buena respuesta estructural frente a los esfuerzos sísmicos producidos por los terremotos (BASULTO, 2010).

**Figura 69.** Edificio Titanium



Fuente: BASULTO, 2010

#### 6.8.3.1. Ficha Técnica

Denominación de la obra: Torre Titanium/Senarq

Autores del proyecto: Abraham Senerman

Ubicación del proyecto: Santiago de Chile

Año de inicio de proyecto: 2007

Año de finalización: 2009

Área construida: 132.736m<sup>2</sup>

Sistema constructivo y material: Hormigón armado y acero, fachada de cristal y aluminio, disipadores de energía.

### 6.8.3.2. Descripción de la edificación

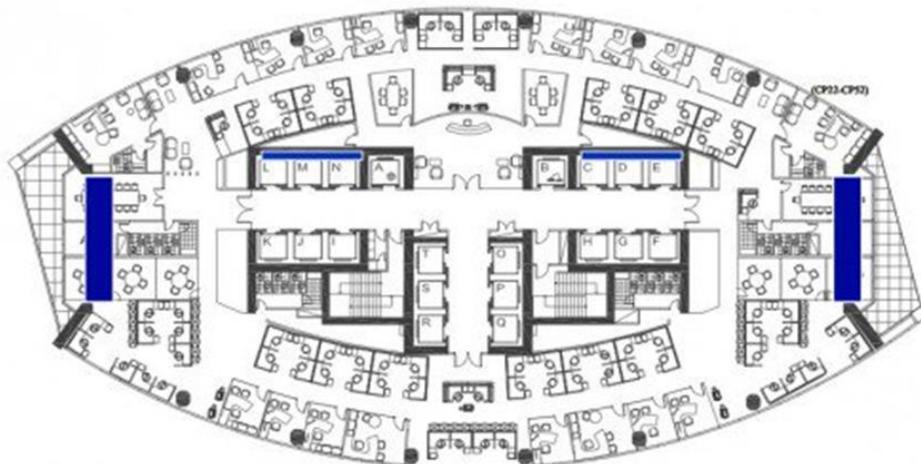
La torre Titanium, está entre los edificios más altos de Chile, con 190 metros de altura. La edificación presenta 52 pisos, con un área de 132.736 m<sup>2</sup> distribuida entre las plantas. La torre recupera una manzana en estado de deterioro por estar ubicada en una zona privilegiada (BASULTO, 2010).

### 6.8.3.3. Análisis de la forma

La concepción del proyecto posee un gran relacionamiento con el lugar, la forma de la torre se determinó a partir de la cuenca del río Mapocho. El edificio comprende 2 volúmenes curvos, el primero con una planta ovalada que sigue el curso del río y el otro que es menor de forma cóncava. La disposición de los volúmenes permite tener una gran perspectiva uniendo a la costanera con Vitacura (WEIL, 200?).

La torre, presenta en la planta un núcleo central estructural, acompañado circulations verticales y elementos verticales en ángulo en las esquinas de la torre. La estructura cuenta con dos disipadores de energía ubicados a los extremos de la edificación, como se muestra la Figura 70 de color azul (BASULTO, 2010).

**Figura 70.** Planta Arquitectónica de la Torre Titanium



#### 6.8.3.4. Análisis de la función

Titanium, es una obra arquitectónica destinada para el uso de oficinas de Senarq, esta materializado en el sector de oficinas de El Bosque del Norte. El edificio cuenta con alrededor de 20 ascensores, que están agrupados en grupos de 3 en la parte central, de los cuales 2 ascensores funcionan en caso de emergencia. En las fachadas rectas se ubican equipos de climatización, los disipadores de energía y plataformas de rescate. Según Weil todos estos elementos funcionan como un todo orgánico, permitiendo al edificio respirar, transpirar y contorsionarse.

#### 6.8.3.5. Análisis de la Tecnología

La estructura de la Torre de Titanium, está conformado por un núcleo rígido en la parte central de la planta (Figura 70). Así mismo una estructura flexible, compuesta de marcos en el perímetro, unidos por una membrana horizontal conformadas por vigas y losa estructural. Para cada 3 pisos fue incorporado disipadores de energía sísmica funcionando como amortiguadores, reduciendo los movimientos de la estructura hasta un 40% durante un sismo (WEIL, 200?).

**Figura 71.** Disipadores de energía en forma de "X"



Fuente: BASULTO, 2010

Estos disipadores sísmicos en forma de "X", cuentan con piezas flexibles en la parte central, como se observa en la Figura 71, que reducen un 40%

de las oscilaciones del edificio en caso de un movimiento telúrico (BASULTO, 2010).

**Figura 72.** Fachada cortina



Fuente: BASULTO, 2010

Otra tecnología implantada en el edificio es su fachada cortina, funcionando como un termopanel (Figura 72). En su parte interna posee gas inerte, el cual permite la reducción de calor que entra. Entre la estructura y el panel existe una separación en donde el aire caliente es extraído mecánicamente, para ser utilizado internamente en la reducción de energía.

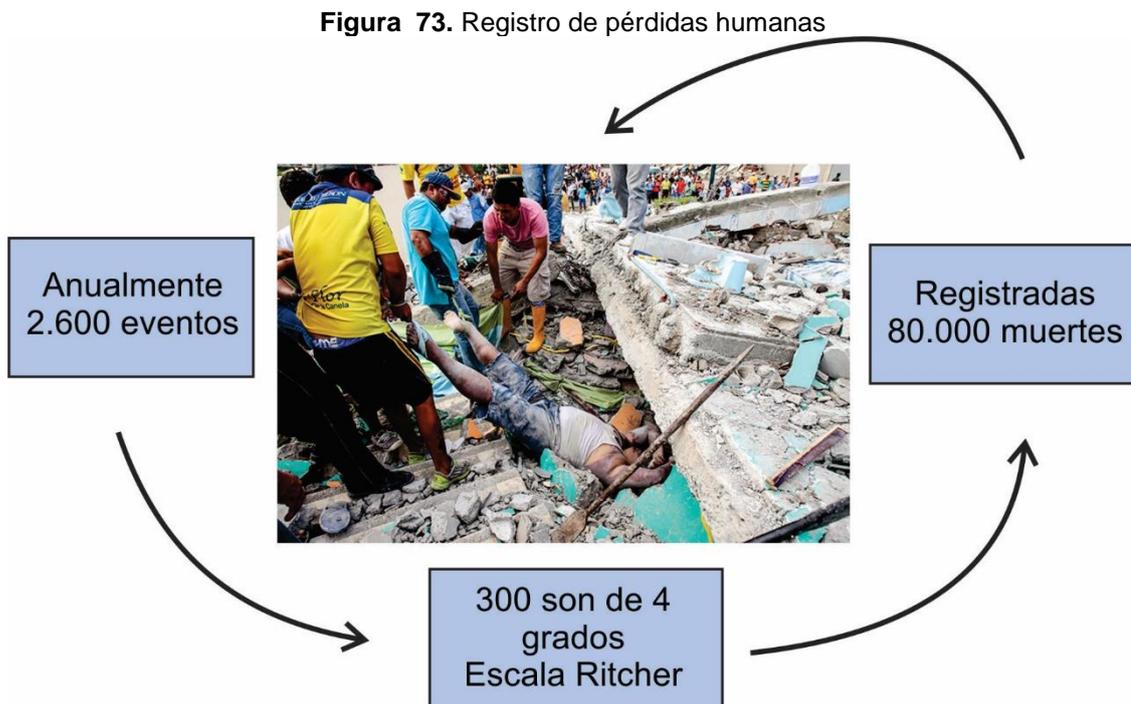
Al ser un edificio destinado para uso de oficinas, sus espacios están divididos por medio de biombos o paneles, que presentan un menor peso en relación a las cargas permanentes o muertas, además en la parte central fue proyectado un núcleo estructural que se comporta de manera rígida ante los movimientos sísmicos, y son ayudados por los disipadores de energía que son colocados hacia los extremos del edificio. Su fachada no presenta mayor peso en relación al concreto armado, ya que en su totalidad es una cortina de vidrio.

## 7. DESENVOLVIMIENTO

### 7.1. ECUADOR-CONTEXTUALIZACIÓN HISTÓRICA DE ABALOS SÍSMICOS

En el territorio ecuatoriano han sucedido varios terremotos, de gran magnitud y pequeña magnitud. Los sismos de pequeña magnitud son identificados por los sismógrafos y en su total llegan a ser miles por año. Desde el año 1541, han sucedido alrededor de 37 terremotos en una escala superior a VIII MSK<sup>16</sup> (RIVADENEIRA, et al, 2007).

De acuerdo a los autores, las pérdidas humanas registradas en Ecuador por causa de los terremotos superan las 80.000 muertes. La información que proviene de los monitoreos estima que anualmente se producen 2.600 eventos, y de estos 300 son de magnitud de 4 grados en escala Richter<sup>17</sup>.



Fuente: GONZÁLEZ, B. Registro de pérdidas humanas, CAU-UNILA, Foz de Iguazú, 2016.

<sup>16</sup> La escala MSK (Medvédev-Sponheuer-Kárník), es una escala de intensidad macro sísmica, utilizada para evaluar las fuerzas de los movimientos de la tierra basándose en efectos destructivos en las construcciones humanas y en el cambio de aspecto de la tierra. Disponible: <https://kevinsolarte.wordpress.com/category/escalas/>. Acceso en: 20/11/2016.

<sup>17</sup>Ritcher es una escala de magnitud local, siendo una escala logarítmica que asigna un número para cuantificar el efecto de un terremoto. Disponible en: <https://kevinsolarte.wordpress.com/category/escalas/>. Acceso en: 20/11/2016.

En la Tabla 2 del Catálogo de Terremotos del Ecuador, se encuentra una lista de las ciudades con los movimientos sísmicos que superan intensidades mayores o iguales a VIII.

**Tabla 2.** Catálogo de Terremotos en Ecuador

No.	FECHA		EPICENTRO		INT MAX	ZONA DE MAYOR AFECTACIÓN
	Año/mes/día		Lat.	Lon.		
1	1541	04 sd	0,10	-77,80	VIII	Napo
2	1587	08 31	0,00	78,40	VIII	Pichincha
3	1645	03 15	1,68	-78,55	IX	Chimborazo, Tungurahua
4	1674	08 29	1,70	-79,00	IX	Chimborazo, Bolívar
5	1687	11 22	-1,10	-78,25	VIII	Tungurahua
6	1698	06 20	1,45	78,30	X	Tungurahua, Chimborazo
7	1736	12 06	0,78	78,80	VIII	Pichincha, Cotopaxi
8	1749	01 20	4,00	79,20	VIII	Loja
9	1755	04 28	0,21	78,48	VIII	Pichincha
10	1757	02 22	0,93	78,61	IX	Cotopaxi, Tungurahua
11	1786	05 10	1,70	78,80	VIII	Chimborazo
12	1797	02 04	-1,43	-78,55	XI	Chimborazo, Tungurahua, Cotopaxi, Bolívar
13	1834	01 20	1,30	-76,90	XI	Carchi, Nariño* (Colombia)
14	1859	03 22	0,40	78,40	VIII	Pichincha, Imbabura, Cotopaxi
15	1868	08 15	0,60	78,00	VIII	Carchi
16	1868	08 16	0,31	78,18	IX	Imbabura, Carchi, Pichincha
17	1896	05 03	0,51	80,45	IX	Manabí
18	1906	01 31	1,00	81,30	IX	Esmeraldas. Nariño (Colombia)
19	1911	09 23	1,70	-78,90	VIII	Chimborazo, Bolívar

No.	FECHA		EPICENTRO		INT MAX	ZONA DE MAYOR AFECTACIÓN
	Año/mes/día		Lat.	Lon.		
20	1913	02 23	4,00	79,40	VIII	Loja, Azuay
21	1914	05 31	0,50	78,48	VIII	Pichincha, Cotopaxi
22	1923	02 05	0,50	78,50	VIII	Pichincha
23	1923	12 16	0,90	77,80	VIII	Carchi, Nariño (Colombia)
24	1926	12 18	0,80	77,90	VIII	Carchi
25	1929	07 25	0,40	78,55	VIII	Pichincha
26	1938	08 10	0,30	78,40	VIII	Pichincha
27	1942	05 14	0,01	-80,12	IX	Manabí, Guayas, Bolívar
28	1949	08 05	1,25	78,37	X	Tungurahua, Chimborazo, Cotopaxi
29	1953	12 12	3,40	80,60	VIII	Loja, norte del Perú
30	1955	07 20	0,20	78,40	VIII	Pichincha, Imbabura
31	1958	01 19	1,22	79,37	VIII	Esmeraldas
32	1961	04 08	2,20	-78,90	VIII	Chimborazo
33	1964	05 19	0,84	80,29	VIII	Manabí
34	1970	12 10	-3,79	80,66	IX	Loja, El Oro, Azuay, norte del Perú
35	1987	03 06	0,87	-77,14	IX	Napo, Sucumbios, Imbabura
36	1995	10 02	-2,79	-77,97	VIII	Morona Santiago
37	1998	08 04	-0,55	-80,53	VIII	Provincia de Manabí

Fuente: RIVADENEIRA, et al, 2007

De acuerdo al análisis realizado por los autores (Tabla 3), afirman lo siguiente:

**Tabla 3.** Análisis cuantitativo de terremotos en Ecuador

Descripción	Total
Terremotos en el periodo (1541-1998)	<b>37 sismos</b>
Promedio de terremotos destructivos por año	<b>0.08</b>
Recurrencia de sismos destructivos	<b>a cada 12.37 años</b>

Fuente: GONZÁLEZ, B. Análisis cuantitativo de terremotos en Ecuador, CAU-UNILA, Foz de Iguazú, 2016.

De los datos mostrados, se observa que a cada 12 años ocurre un sismo destructivo, sin embargo, pueden existir variables, por ejemplo del año 1587 a 1645, surgió un movimiento telúrico de gran intensidad, con una variante de 68 años. De 1923 a 1929 ocurrieron sismos mayores a VII grados, totalizando a 10 movimientos sísmicos en 7 años.

Los daños ocasionados por los movimientos sísmicos en Ecuador, dependen mucho de la región en la cual suceda el sismo, de la composición del suelo, los materiales con los cuales están construidas las edificaciones, las fallas activas del lugar, etc.

#### 7.1.1. Región Costa

En la región Costa o litoral, se han presentado sismos con mayor relevancia por encontrarse en una zona de alta intensidad sísmica. Sus eventos tienen origen en la zona de subducción y esta libera una gran cantidad de energía. En enero de 1906 se produce uno de los mayores sismos en esta región en la ciudad de Esmeraldas con un terremoto de 8.9 en escala Richter, a pesar de presentar una magnitud con alta intensidad no surgieron grandes daños porque la ciudad no era

**Figura 74.** Región Costa

Fuente: GONZÁLEZ, B. Región Costa, CAU-UNILA, Foz de Iguazú, 2016.

muy habitada (CORREA, HINOJOSA, TAIPE, 2004).

Manabí ha sido otra Provincia de la región Costa que ha sido afectada por sismos de gran magnitud. Por ejemplo, en 1942 se registra un sismo con una escala IX MSK; en 1958 un sismo de intensidad VIII en escala MSK y en 1998 un sismo de intensidad VIII MSK, afectando seriamente a la ciudad de Bahía de Caráquez. El último sismo que generó grandes pérdidas sucedió el 16 de abril del 2016 con 7.8 en escala Richter dejando 673 personas fallecidas y 6.998 edificaciones destruidas (DIARIO EL UNIVERSO, 2016).

### 7.1.2. Región Sierra o Interandina

Entre los movimientos sísmicos más destacados de la región Sierra del Ecuador, está el sismo ocurrido en la ciudad de Riobamba en 1797 con una intensidad de XI en escala MSK, causando varias muertes alrededor de 40.000, su topografía del terreno se vio deformada. Por causa de este sismo fueron afectadas las provincias de Tungurahua, Cotopaxi, Bolívar. La ciudad de Quito de cierta manera se vio afectada en sus edificaciones coloniales, presentando varios daños estructurales principalmente en sus templos.

**Figura 75.** Región Sierra



Fuente: GONZÁLEZ, B. Región Sierra, CAU-UNILA, Foz de Iguazú, 2016.

En 1868 se registró un terremoto en la Provincia de Imbabura, provocando grandes daños en la ciudad y sus alrededores, su intensidad fue en escala de IX MSK. En 1949 en la Provincia de Tungurahua ciudad de Ambato ocurre un sismo con intensidad en escala X (Figura 76), siendo uno de los más desastrosos como afirman los autores, provocando alrededor de 5.000 muertes y daños en inmuebles, este sismo se extendió hasta las provincias de Cotopaxi, Chimborazo, Bolívar, Pichincha y Pastaza.

**Figura 76.** Terremoto en 1949-Provincia de Tungurahua



Fuente: RIVADENEIRA, et al, 2007

**Figura 77.** Campamento en Pelileo, despues del sismo de Tungurahua



Fuente: RIVADENEIRA, et al, 2007

En la parte sur de la región Sierra las únicas Provincias que se han visto afectadas fueron Cañar, Azuay y Loja en donde se registró un sismo con una intensidad VIII en escala MSK.

### 7.1.3. Región Oriente

En esta región se han presenciado sismos moderados, en 1987 se registró un sismo en la zona de El Volcán Reventador, con una magnitud de 6.9 en escala Richter, ocasionando efectos en la economía nacional, este sismo está relacionado con las fallas subandinas que pasan por el volcán. El sismo de 1541 producido en la Provincia de Napo destruyó una parte de la población indígena ubicada, siendo el primero sismo identificado (RIVADENEIRA, et al, 2007).

**Figura 78. Región Oriente**



Fuente: GONZÁLEZ, B. Región Oriente, CAU-UNILA, Foz de Iguazú, 2016.

### 7.1.4. Galápagos

De acuerdo con los autores, en la Región Insular o Islas Galápagos es una zona altamente sísmica y volcánica sin embargo los movimientos generados en esa zona es moderado sin superar escalas de VIII MSK.

**Figura 79. Galápagos**



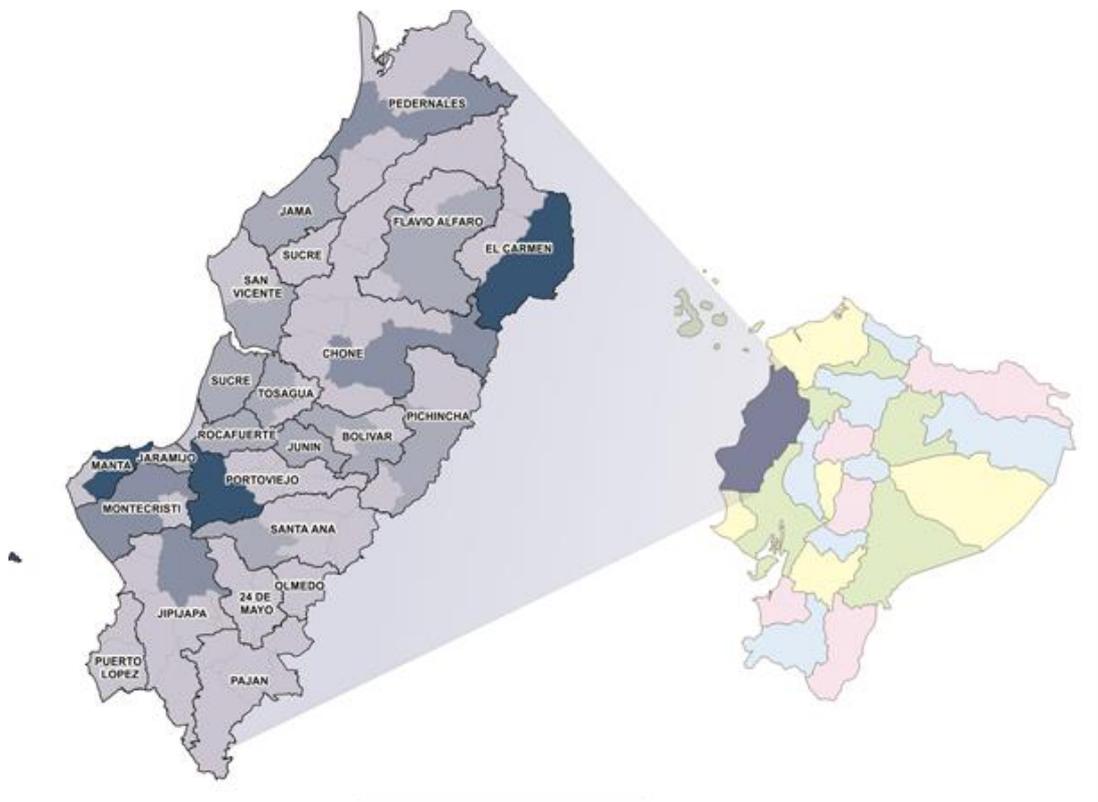
Fuente: GONZÁLEZ, B. Región Galápagos, CAU-UNILA, Foz de Iguazú, 2016.

## 7.2. PROVINCIA DE MANABÍ

La provincia de Manabí está localizada en el centro noroeste de Ecuador, en la región Costa o Litoral. Su capital es Portoviejo limitando al norte con la Provincia de Esmeraldas, al Sur con la Provincia de Santa Elena, al este con las Provincias de Santo Domingo de los Tsáchilas y Los Ríos y al oeste con el Océano Pacífico. La Provincia de Manabí está dividida en 22 cantones.

La superficie territorial es de 18.400 km<sup>2</sup>, y su población es de 1.369.780 de habitantes con un promedio de 3.97 personas por hogar según el censo del 2010 por el INEC, siendo la tercera ciudad más poblada, después de Pichincha y Guayas. Además, Manabí es uno de los principales centros administrativos, económicos y financieros del País. Las principales actividades que se desarrollan en la zona son el comercio, la ganadería, la industria y la pesca, situándose como el segundo puerto pesquero más importante a nivel nacional, además es una Provincia que promueve bastante el turismo.

**Figura 80.** Mapa de la Provincia de Manabí



Fuente: INEC, 2010, edición nuestra

El clima que presenta Manabí varía entre subtropical seco a tropical húmedo, manteniéndose en un promedio de 23°C a 25°C.

### 7.2.1. Último Terremoto Destructivo-16 de abril del 2016

Según el Instituto Geofísico del Ecuador<sup>18</sup> el sismo presentado el 16 de abril del 2016, tuvo una magnitud de 7.8 grados en escala Richter, cuyo epicentro fue ubicado en el cantón de Pedernales en la Provincia de Manabí. El movimiento sísmico se produjo por el resultado de las placas Nazca y la placa Sudamericana (INSTITUTO GEOFÍSICO, 2016).

Conforme el diario El Universo (2016), el sismo dejó un total de 673 personas fallecidas, y 6.998 edificaciones destruidas total o parcialmente. Según afirma el Ingeniero Fabián Carrasco, las leyes no se cumplen en Ecuador por ese motivo las edificaciones colapsaron. A su vez el Ingeniero Enrique García postuló, que en Ecuador existe informalidad en la construcción, es decir, los encargados de la construcción son los obreros y no los arquitectos o ingenieros (ZIBELL, 2016).

A partir de la visita de la BBC MUNDO junto con el arquitecto Fausto Cardoso afirma:

A primera vista hay un peso muy grande en la parte superior y las estructuras no son lo suficientemente sólidas para sostenerla. El sentido común en zonas sísmicas indica que los elementos más pesados deben estar abajo y conforme vas elevando la construcción tienes que ir aligerando el peso (ZIBELL, 2016).

**Figura 81.** Edificio colapsado en el cantón Pedernales



Fuente: ZIBELL, 2016

<sup>18</sup> El Instituto Geofísico de la Universidad Politécnica Nacional es el organismo encargado del monitoreo de sismos y volcanes en Ecuador.

Otro aspecto observado por el diario BBC, fue el uso inadecuado de los materiales. Los moradores de la ciudad manifestaron que muchas de las edificaciones fueron realizadas con la arena del mar, siendo que la sal daña al hormigón y corroe al hierro disminuyendo la resistencia de la estructura (Figura 82).

**Figura 82.** Estructura colapsada



Fuente: ZIBELL, 2016

Otras de las visitas realizadas por BBC, fue a uno de los cantones de la Provincia de Manabí, Bahía de Caráquez, en donde encontraron una edificación antigua construida a base de madera y caña (Figura 83). La edificación no presentó ningún daño estructural, según afirma el arquitecto Cardoso, esto se debe a su estructura liviana que permite absorber la energía y se mueve conforme las vibraciones del sismo.

**Figura 83.** Casa de Madera y Caña



Fuente: ZIBELL, 2016

## 8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 8.1. VISITA TÉCNICA Y ENTREVISTAS

A partir de la visita técnica realizada en Ecuador, específicamente en la Provincia de Manabí en el cantón de Pedernales, se logró realizar un levantamiento fotográfico de las viviendas afectadas por el terremoto del 16 de abril del 2016. Además de eso se entrevistó a varios arquitectos e ingenieros civiles en la ciudad de Quito, con el objetivo de identificar algunos problemas de construcción existentes en la región.

Una de las entrevistas realizadas en el Colegio de Arquitectos, manifiesta lo siguiente:

Las construcciones en Ecuador las realizan con los maestros mayores (obreros), para evitarse el pago del arquitecto sin saber de qué a futuro, cuando termine la obra, cuando ya estén viviendo ahí, el obrero desaparecerá. Y cuando hay algún desperfecto como no son técnicos pueden hacer barbaridades y después hay problemas en toda la vida y también se genera la falta de trabajo. Si la gente fuera consiente trabajaría con arquitectos (Arq. Carlos Andino, Quito, 08 febrero de 2017).

En el cantón de Pedernales, se practica mucho la autoconstrucción, mismo por el costo que se necesita para contratar a un profesional. De acuerdo a ello se realizará un análisis de los daños comunes causados en las viviendas a partir de la estructura y el diseño arquitectónico.

- Estructura

Varias de las edificaciones visitadas en el cantón de Pedernales, estaban construidas en forma de voladizo, las cuales presentaban una sobrecarga en los pisos superiores y eran soportados por pilares mal dimensionados. Como muestra la figura 84 (a), la edificación en forma de voladizo presenta una carga considerable la cual es sujeta por pilares muy pequeños. Se puede apreciar que a partir del movimiento sísmico tuvieron que reforzar la estructura con soportes de caña para que la vivienda no entre en colapso.

**Figura 84.** Dimensionamiento errado de pilares



Fuente: GONZÁLEZ, B. Dimensionamiento errado de pilares, CAU-UNILA, Pedernales-Manabí, 2017.

La norma Ecuatoriana de Construcción (NEC 2015), en estructuras de hormigón armado establece en el ítem 4.3, que el dimensionamiento de columnas debe ser de 30cm x 30cm como mínimo, en áreas donde se presentan movimientos sísmicos. Por lo visto, las viviendas no cumplían con las normas de construcción, no eran legalizados y mucho menos tenían el acompañamiento de un profesional.

[...] Solo se construye con obreros, la parte estética puede quedar bien, pero en lo estructural queda mal realizado. [...] No hay personal a cargo que se encargue de ver si la mezcla de los materiales está correctamente, cantidad de varillas, etc. (Ing. Jorge Cruz, Quito, 08 febrero de 2017).

Otro aspecto que se logró identificar en las edificaciones que sufrieron daños por el sismo, fue en sus cerramientos (Figura 85). Varias de las edificaciones presentaban daños en sus paredes, sin embargo, las vigas y los pilares no presentaron daños tan significativos. El sistema constructivo utilizado en estas edificaciones para los cerramientos fue la mampostería de bloque sin refuerzo, la cual no resistió a los movimientos bruscos ocasionados por el terremoto.

**Figura 85.** Daños en cerramientos



Fuente: GONZÁLEZ, B. Daños en los cerramientos, CAU-UNILA, Pedernales-Manabí, 2017.

En la mayoría de las edificaciones presentaban una distribución inadecuada de estribos y colocadas en distintas direcciones, es decir, no estaban situadas homogéneamente como muestra la Figura 86, esto hace con que la estructura tanto viga como pilar pierda resistencia al no realizar un amarre adecuado del concreto, lo cual tiende a generar un colapso de la estructura.

**Figura 86.** Estribos mal distribuidos

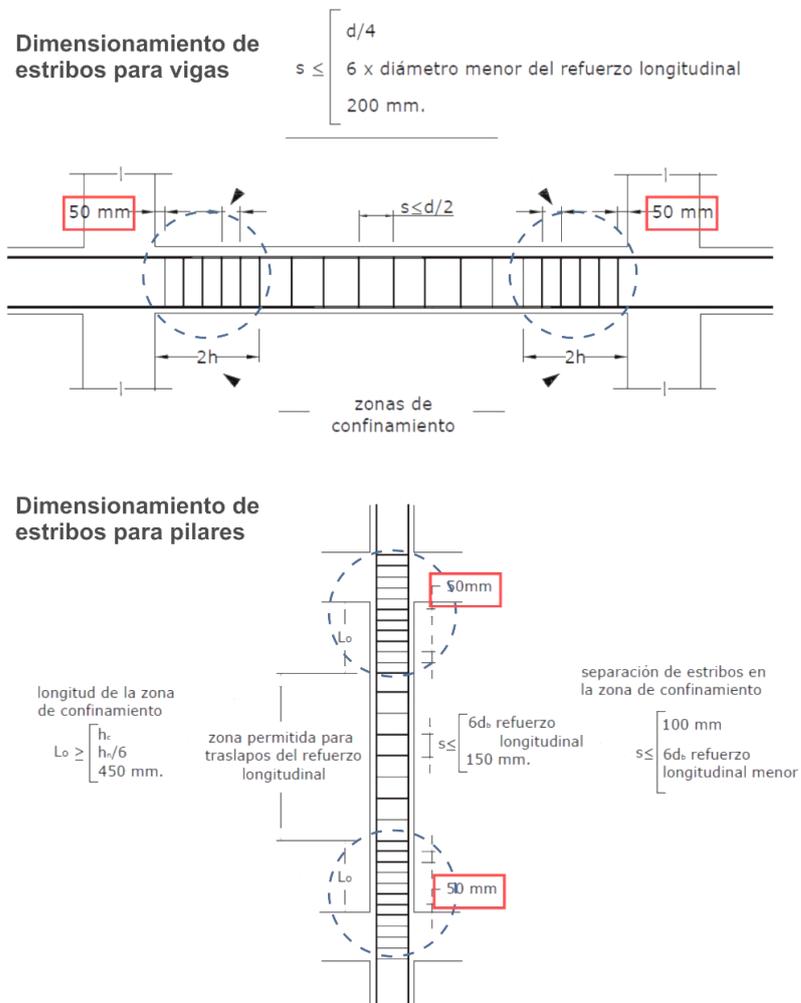


Fuente: GONZÁLEZ, B. Estribos mal distribuidos, CAU-UNILA, Pedernales-Manabí, 2017.

Existía un pobre detallamiento estructural. Viagé a el área afectada y se encontraban estribos sin ganchos sísmicos, las separaciones muy altas y por no cumplir con normas de recubrimiento el acero de refuerzo estaba corroído (Ing. Lenin Fernández, Quito, 08 febrero de 2017).

La Norma Ecuatoriana de Diseño Sismo Resistente, recomienda tener un mayor refuerzo de estribos en las uniones entre columna y viga, como muestra la Figura 87, ya que estas zonas son críticas cuando se genera un movimiento sísmico. La norma establece que, desde su límite exista una separación de 5cm para garantizar una mayor resistencia y luego distribuir los estribos uniformemente de acuerdo a los cálculos. Además, se debe colocar para pilares y vigas como mínimo barras corrugadas de 8 mm y para los estribos 10 mm, conforme la Norma Ecuatoriana de Construcción en el ítem 3.4.2. colocación del acero de refuerzo.

**Figura 87.** Dimensionamiento de estribos para viga y pilar



Fuente: Norma Ecuatoriana de Diseño Sismo Resistente, 2014, edición nuestra

Otro ejemplo en una vivienda construida sin la colocación adecuada

de los estribos se da en la Figura 88-b. En la parte baja del pilar se puede observar que existe un flambaje en las varillas, principalmente por no utilizar la Norma Ecuatoriana de Construcción, la cual establece la colocación de un mayor número de estribos en las partes extremas para lograr un mayor refuerzo. Cabe recalcar que esta edificación estaba siendo construida en el periodo que aconteció el sismo, es decir, no se estaba realizando una construcción sismo resistente sabiendo que es una zona altamente sísmica.

**Figura 88.** Flambaje en la varilla de un pilar



Fuente: GONZÁLEZ, B. Flambaje en la varilla de un pilar, CAU-UNILA, Pedernales-Manabí, 2017.

Además de ello, se puede observar en la planta térrea que la escalera que da accesibilidad al piso superior colapso (Figura 88-a), al parecer no fue colocado ningún refuerzo en el marco o una viga de concreto armado que sujete a la escalera. En casos de sismos, las gradas además de permitir el acceso de un piso a otro deben ser resistentes y no colapsar para que las personas que están ubicadas en los pisos superiores puedan evacuar sin ningún tipo de inconveniente.

En una de las edificaciones durante el recorrido, se identificó en la mezcla del concreto

**Figura 89.** Arena del mar en la mezcla de concreto



Fuente: GONZÁLEZ, B. Arena del mar en la mezcla de concreto, CAU-UNILA, Pedernales-Manabí, 2017.

armado, el componente de arena del mar (Figura 89). La arena del mar es un componente con partículas de sal, el cual corroe al hierro de las varillas, haciendo que la estructura pierda su resistencia. Principalmente en los pilares, que son elementos estructurales muy importantes de la edificación y más en zonas donde se presenta cargas sísmicas y cargas eólicas, que cumplen la función de soportar y transmitir las cargas hacia la subestructura conformada por las fundaciones.

Uno de los errores cometidos en la autoconstrucción en Ecuador y principalmente en el lugar de estudio en la Provincia de Manabí en el cantón de Pedernales, es que existe una falta de cuidado en la estructura. Como se puede ver en la Figura 90, se deja las varillas expuestas a la intemperie y el clima húmedo que llega alrededor de 25° centígrados corroe al material, dejándolo sin la resistencia adecuada para soportar a la estructura. Esto sucede ya que la población va construyendo conforme crecen los ingresos del hogar, y conforme va creciendo la familia, por ello se espera aumentar un piso o más.

**Figura 90.** Varillas expuestas a la intemperie



Fuente: GONZÁLEZ, B. Varillas expuestas a la intemperie, CAU-UNILA, Pedernales-Manabí, 2017.

Muchas construcciones se han hecho ocupando quebradas, ocupando taludes, hacia ríos, que a lo largo también son riesgos que tienen las construcciones, en ladera. Entonces la gente debe también tener un poco de conciencia y conocimiento con respecto como aplicar todas las seguridades en la construcción (Arq. Lidise Bohórquez, Quito, 08 febrero de 2017).

Dentro de la informalidad en las construcciones en el cantón de Pedernales, existen bastantes viviendas que ocupan zonas no habitables, ocupando pendientes que no son muy seguras en casos de un terremoto. Como se observa en

la Figura 91, hay un gran número de viviendas que ocupan las orillas de los ríos, poniendo en riesgo su vida. Más allá de ello no existe un control por parte de la Prefectura para tomar ciertas medidas de seguridad sobre la población en este tipo de suelo.

**Figura 91.** Viviendas en zonas no habitables



Fuente: GONZÁLEZ, B. Viviendas en zonas no habitables, CAU-UNILA, Pedernales-Manabí, 2017

- **Diseño Arquitectónico**

En cuanto al diseño arquitectónico se observó que algunas de las edificaciones presentaban una volumetría irregular, por lo tanto, las plantas de los pavimentos superiores tenían una mayor volumetría que la planta del piso térreo como se verifica en la edificación del Gobierno Municipal del Cantón de Pedernales (Figura 92). Dentro de los principios de estructuración para lograr un diseño de sismo resistencia, la estructura no debe tener un peso exagerado, ya que al ser pesada adquiere una mayor fuerza de inercia causada por los movimientos cortantes del sismo, ocasionando el colapso del edificio. Varias de las edificaciones tuvieron que ser demolidas en Pedernales y otros cantones de Manabí, ya que presentaba un daño significativo en la planta terrea.

**Figura 92.** Forma irregular



Fuente: GONZÁLEZ, B. Forma irregular, CAU-UNILA, Pedernales-Manabí, 2017.

Dentro de las edificaciones que presentaban forma irregular colapsaron en su totalidad, aplastando al pavimento terreo. Estas edificaciones en su gran mayoría eran usadas específicamente para hotel y estaban ubicadas en las orillas del mar.

Como conclusión se puede afirmar que las edificaciones del cantón de Pedernales en la Provincia de Manabí-Ecuador no fueron realizadas por medio de un profesional de arquitectura o de ingeniería, ya que estas construcciones presentaban algunos errores tales como: mezcla inadecuada de materiales, como el caso del concreto armado, pobre detallamiento de sus refuerzos principalmente en las conexiones viga-pilar.

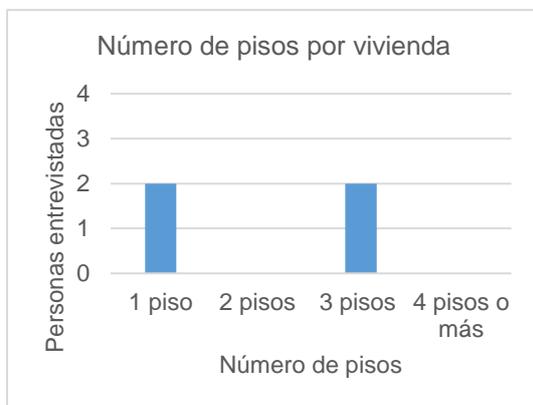
Lo que comúnmente se observó en el recorrido de las viviendas afectadas fue un colapso en sus cerramientos que fueron realizados de mampostería, presentando daños leves, medios o graves y sin ningún tipo de refuerzo o riostras que le den resistencia a los elementos verticales, como es el caso de las paredes. Además de ello la proporción o la volumetría está totalmente errada para un diseño sismo resistente, colocando un peso excesivo en los pisos superiores en relación al pavimento térreo.

## 8.2. FORMULARIOS

El formulario fue empleado para los moradores del cantón de Pedernales y para los obreros encargados de la construcción y reconstrucción de viviendas afectadas. Se estableció un número de preguntas las cuales serán analizadas a continuación.

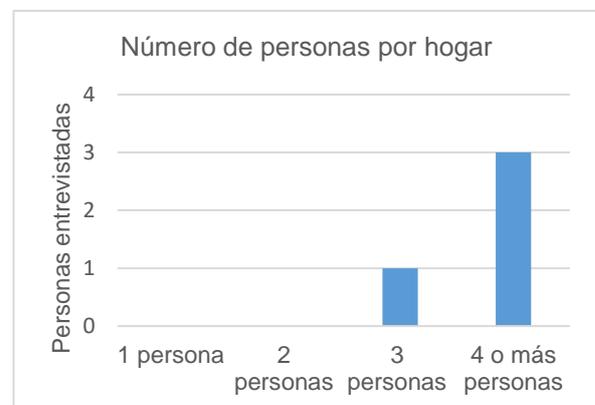
En la actualidad, las viviendas del cantón de Pedernales aún continúan en reconstrucción o en ciertos casos, por factores económicos viven en las mismas condiciones, es decir, solo en el pavimento terreo o lo que quedó del terremoto, conforme fue expuesto en el análisis de las fotografías y son pocas las viviendas que superan los tres pisos. Se identificó que varias de las viviendas en donde se entrevistó eran de uno y tres pisos y vivían más de cuatro personas en un solo hogar (Gráfico 1 y 2). Los entrevistados, mencionaron que el número de miembros de la familia incrementó después del terremoto ya que tuvieron que acoger a sus familiares que se quedaron sin vivienda.

**Gráfico 1.** Número de pisos por vivienda



Fuente: GONZÁLEZ, B. Número de pisos por vivienda. CAU-UNILA, Foz de Iguazú, 2017.

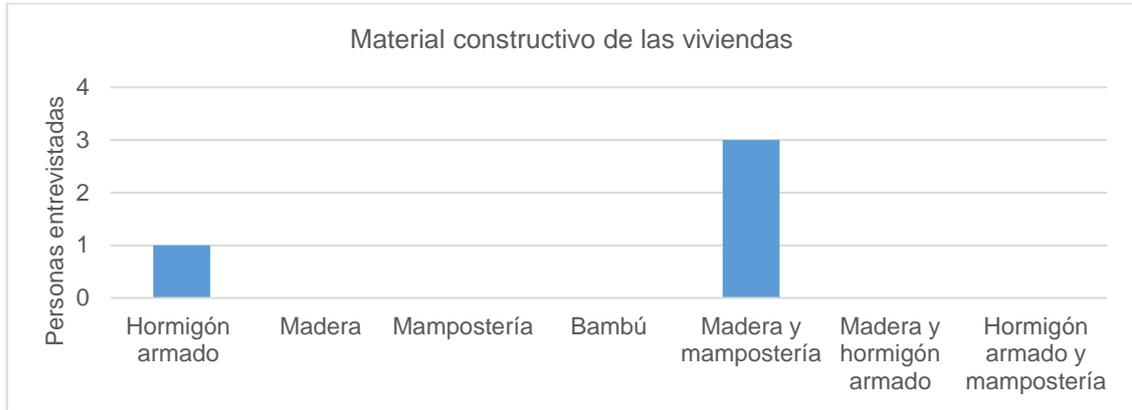
**Gráfico 2.** Número de personas por hogar



Fuente: GONZÁLEZ, B. Número de personas por hogar. CAU-UNILA, Foz de Iguazú, 2017.

Las construcciones de las personas que se entrevistó eran mixtas, mezclando dos tipos de materiales. Como se puede observar en el Gráfico 3 y en las imágenes del levantamiento fotográfico en el ítem 8.1, la mayoría de las construcciones eran realizadas de madera y mampostería, en esta región se pudo apreciar bastante la mampostería de bloque o ladrillo en los cerramientos, que por su poca resistencia no resistió al sismo y generó daños significativos.

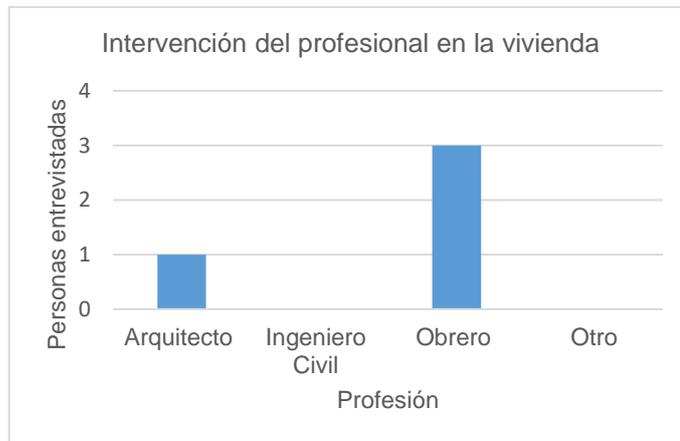
**Gráfico 3.** Materiales de construcción de las viviendas



Fuente: GONZÁLEZ, B. Materiales de construcción de las viviendas, CAU-UNILA, Foz de Iguazú, 2017.

Un gran número de viviendas fueron construidas por partes, de acuerdo a la disponibilidad de recursos y solamente con obreros de construcción o más conocidos en el País como maestros mayores. De todas las entrevistas realizadas solamente una vivienda fue diseñada por un arquitecto y las demás por el obrero, hasta incluso por los propios moradores. Esto en principio se convierte en un problema, ya que la estructura proyectada desde un inicio está calculada para soportar dicha carga. Si se realizan modificaciones, en el caso de aumentar uno, dos o más pisos, la carga que deberá soportar la estructura será aún mayor y en casos de sismo no resistirá.

**Gráfico 4.** Intervención de un profesional en la construcción de la casa

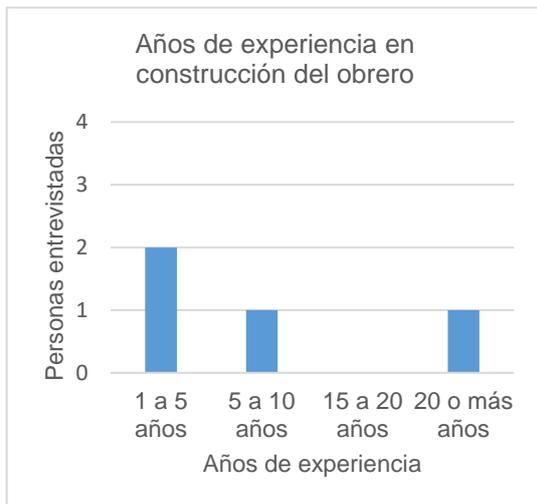


Fuente: GONZÁLEZ, B. Intervención del profesional en la vivienda, CAU-UNILA, Foz de Iguazú, 2017.

Con los obreros que se logró realizar la entrevista, se pudo percibir que la mitad de ellos tenían pocos años de experiencia trabajando en la construcción (Gráfico 5). De las cuatro entrevistas realizadas, tres obreros solo tienen conocimientos o han trabajado con hormigón armado o mampostería en construcciones, y apenas un obrero ha trabajado con madera (Gráfico 6).

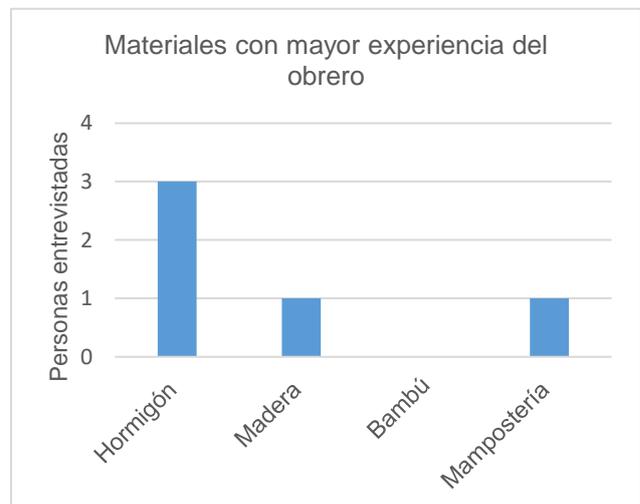
Este es uno de los motivos por los cuales las edificaciones son mal construidas, muchas veces las personas solo contratan a los obreros sin saber que no poseen un conocimiento técnico, en relación a un arquitecto(a) o ingeniero(a) y ahí es cuando los problemas aparecen como el terremoto en Pedernales. De la misma manera que el Arq. Carlos Andino menciona, el obrero solo sabe la parte práctica, pero en relación al diseño o al cálculo de materiales no presentan conocimiento, y debería existir por lo menos una capacitación para que albañiles más comúnmente conocido en Ecuador, coloquen en la práctica.

**Gráfico 5.** Años de experiencia en construcción del obrero



Fuente: GONZÁLEZ, B. Años de experiencia en construcción de obreros, CAU-UNILA, Foz de Iguazú, 2017.

**Gráfico 6.** Materiales con mayor experiencia del obrero



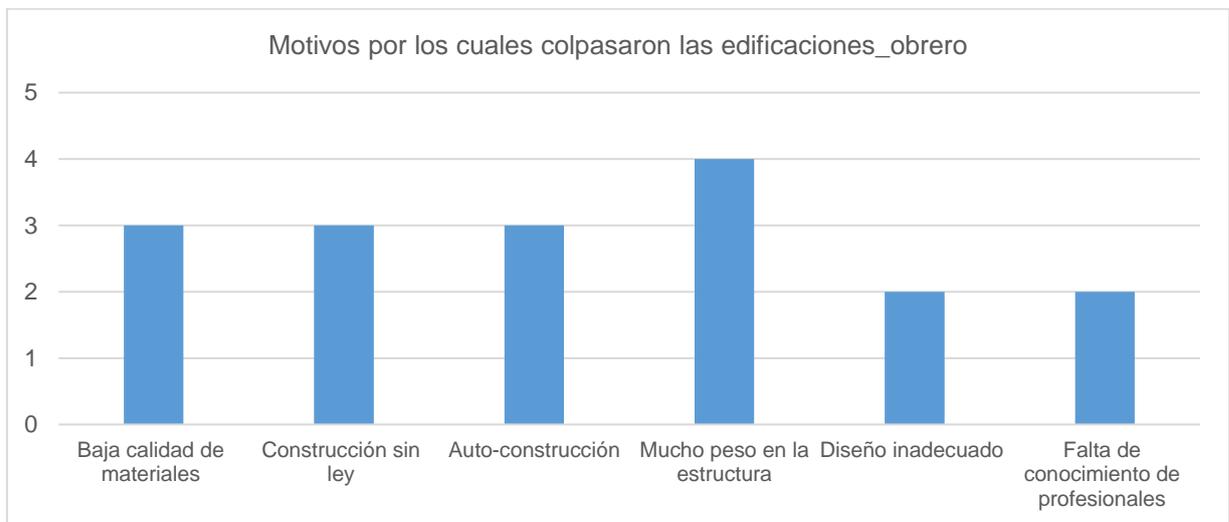
Fuente: GONZÁLEZ, B. Materiales con mayor experiencia del obrero, CAU-UNILA, Foz de Iguazú, 2017.

Como muestran los datos del Gráfico 6, los obreros no poseen conocimiento de otros materiales constructivos, además del hormigón, la mampostería y en pocos casos la madera. En casos de movimientos sísmicos, se han visto viviendas de bambú, madera, y otros materiales constructivos que han presentado grandes comportamientos sísmicos como es presentado en el ítem

7.2.1, que pueden ser utilizados en estas regiones.

Los obreros, consideran que los motivos del colapso de las edificaciones en Pedernales, están relacionadas a la baja calidad de los materiales, de los agregados, se construye con materiales que dañan a la estructura como la arena del mar. La construcción sin ley es otro de las causas, para que una estructura no resista a un sismo, como fue mencionado anteriormente, no se cumplieron los requisitos mínimos de la obra, en los pilares, vigas, etc. La autoconstrucción que fue resaltada por varios obreros, identificaron la falta de asesoría para el uso de técnicas o materiales constructivos en zonas de amenazas sísmicas. Y finalmente aclaran que el peso de la estructura tuvo que ver mucho para que varias de las edificaciones cayeran y mataran a varias personas, ya que la estructura no estuvo preparada para recibir tanto peso (Gráfico 7).

**Gráfico 7.** Motivos por los cuales colapsaron las edificaciones: obrero



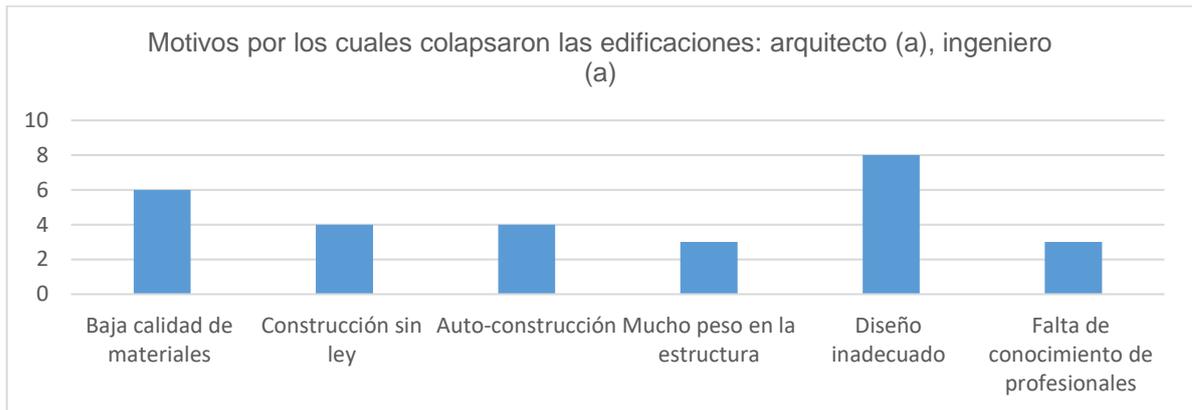
Fuente: GONZÁLEZ, B. Motivos de colapso de la edificación: obrero, CAU-UNILA, Foz de Iguazú, 2017.

### 8.3. CUESTIONARIOS

Los cuestionarios fueron enviados a distintos arquitectos(os) e ingenieros(as), en donde se logró obtener una información por otro tipo de profesional. Dentro de la entrevista tanto el arquitecto(a) como ingeniero(a), destacaron que los motivos más relevantes de la destrucción de las viviendas en el último terremoto del 16 de abril del 2016, fue un diseño inadecuado tanto

arquitectónico, cuanto estructural. La baja calidad de los materiales con la que fueron construidas las viviendas, tuvo un gran impacto en el tiempo y con la presencia de un sismo fuerte, las viviendas mal estructuradas no resistieron (Gráfico 8).

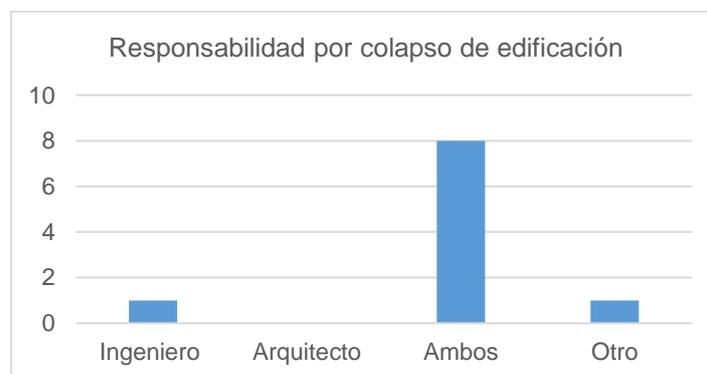
**Gráfico 8.** Motivos por los cuales colapsaron las edificaciones: arquitecto (a), ingeniero (a)



Fuente: GONZÁLEZ, B. Motivos por los cuales colapsaron las edificaciones: arquitecto (a), ingeniero (a), CAU-UNILA, Foz de Iguazú, 2017.

Dentro de las respuestas, se puede rescatar que ambos profesionales afirman, que la responsabilidad tiene tanto el arquitecto(a) como el ingeniero(a), e incluso la municipalidad quien es el que controla las obras y quien las aprueba (Gráfico 9). Además de eso, dentro del cantero de obras en la construcción, no existe un control continuo por parte del arquitecto(a), ingeniero(a) o un fiscalizador.

**Gráfico 9.** Responsabilidad por colapso de edificación

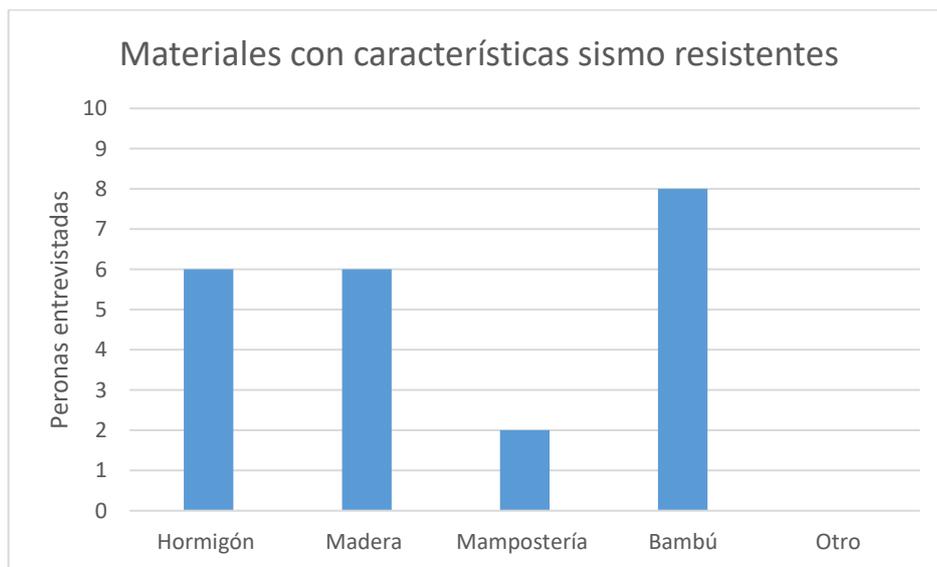


Fuente: GONZÁLEZ, B. Responsabilidad de colapso de edificación CAU-UNILA, Foz de Iguazú, 2017.

Claramente se observa dentro de las imágenes del levantamiento que se realizó en Pedernales sobre las edificaciones destruidas, que no hubo nadie quien haga cumplir las normas de construcción, los estribos estaban colocados a distancias muy separadas, los pilares mal dimensionados, el recubrimiento del concreto demasiado pobre, etc.

Entre los materiales que presentan características sismo resistentes dictada por los arquitectos(as) e ingeniero(as) esta; el bambú, el hormigón y la madera (Gráfico 6). Hay que destacar que las viviendas construidas con madera, bambú o caña, fueron las que más resistieron en el terremoto del 16 de abril, muy contrario a la mampostería de bloque las cuales en su mayoría presentaron daños severos, ya que no estaba colocado ningún tipo de refuerzo.

**Gráfico 10.** Materiales con características sismo-resistentes



Fuente: GONZÁLEZ, B. Materiales con características sismo resistentes, CAU-UNILA, Foz de Iguazú, 2017.

En comparación a las respuestas de los obreros, se puede apreciar que ambos profesionales presencian conocimientos distintos sobre sismos, sobre las causas de daños estructurales, por este motivo es importante que ambas profesiones se mantengan informadas sobre el asunto. Cabe recalcar que los obreros dijeron que el hormigón sería el material más adecuado en sismos, sin embargo, los arquitectos(as) e ingenieros(as) ya valorizan al bambú como un material sismo resistente.

#### 8.4. VISITA DE OBRA SISMO RESISTENTE EN LA CIUDAD DE QUITO

En el mes de febrero del 2017, se realizó la visita técnica a una obra de construcción con parámetros sismo resistentes en la ciudad de Quito-Ecuador, con el fin de observar el sistema constructivo y materiales empleados para cierta edificación. El arquitecto Esteban Padilla, encargado del control de la obra en el área de acabamientos, fue quien realizó el recorrido, explicando las características constructivas del edificio.

**Figura 93.** Portimão, Centro Cooperativo



Fuente: GONZÁLEZ, B. Portimão, Centro Cooperativo, CAU-UNILA, Quito, 2017.

Denominación de la obra: Portimão, Centro Cooperativo

Autores del proyecto: EKS CONSTRUCTORA

Ubicación del proyecto: Quito-Ecuador, Centro (La Carolina), Av. Portugal y Shyris

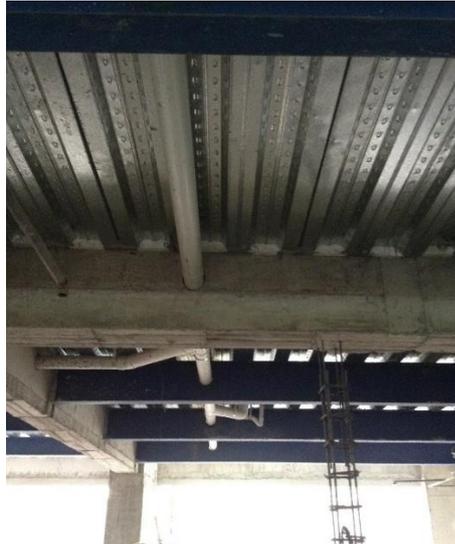
Inicio de la obra: Junio del 2015

Uso: Oficinas

Sistema constructivo y material: Estructura mixta; concreto armado, mampostería, acero y yeso.

El sistema estructural del cual está compuesto el edificio, es por medio de columnas y diafragmas, las vigas principales o perimetrales están conformadas de hormigón armado seguido de las vigas secundarias de metal y las losas con el sistema constructivo Steel Deck de 10 cm, como muestra la Figura 94.

**Figura 94.** Sistema de vigas de concreto armado y acero y losa Steel Deck



Fuente: GONZÁLEZ, B. Sistema de vigas de concreto armado y acero y losa Steel Deck, CAU-UNILA, Quito, 2017.

Para la elaboración de los pilares se colocaron varillas de 12mm y estribos de 10 mm, para dar un mayor refuerzo a la estructura y rigiendo la Norma de Construcción Ecuatoriana. En el caso de las paredes fueron realizadas con mampostería y enchapadas con yeso, por la rapidez y limpieza que propicia el material, además es un material que presenta un buen comportamiento sísmico.

Se colocaron riostras en las paredes a una distancia de 2 metros del nivel del piso para evitar fisuras en las paredes (Figura 95), presentado un funcionamiento muy similar al de una viga, al menos en casos de sismos son muy típicos estos daños en paredes internas y externas. Al colocar la riostra el costo es un poco más elevado, pero al fin de cuentas es un ahorro a largo plazo, ya que se evitará reparos en un futuro. Este sistema constructivo no se encontró en ninguna de las edificaciones visitadas en el cantón de Pedernales, apenas se colocó el bloque o ladrillo en la mampostería y sin ningún tipo de refuerzo, es por ello que en casi todas las viviendas sus paredes presentaban fallas.

**Figura 95.** Pared con riostra



Fuente: GONZÁLEZ, B. Pared con riostra, CAU-UNILA, Quito, 2017.

Los pilares del Portimão presentan medidas de 1.60 m x 0.60 m de acuerdo a las normas de construcción (Figura 96). Después de eso es recubierto por *yipsum* o yeso cartón para dar un mejor acabado y una mayor rapidez de ejecución, además se trabaja de una manera más limpia en relación al enlucido el cual demanda mayor tiempo. En la parte central del edificio es colocado un núcleo rígido que parte del diseño arquitectónico de la empresa, para garantizar una estabilidad al edificio y a la vez colocar los ductos para el traspaso de agua potable y luz eléctrica, junto con los ascensores.

**Figura 96.** Pilares del Portimão



Fuente: GONZÁLEZ, B. Pilares del Portimão, CAU-UNILA, Quito, 2017.

A partir de los datos levantados en la visita realizada al cantón de Pedernales, en la Provincia de Manabí-Ecuador, sobre el levantamiento fotográfico, las entrevistas, los cuestionarios, los formularios y la visita de la obra sismo resistente en la ciudad de Quito, se elabora una tabla “resumen” (Tabla 4), con los principales problemas que se identificaron a partir del terremoto y las respectivas soluciones. Los datos presentados a continuación fueron organizados desde lo macro hacia lo micro con el fin de coleccionar informaciones que ayuden para la ejecución del módulo habitacional sismo resistente unifamiliar.

**Tabla 4.** Problemas y soluciones para edificaciones en Pedernales

<b>PROBLEMAS Y SOLUCIONES PARA LAS EDIFICACIONES EN EL CANTÓN DE PEDERNALES, PROVINCIA DE MANABÍ-ECUADOR</b>	
<b>Problemas</b>	<b>Soluciones</b>
Autoconstrucción de viviendas	Intervención de un profesional de arquitectura o ingeniería, o a su vez capacitar a la población que practica autoconstrucción.
Falta de conocimiento de los obreros	Capacitar al obrero para construcciones sismo resistentes e incentivar a prácticas con diferentes tecnologías o materiales de construcción.
Falta de control en las obras por parte de un arquitecto(a), ingeniero(a) o un fiscalizador	Realizar un control continuo en los canteros de obras, para la verificación de la correcta utilización de los materiales y el cumplimiento de la Norma Ecuatoriana de Construcción
Columnas o pilares mal dimensionados	Construir de acuerdo a la NEC 2015, en donde establece como mínimo medidas de 30cm x 30cm para pilares, sobre todo en áreas sísmicas
Pobre detallamiento de uniones entre pilares-vigas	Colocar mayor refuerzo entre las uniones viga-pilar conforme los cálculos de la NEC 2015

Estribos colocados a distancias muy grandes	Conforme la NEC 2015, los estribos deben tener en sus extremos una separación de 5 cm y luego proporcionalmente, según los cálculos.
Cerramientos sin refuerzos, en especial a la mampostería	Colocar riostras en paredes, funcionando como diafragmas para evitar fisuras y daños graves
Colapso de escaleras	Colocar un mayor refuerzo en escaleras, principalmente porque es un espacio de accesibilidad y de evacuación en casos de sismos
Hierro corroído por causa sal de la arena del mar	Utilización de otros agregados para la elaboración del concreto armado que no afecte a la estructura
Hierro corroído por estar expuesto a la intemperie	Utilizar protección para las varillas expuestas al clima húmedo o proyectar la vivienda sin tener alteraciones en un futuro
Edificación irregular en volumetría y en planta	Proyectar simétricamente la edificación para que el edificio presente un solo comportamiento en casos de sismos
Construcción de acuerdo a ingresos económicos o conforme crece la familia	Proyectar en presente y futuro para evitar una sobre carga en la estructura
Construcción en áreas no habitables, como pendientes, taludes, cerca de los ríos, etc.	Construir en lugares adecuados, en donde no exista ningún tipo de riesgo

Fuente: GONZÁLEZ, B. Problemas y soluciones para edificaciones en Pedernales, CAU-UNILA, Foz de Iguazú, 2017.

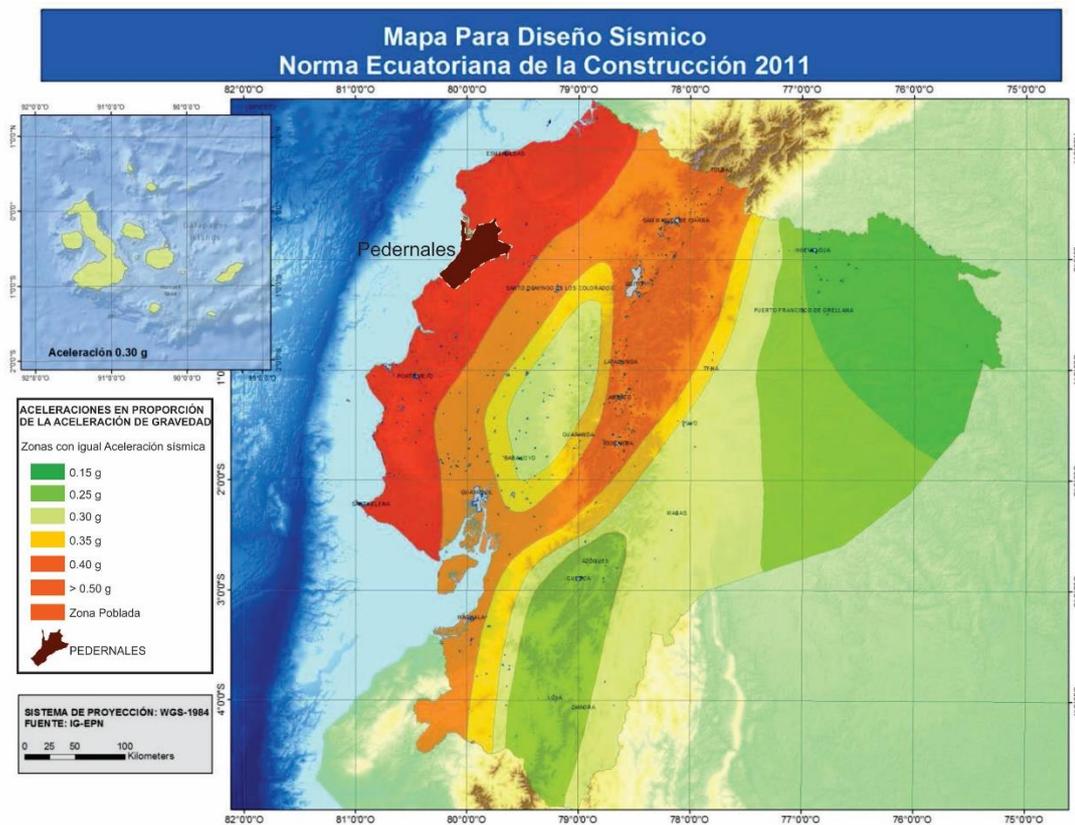
## 9. ESTUDIO DEL ÁREA

### 9.1. JUSTIFICATIVA DE LA ELECCIÓN DEL CANTÓN DE PERDENALES

Para la elección del lugar en el cual será realizado el proyecto arquitectónico de módulo habitacional unifamiliar sismo resistente, se tomó en cuenta los daños más severos identificados por el terremoto del 16 de abril del 2016 en Ecuador. El cantón de Pedernales ubicado en la provincia de Manabí fue una de las zonas menos preparadas para enfrentar un sismo y el cantón que más daños sufrió a nivel nacional.

Conforme el diario El Universo (2016), el 80% de las edificaciones de Pedernales han sido afectadas, es decir, 1.150 edificaciones sufrieron diferentes daños. Como se observa en el mapa de Figura 97 de color rojo, el cantón de Pedernales se encuentra localizado en una zona altamente sísmica, de acuerdo al zoneamiento realizado por la Norma Ecuatoriana de Construcción.

**Figura 97.** Zoneamiento sísmico de Ecuador



Fuente: Norma Ecuatoriana de Construcción, Riesgo sísmico, 2014, edición nuestra

Pedernales es un cantón joven ubicada al norte de la Provincia de Manabí (Ver Figura 80), con una extensión territorial de 1.460,7 kilómetros cuadrados. Su población es de 54.985 de habitantes existiendo 12.053 hogares, y con un promedio de 4.56 habitantes por hogar de acuerdo al INEC 2010.

## 9.2. ÁREAS PERMISIBLES DE CONSTRUCCIÓN EN PEDERNALES

Conforme el diario El Comercio (2016), los tipos de suelos más comunes en la provincia de Manabí son: ML (limos orgánicos de plasticidad baja), MH (limos inorgánicos, mezcla de lino, arcilla y arenas finas) y CH (arcillas expansivas elásticas). Las tres tipologías más el exceso de las lluvias presenciales en la ciudad, ayudan a ampliar las ondas sísmicas y a causar licuefacciones, ablandando el suelo y causando fragilidad en las estructuras de una vivienda.

De acuerdo al Ministerio de Educación el cantón de Pedernales se encuentra en un grado de amenaza de inundación alta. Por tal motivo, es aconsejable no construir sobre laderas, pendientes, taludes, sin realizarse un estudio previo de suelos realizado por un ingeniero.

## 9.3 DIRECTRICES PROYECTUALES

### 9.3.1. Tecnología constructiva y Sistema estructural adaptado a la vivienda

**Tabla 5.** Estructuración de la vivienda sismo resistente

<b>ESTRUCTURACIÓN PARA VIVIENDA UNIFAMILIAR SISMO RESISTENTE</b>		
<b>ESTRUCTURA</b>	<b>TECNOLOGÍA CONSTR.</b>	<b>MATERIAL</b>
FUNDACIONES	Fundación radier	Concreto Armado
VIGAS	<i>Steel Framing</i>	Acero galvanizado
LOSA	<i>Steel Framing</i>	Acero galvanizado, con recubrimiento de madera

CERRAMIENTOS	<i>Steel Framing</i>	Acero galvanizado y recubrimiento, en el caso de paredes exteriores madera OSB y para paredes internas yeso cartón.
COBERTURA O TECHO	<i>Steel Framing</i> : Techo a dos aguas	Acero galvanizado y tejado sandwich

Fuente: GONZÁLEZ, B. Estructuración de la vivienda sismo resistente, CAU-UNILA, Foz de Iguazú, 2017.

Para la elección del sistema estructural, la tecnología constructiva y los materiales empleados para la vivienda unifamiliar sismo resistente, se tomaron algunos aspectos, tales como: el estudio de investigación realizado en la primera etapa sobre diversas tecnologías constructivas, el sistema estructural empleado en áreas sísmicas y la experiencia a partir de la visita realizada en el cantón de Pedernales en la Provincia de Manabí-Ecuador.

A partir de los parámetros mencionados, se optó por la utilización de un sistema estructural leve, rígido y con características de disipación de energía. El sistema y tecnología constructiva escogida fue *Steel Framing*. Como se presencié en el levantamiento fotográfico (ítem 8.1.), el mayor daño causado en las edificaciones en Pedernales fue en sus cerramientos, ya que no presenciaban ningún tipo de soporte que ayude a controlar los movimientos causados por el sismo y *Steel Framing* trabaja como una membrana estabilizando a la estructura.

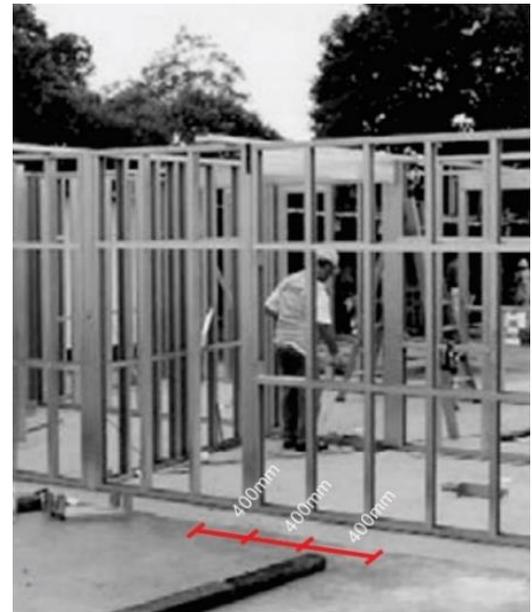
Además de ello *Steel Framing*, trabaja satisfactoriamente ante movimientos cortantes por su rigidez colocados en sus paredes a través de perfiles metálicos utilizando riostras en diagonales, y bloqueadores que distribuyen mejor las cargas. Gracias a la visita técnica de una obra sismo resistente realizada en Quito, se tomará en consideración algunos de los datos colectados, para la utilización en el sistema constructivo de *Steel Framing*, como es en el caso de las riostras que permitirán rigidizar los cerramientos, controlando los movimientos laterales.

Los pilares y vigas son compuestas por perfiles de acero, siempre trabajando en el mismo eje, para que las cargas sean distribuidas igualmente hacia las fundaciones. En el caso de las fundaciones fue seleccionado la fundación radier, la cual permite trabajar sobre una base que distribuirá homogéneamente las cargas producidas en la estructura, además presenta la ventaja de construir en cualquier punto de la fundación ya que distribuye equitativamente las cargas, lo que permitirá hacer ampliaciones de la vivienda si fuera necesario para dicho hogar.

### 9.3.2. Modulación para *Steel Framing*

El sistema constructivo *Steel Framing*, como fue mencionado en el ítem 6.7.6, es realizado a partir de una estructura o perfiles de acero galvanizado en frío para la construcción de paneles, de vigas secundarias, de piso, y la elaboración del techo. Por ser un sistema industrializado es de rápida ejecución y sobre todo económico. De acuerdo al ILAFA (2007), los paneles estructurales están compuestos de una gran cantidad de perfiles galvanizados de un peso ligero, los cuales son separados entre sí por 400mm, dando una gran estabilidad a la vivienda (Figura 98). Este dimensionamiento permite la elaboración de una modulación reduciendo costos y sobre todo mano de obra.

**Figura 98.** Perfiles separados a 400mm uno de otro

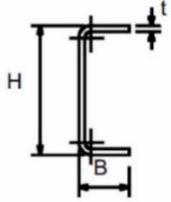
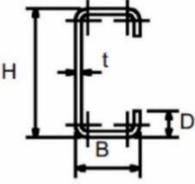
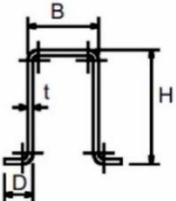
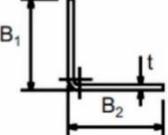
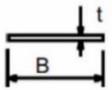


Fuente: ILAFA, 2007, edición nuestra

La empresa ACEDUR, ubicada en Córdoba-Argentina afirma que, las planchas de recubrimiento para *Steel Framing* como madera OSB o yeso cartón llegan al mercado con medidas padronizadas de 2.44 metros por 1.22 metros. De esa manera es aconsejable diseñar con múltiplos de 400 mm conforme la separación de los perfiles, para reducir costos evitando desperdicios. Además, los perfiles galvanizados vienen de fábrica con un largo de 6 metros como medida padronizada, el cual optimizara costo si se trabaja con modulación dentro del diseño.

Los tipos de perfiles que se utilizan en *Steel Framing* varían de peso entre los 100 y 150 gramos. Existen perfiles con secciones en forma de “C”, que son utilizadas para montantes y vigas, y en “U” usadas para soleras en la base y en el tope de paneles. En la Tabla 6, se observan los diferentes perfiles de acero galvanizado de *Steel Framing* y su uso correspondiente. Para las denominaciones de los perfiles son utilizadas la letra (H) para medida de alma, (B) para el ala, (D) la pestaña. Conforme el ILAFA, el alma de los perfiles en forma de C, varían entre 40 y 30mm, mientras que los perfiles en U, tiene un dimensionamiento mayor de alma que al del perfil en C. Las alas varían entre 25 a 50mm de acuerdo a la fábrica.

**Tabla 6.** Tipos de perfiles y sus usos

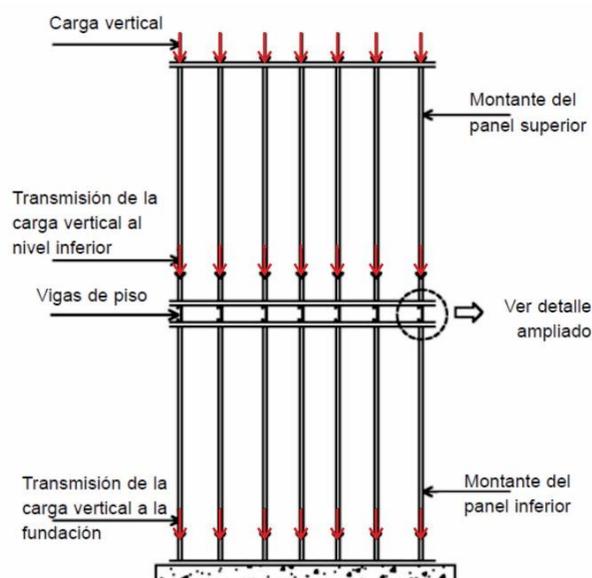
SECCION TRANSVERSAL	DESIGNACIÓN	UTILIZACIÓN
	<p>Perfil U</p> <p><math>H \times B \times t</math></p>	<p>Solera</p> <p>Puntual</p> <p>Bloqueador</p> <p>Cenefa</p> <p>Atiesador</p>
	<p>Perfil C</p> <p><math>H \times B \times D \times t</math></p>	<p>Montante</p> <p>Viga</p> <p>Puntual</p> <p>Atiesador</p> <p>Bloqueador</p> <p>Correa</p> <p>Cabio</p> <p>Larguero</p>
	<p>Perfil Galera</p> <p><math>H \times B \times D \times t</math></p>	<p>Correa</p> <p>Larguero</p> <p>Puntual</p>
	<p>Ángulo conector</p> <p><math>B_1 \times B_2 \times B_3</math></p>	<p>Corredor</p> <p>Atiesador</p> <p>Puntual</p>
	<p>Cinta fleje</p> <p><math>B \times t</math></p>	<p>Riostras</p> <p>Tensores</p> <p>Diagonales</p>

Los métodos de construcción pueden ser realizados en la misma obra, por lo tanto, el perfil será cortado en el mismo lugar para la realización de los paneles, losa, columnas, arriostramiento, etc. El método de panel prefabricado es realizado dentro de la fábrica o lugar donde se realice los pre moldados, para ser instalados directamente en la obra, este sistema es de mayor rapidez en cuanto a la ejecución. Y el método de construcción a base de módulos, los cuales son totalmente prefabricados, incluso con sus acabados internos, como revestimientos, artefactos sanitarios, instalaciones eléctricas, hidráulicas, etc.

### 9.3.2.1. Cargas actuantes para Steel Framing

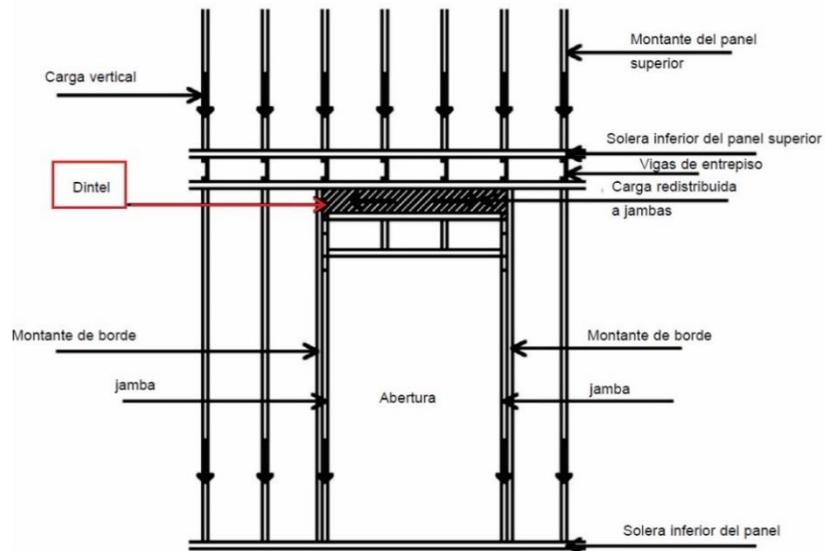
Los paneles estructurales están sometidos a solicitaciones de cargas eólicas, cargas sísmicas, las cargas muertas generadas por la propia estructura y las cargas útiles de las personas, maquinarias, mobiliario, etc., por lo tanto, los paneles deben transmitir estos esfuerzos hacia las fundaciones. Los perfiles en forma de "C", denominados montantes, son los encargados de transferir las cargas verticales por el contacto directo de sus almas, ya que están alineadas entre sí. La Figura 99, representa la distribución de la carga y el alineamiento de sus elementos constructivos (pilar y viga).

**Figura 99.** Transmisión de cargas en el sistema *Steel Framing*



Entre menor cantidad de montantes, es decir, de perfiles en forma de “C”, mayor será la fuerza que deberá soportar cada perfil, por ese motivo es recomendable colocar a un distanciamiento entre perfiles de 400 mm o 600mm. En el caso de las aberturas como puertas o ventanas, es necesario colocar un “Dintel”, con el fin de redistribuir las cargas de los montantes como muestra la Figura 100.

**Figura 100.** Colocación de dintel en aberturas



Fuente: ILAFA, 2007

### 9.3.3. Comparativo Costo/Accesibilidad

De acuerdo con Mascaró (2010), la edificación está compuesta por planos verticales, conformada por las paredes, y planos horizontales formada de vanos o losas. Dichos planos forman parte del proyecto arquitectónico que van a condicionar el desempeño del edificio tanto funcional como económicamente. El autor afirma que el aumento de los planos horizontales generara un mayor costo en los planos verticales.

Conforme la Tabla 7, el mayor costo de la edificación se encuentra en la proyección de los espacios, ocupado un 75 % en el costo de la edificación a diferencia de las instalaciones que apenas ocupa un 25% en el costo total. Este estudio fue realizado por el CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, Paris), para habitaciones en Francia.

**Tabla 7.** Participación de espacios e instalaciones en el costo de la edificación

Costo	Construcción	Manutención
Costo de los espacios	75%	30 a 40%
Costo de instalaciones	25%	60 a 70%
Total	100%	100%

Fuente: MASCARÓ, 2010, edición nuestra

Dentro del costo total de la construcción existen ciertos condicionantes, los cuales el autor menciona y su porcentaje dentro de la participación en la construcción. Al observar los porcentajes y los condicionantes de la Tabla 8, se puede apreciar que el mayor costo en la construcción está en los planos verticales, llegando a un 45% del costo total de la construcción, es decir, tanto paredes internas como externas presentan un mayor costo en relación a los demás condicionantes. Dentro del 45%, las paredes exteriores ocupan un tercio y la mitad, y para paredes divisorias interiores dos tercios o la mitad. Los planos horizontales compuesto de entre pisos llega a un 25%, instalaciones con un 25% y el cantero de obras un 5% del costo total de la edificación.

**Tabla 8.** Participación de condicionantes en el costo total de la construcción

CONDICIONANTE	PORCENTAJE
Planos Horizontales	25%
Planos Verticales	45%
Instalaciones	25%
Cantero de obras	5%

Fuente: GONZÁLEZ, B. Participación de condicionantes en el costo total de la construcción, CAU-UNILA, Foz de Iguazú, 2017.

En conclusión, para reducir costos en una vivienda o que esta sea económica, se debe reducir planos verticales, eliminando paredes o encontrando

otras alternativas económicas, como el uso de otras tecnologías constructivas que a su vez son más leves. Cabe recalcar que la solución para lograr una economía en la edificación no es sólo reduciendo el metraje cuadrado de sus espacios sino también los planos verticales.

De esta forma se justifica la utilización de una tecnología constructiva como *Steel Framing*, para el módulo habitacional unifamiliar sismo resistente, en el cual, al tratarse de autoconstrucción se utilizará esta tecnología de bajo costo en relación al sistema convencional de concreto armado y mampostería.

#### 9.3.4. Concepto Arquitectónico

El punto inicial para la elaboración proyectual del módulo habitacional unifamiliar sismo resistente direccionado a la autoconstrucción, parte a través de un diseño arquitectónico modular con principios de estructuración de sismo resistencia, con la tecnología constructiva y el sistema estructural adaptada para soportar cargas sísmicas, con el objetivo de mantener a salvo la vida de las personas, en caso de la presencia de fenómenos naturales.

**Figura 101.** Parámetros para una vivienda sismo resistente



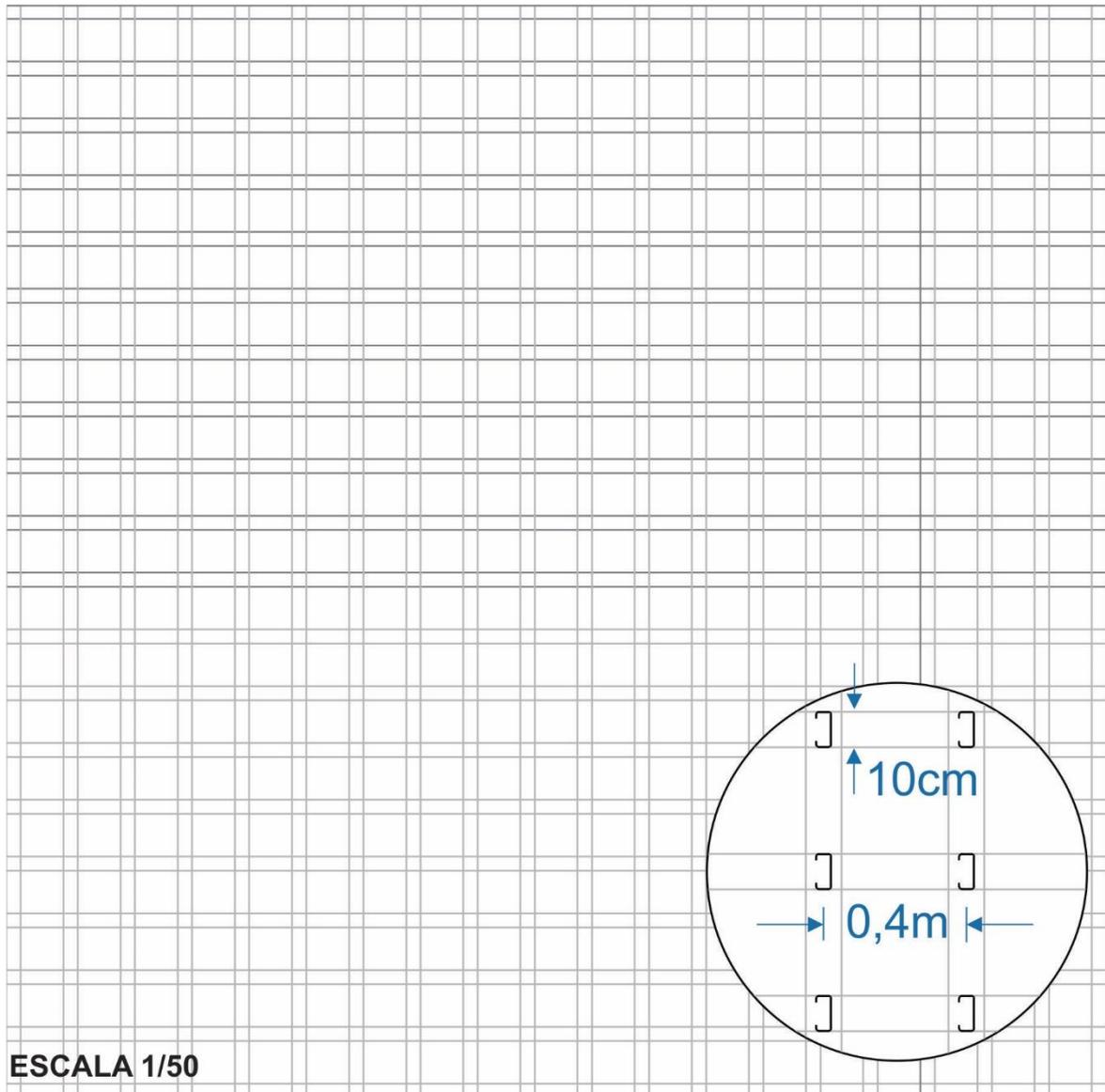
Fuente: GONZÁLEZ, B. Parámetros para una vivienda sismo resistente, CAU-UNILA, Foz de Iguazú, 2017.

El concepto arquitectónico partió a través de la tecnología constructiva adaptada "*Steel Framing*", usando modulación en los espacios. La modulación se basa a partir de las dimensiones mínimas en las que debe estar separados los perfiles desde su eje, que es 0.40 metros, como fue expuesto en el ítem 9.3.2, para garantizar una estabilidad a la estructura.

Considerando este dimensionamiento de separación entre perfiles, se realizó una malla de manera didáctica (Figura 102), que permita al usuario proyectar los espacios encima de esta. Con la modulación propuesta, se busca economizar el costo de la vivienda, evitando desperdicios y a su vez reduciendo el

costo de mano de obra, ya que el perfil de fábrica posee 6 metros de largura y es múltiplo de 0.40 metros.

**Figura 102.** Malla para modulación de espacios en *Steel Framing*



Fuente: GONZÁLEZ, B. Malla para modulación de espacios en *Steel Framing*, CAU-UNILA, Foz de Iguazú, 2017.

El perfil de acero galvanizado utilizado tiene una dimensión de alma de 10 centímetros, a partir de ahí aumenta el tamaño de la pared conforme los materiales utilizados para la protección o cerramientos de la vivienda.

#### 9.4. PROGRAMA DE NECESIDADES

El programa de necesidades propuesto para la vivienda unifamiliar sismo resistente está dividida en tres áreas: Social, Privada y Servicio. Se proyectará la vivienda conforme al número de personas por hogar del cantón de Pedernales, provincia de Manabí, que fueron levantadas por el INEC 2010, es decir, por 5 personas. Se tomó como referencia este número de moradores porque el proyecto apenas es un prototipo de módulo habitacional con parámetros de sismo resistencia que pueden ser adoptadas por los usuarios.

**Tabla 9.** Programa de necesidades

VIVIENDA UNIFAMILIAR SISMO RESISTENTE		
Área	Ambiente	Mobiliario
Área social	Sala	sofa, televisor
	Comedor	mesa, sillas
	Cocina	cocina, refrigerador, lavabo
	Isla de cocina	banquetas, mezmón
	Baño de visitas	vaso sanitario, lavabo, ducha
Área privada	Suite	cama, velador, ropero
	Baño suite	vaso sanitario, lavabo, ducha
	2 dormitorios	camas, velador, ropero
	1 baño	vaso sanitario, lavabo, ducha
Área de servicio	Lavanderia	lavadora, lavadero
	Garaje	
<b>Número de personas en la vivienda: 5 personas</b>		

Fuente: GONZÁLEZ, B. Programa de necesidades, CAU-UNILA, Foz de Iguazú, 2017.

De acuerdo a las entrevistas realizadas, se observó que los moradores del cantón de Pedernales y el resto de la ciudad, construía conforme crecía la familia y según sus ingresos. Esto a lo largo del tiempo generaban grandes

problemas, ocasionando un peso excesivo en la estructura y poniendo en riesgo la vida de las personas cuando se presentaba un terremoto. Para ello fue tomado en consideración la ampliación de la vivienda, con la posibilidad de aumentar un cuarto a más, teniendo en cuenta la redistribución de los espacios, principalmente en el pavimento térreo, para no generar un peso excesivo a la estructura con la carga permanente y viva, por ende se nombraron dos tipos de planta: “Presente”, en donde es proyectada la vivienda para 5 personas, y “Futuro” con la ampliación realizada.

Hay que destacar que el proyecto arquitectónico realizado, es apenas una de muchas posibilidades existentes que puede haber para proyectar una vivienda sismo resistente, a partir de un diseño modular.

## 9.5. PROCESO PROYECTUAL

Para la configuración del espacio dentro de la malla de modulación se tomó en cuenta los principios de sismo resistencia ya estudiados, para garantizar un diseño sísmico adecuado.

**Figura 103.** Principios de Sismo resistencia

Poco peso	Simetría y regularidad en planta y elevación	Planta poco alargada	Resistencia y rigidez	Propiedades compatibles con el terreno	Congruencia entre construcción y diseño
-----------	--	----------------------	-----------------------	--	---

Fuente: GONZÁLEZ, B. Principios de Sismo resistencia, CAU-UNILA, Foz de Iguazú, 2017.

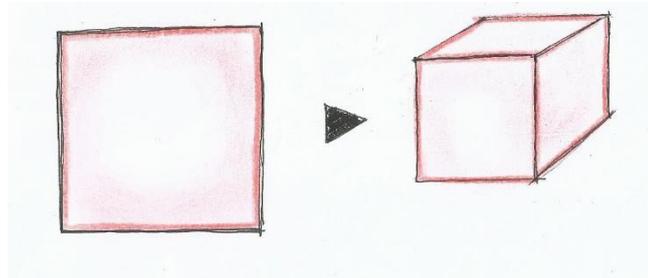
Tanto la simetría y regularidad en planta y elevación, como la plantas poco alargada, son factores que influyen en el diseño arquitectónico, los cuales serán desarrollados a continuación, con la proyección de tres prototipos de viviendas unifamiliares, partiendo de una forma más regular hasta otras alternativas.

- Primer Prototipo de Vivienda

El diseño de la primera vivienda surge de una forma totalmente regular y pura tanto en planta como en volumetría, como es el caso de un cuadrado, manteniendo la misma longitud en todos sus lados, esto proporcionará un

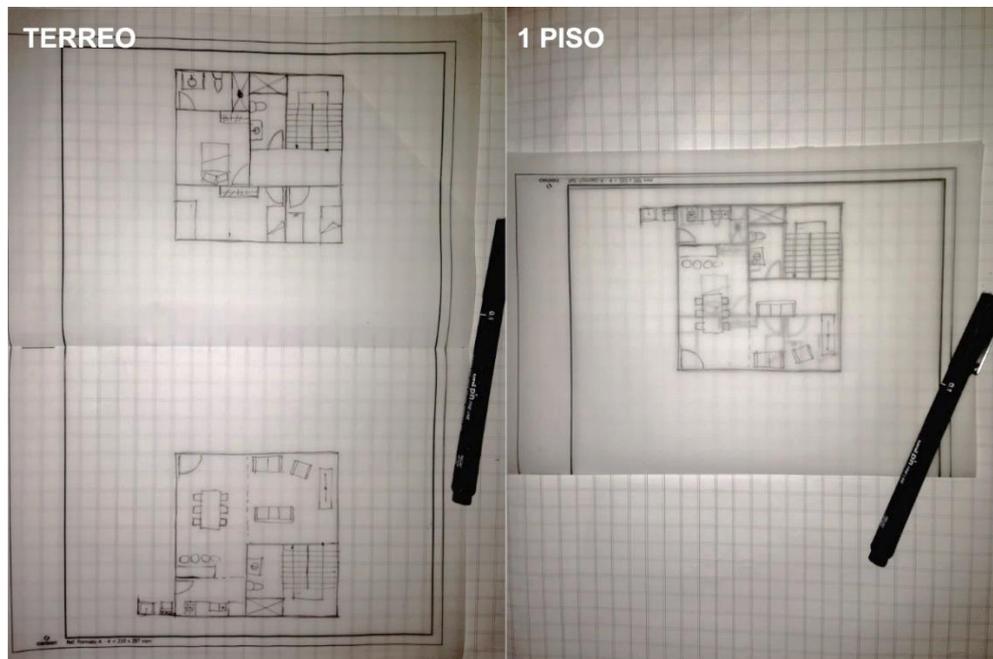
comportamiento adecuado en todas sus esquinas (Figura 104).

**Figura 104.** Forma regular de la planta y elevación



Fuente: GONZÁLEZ, B. Forma regular de la planta y elevación, CAU-UNILA, Foz de Iguazú, 2017.

**Figura 105.** Primer Prototipo de Vivienda



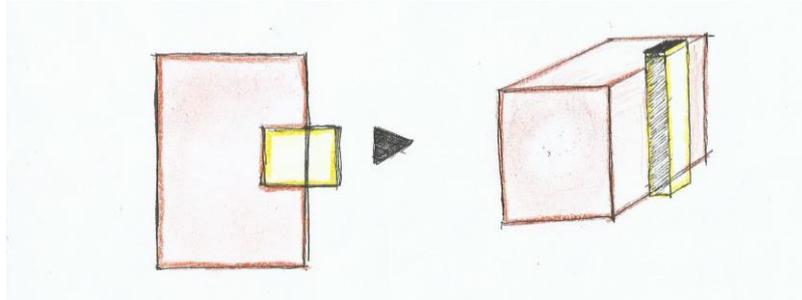
Fuente: GONZÁLEZ, B. Primer prototipo de vivienda, CAU-UNILA, Foz de Iguazú, 2017.

Partiendo de la forma totalmente regular se prosigue a la distribución de los espacios internos, como se observa en la Figura 105, en el cual se utilizó una malla impresa y papel vegetal para poder diseñar encima de la modulación de la malla. Para la proyección del primer piso, se dobló el papel vegetal, y se diseñó sobre el pavimento terreo para garantizar las mismas dimensiones y la simetría en planta y elevación.

- Segundo Prototipo de Vivienda

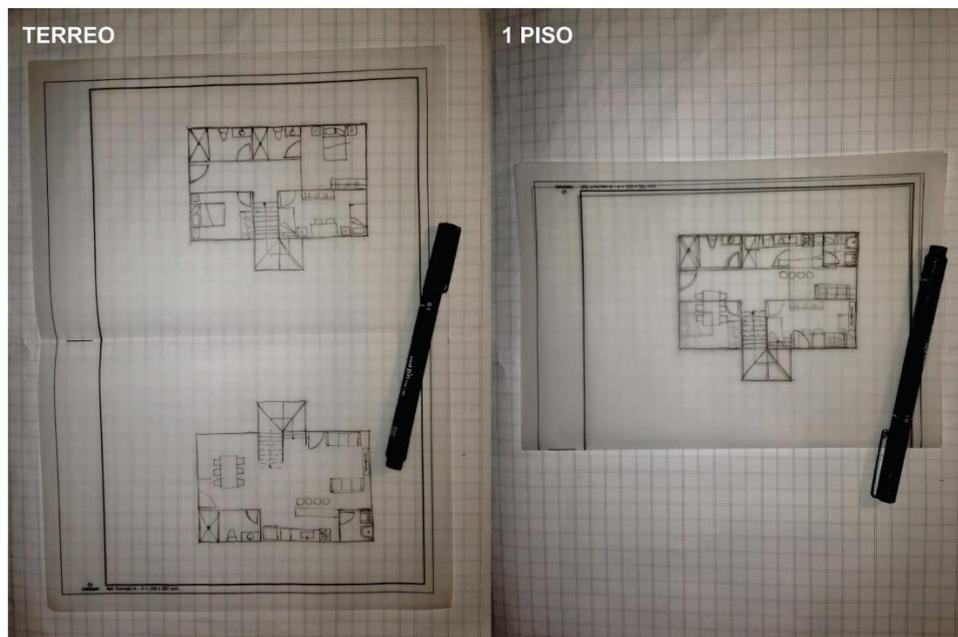
En la segunda alternativa de vivienda unifamiliar, se mantiene la misma forma regular, sin embargo, se hace un juego volumétrico a partir de la adición del prisma como muestra la Figura 106.

**Figura 106.** Adición de prisma a la forma regular



Fuente: GONZÁLEZ, B. Adición de prisma a la forma regular, CAU-UNILA, Foz de Iguazú, 2017.

**Figura 107.** Segundo Prototipo de Vivienda



Fuente: GONZÁLEZ, B. Segundo Prototipo de Vivienda, CAU-UNILA, Foz de Iguazú, 2017.

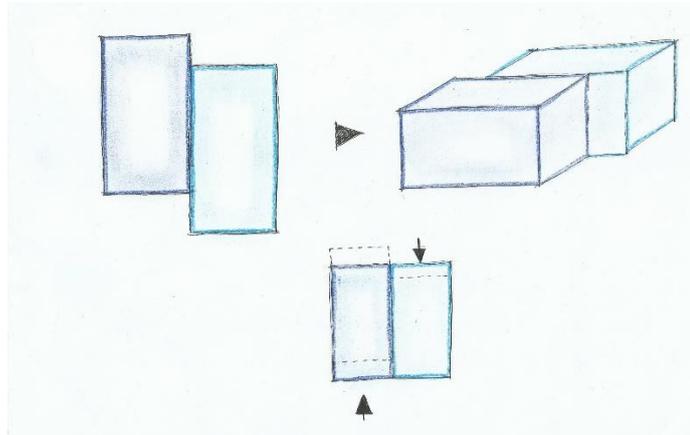
De la misma manera que el primer prototipo, se inició a partir de una forma regular, realizando un juego volumétrico de adición, el cual cumplirá la función de circulación del piso terreo al primer piso. Hay que tomar en cuenta que las escaleras están ubicadas cerca de las puertas de acceso a la vivienda, que darán

mayor facilidad y rapidez al salir o evacuar en caso de presenciarse un sismo.

- Tercer Prototipo de Vivienda

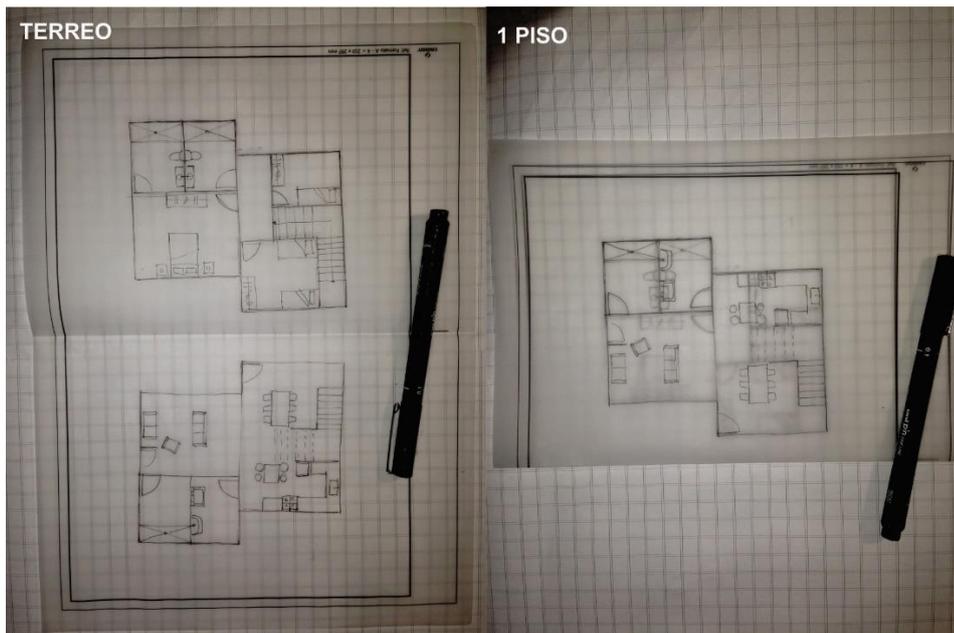
En la tercera alternativa de vivienda, se realizó una desconstrucción del cubo en dos partes iguales, sin alterar su forma simétrica, como se aprecia en la Figura 108, cada mitad hace un movimiento inverso.

**Figura 108.** Desconstrucción del cubo



**Fuente:** GONZÁLEZ, B. Desconstrucción del cubo, CAU-UNILA, Foz de Iguazú, 2017.

**Figura 109.** Tercer Prototipo de Vivienda



**Fuente:** GONZÁLEZ, B. Tercer Prototipo de Vivienda, CAU-UNILA, Foz de Iguazú, 2017.

# 9.6 PLANTAS ARQUITECTÓNICAS

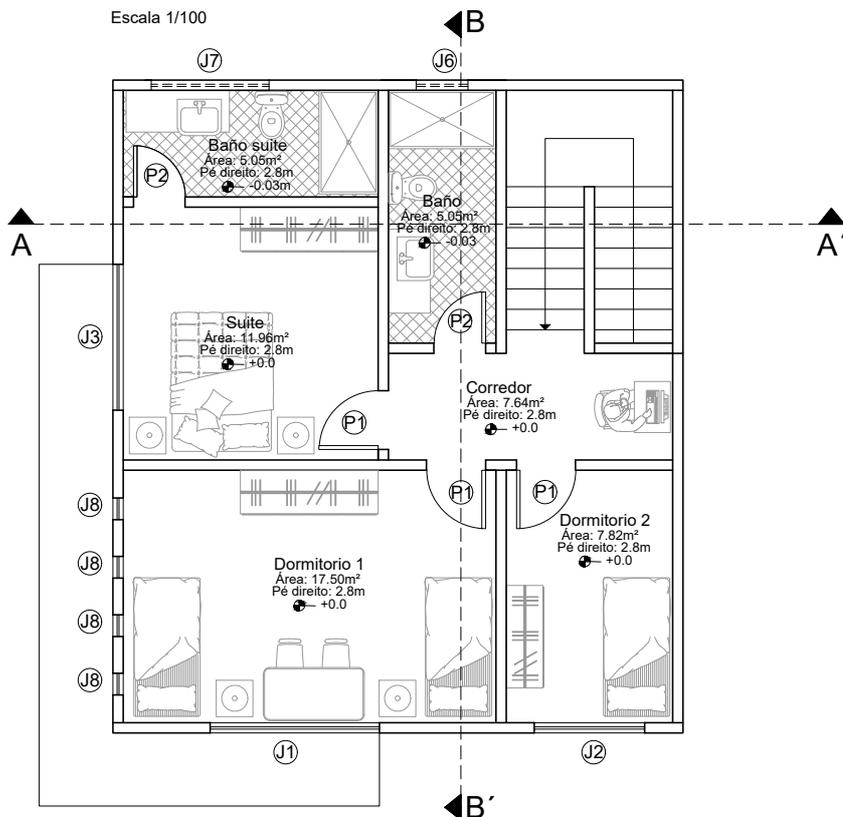
## PRIMER PROTOTIPO / PLANTA EN PRESENTE

1 ANDAR

Escala 1/100

VENTANAS	
Ref.	Dimensiones
J1	1.40m x 2.40m 1.00m
J2	1.40m x 1.60m 1.00m
J3	1.40m x 2.00m 1.00m
J4	1.40m x 1.20m 1.80m
J5	1.40m x 1.60m 1.00m
J6	0.60m x 0.80m 1.80m
J7	0.60m x 1.60m 1.80m
J8	2.00m x 0.40m 0.40m
PUERTAS	
P1	2.00m x 0.80m
P2	2.00m x 0.70m
Obs. todas las paredes tienen un grosor de 0.14m	

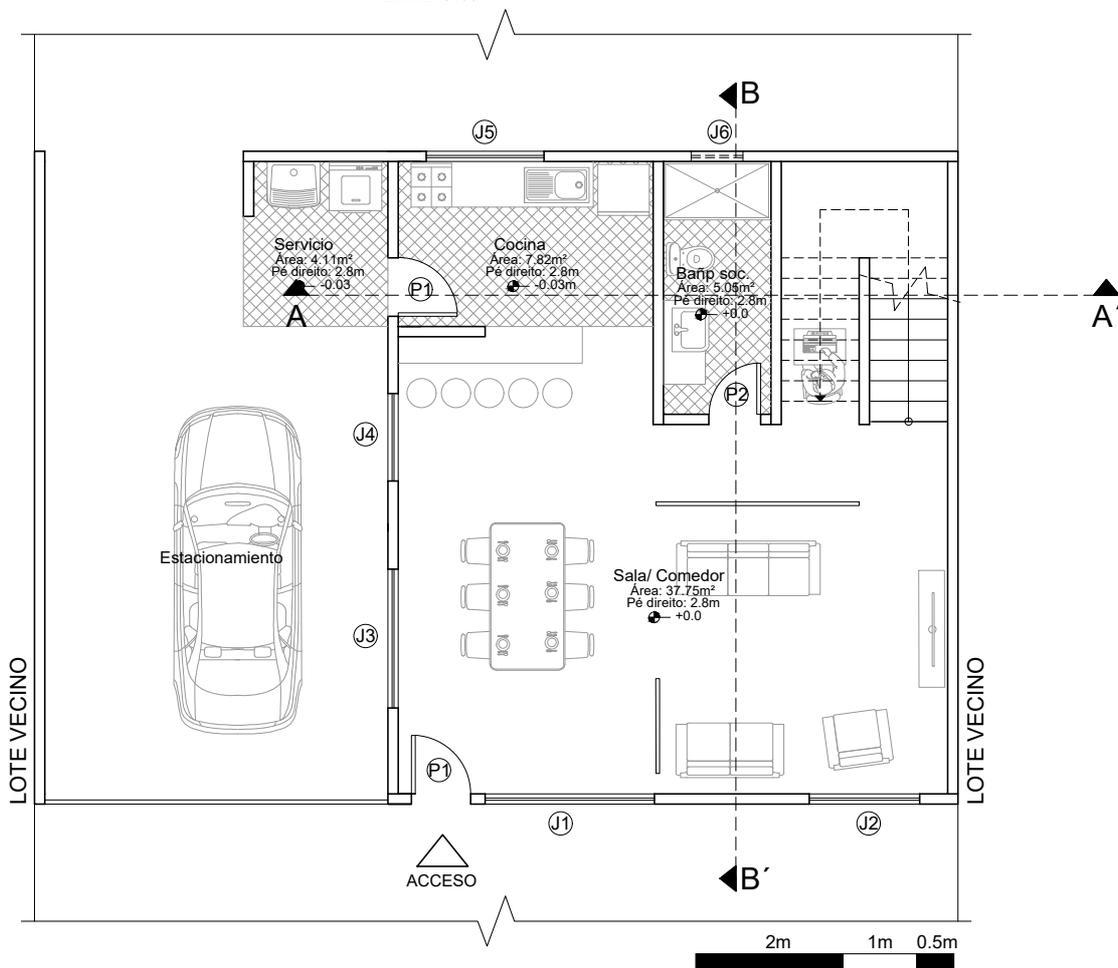
Área total: 143m<sup>2</sup>

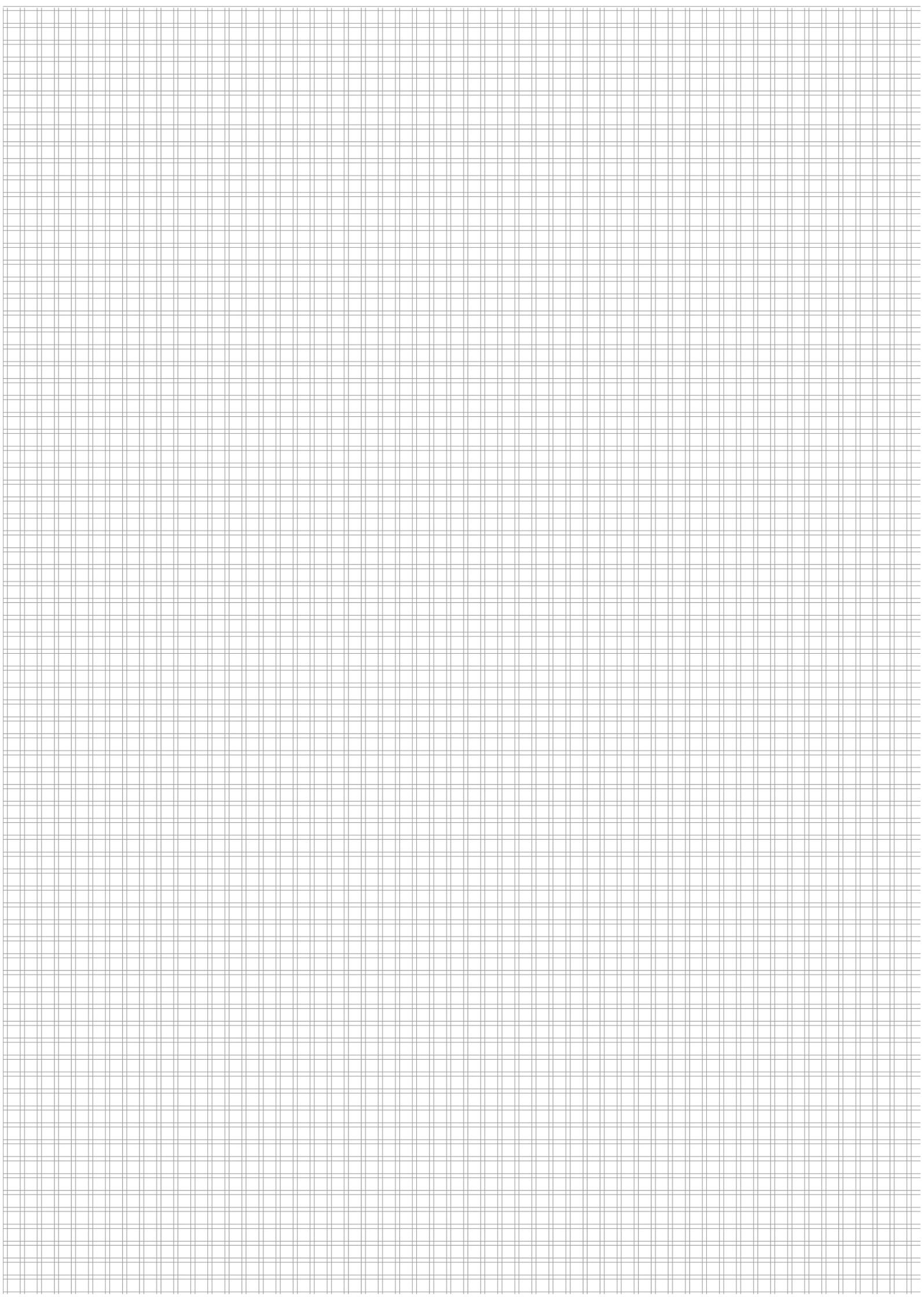


## PRIMER PROTOTIPO / PLANTA EN PRESENTE

TÉRREO

Escala 1/100





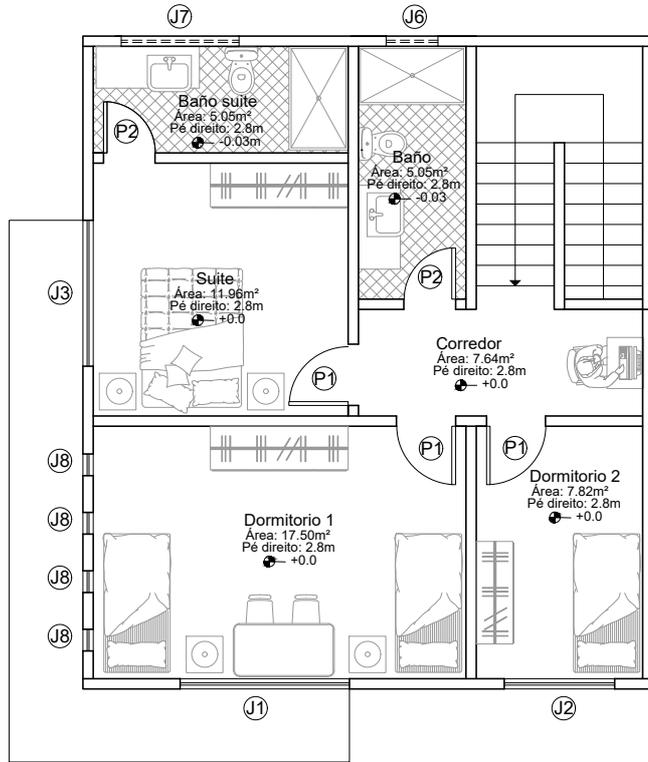
PRIMER PROTOTIPO / PLANTA EN FUTURO

1 ANDAR

Escala 1/100

VENTANAS	
Ref.	Dimensiones
J1	1.40m x 2.40m 1.00m
J2	1.40m x 1.60m 1.00m
J3	1.40m x 2.00m 1.00m
J4	1.40m x 1.20m 1.80m
J5	1.40m x 1.60m 1.00m
J6	0.60m x 0.80m 1.80m
J7	0.60m x 1.60m 1.80m
J8	2.00m x 0.40m 0.40m
PUERTAS	
P1	2.00m x 0.80m
P2	2.00m x 0.70m
Obs. todas las paredes tienen un grosor de 0.14m	

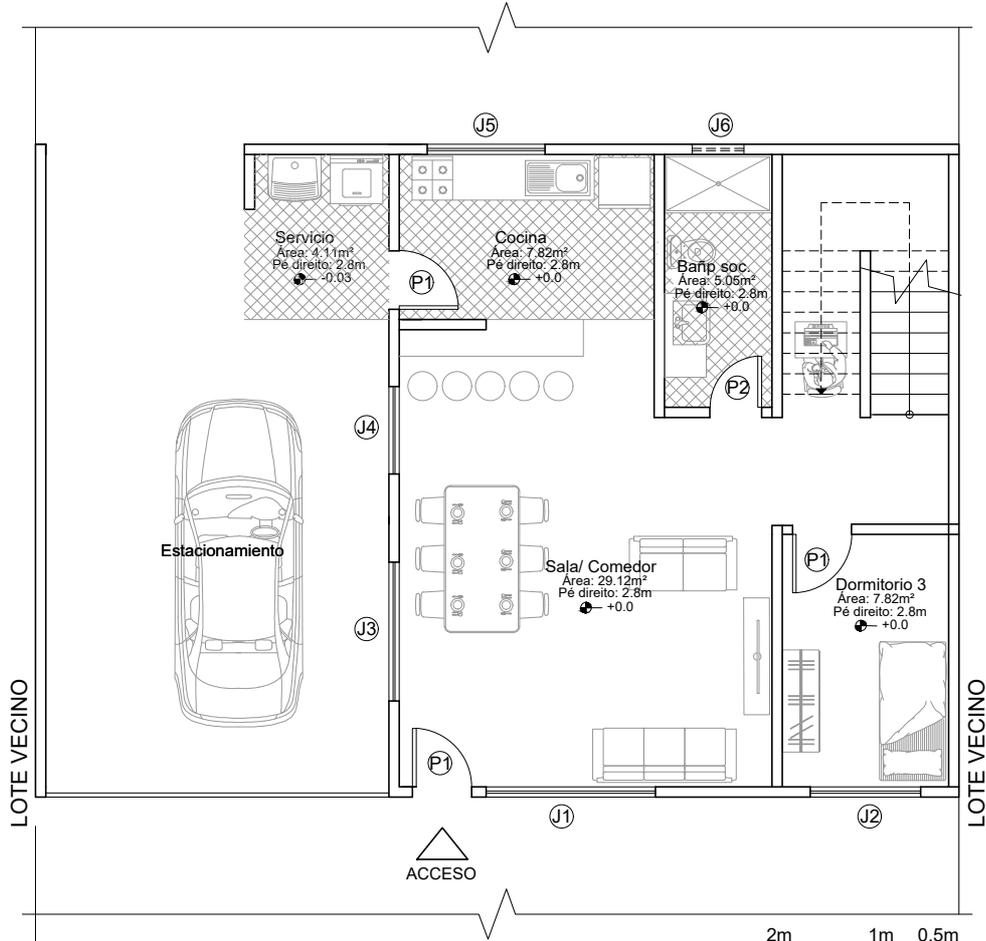
Área total: 143m<sup>2</sup>



PRIMER PROTOTIPO / PLANTA EN FUTURO

TÉRREO

Escala 1/100

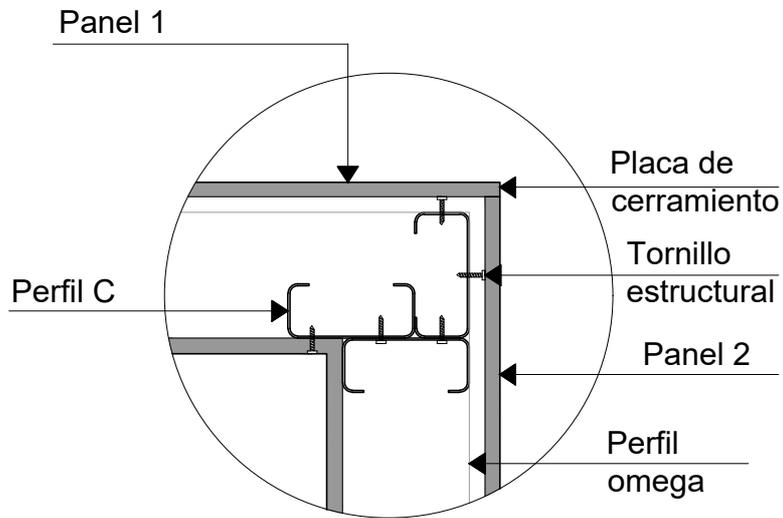




# DETALLES EN PLANTA DE UNIONES DE LOS MONTANTES

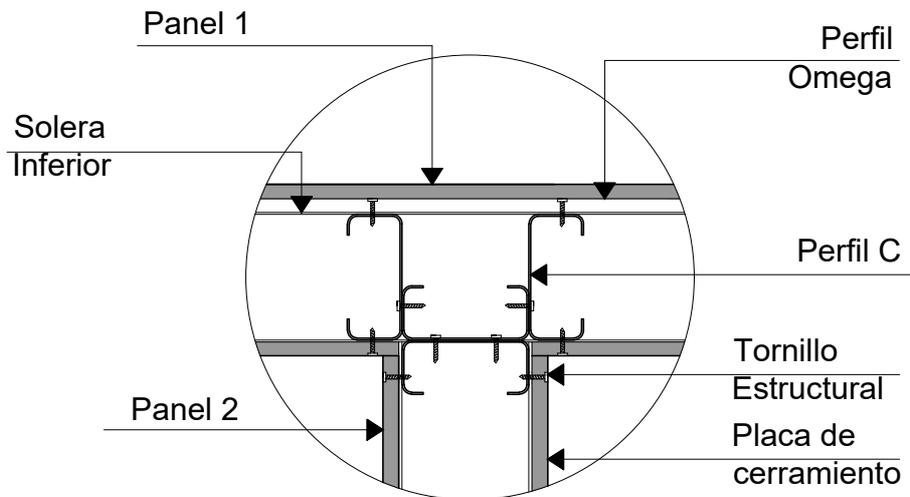
## DETALLE 1

UNION DE DOS MONTANTES - PARED EN "L"



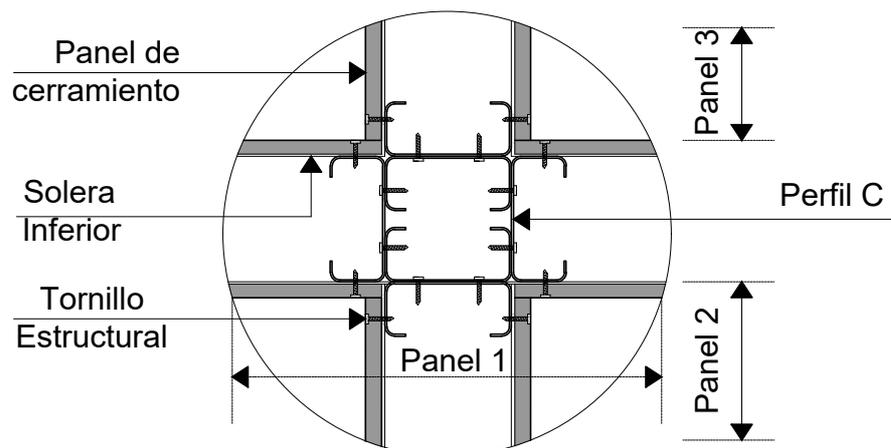
## DETALLE 2

UNION DE DOS MONTANTES - PARED EN "T"

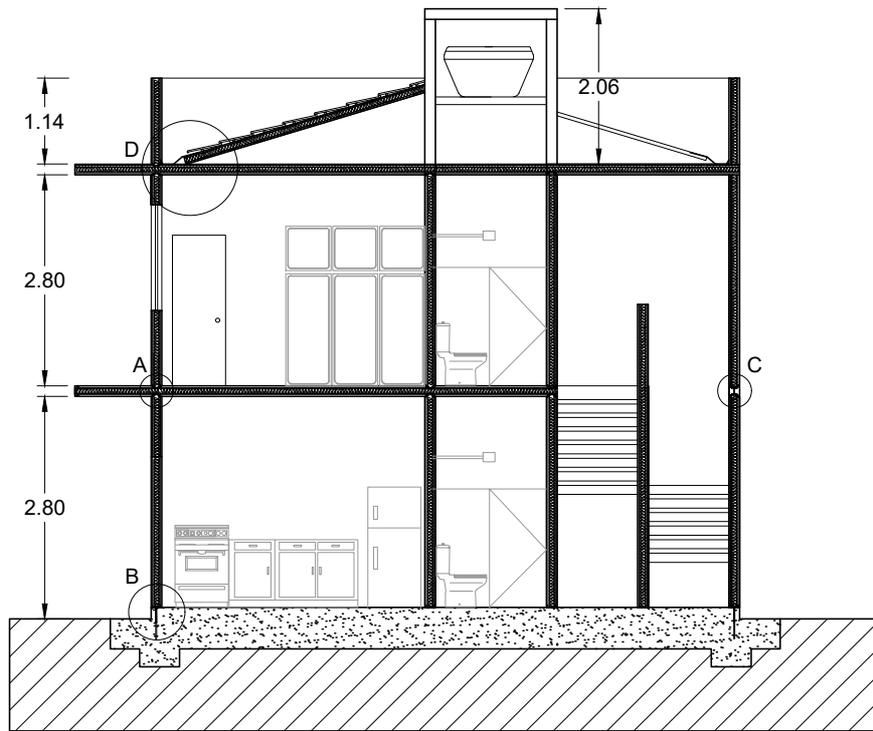


## DETALLE 3

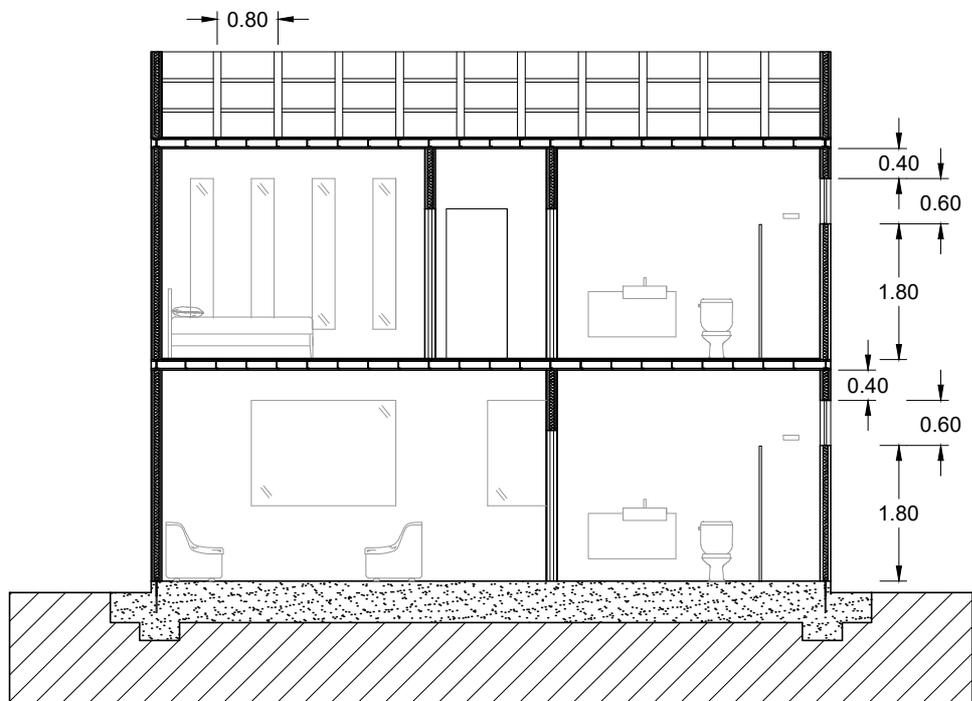
UNION DE TRES MONTANTES - PARED EN "CRUZ"



## CORTE DEL PRIMER PROTOTIPO



CORTE A-A'  
Escala 1/100

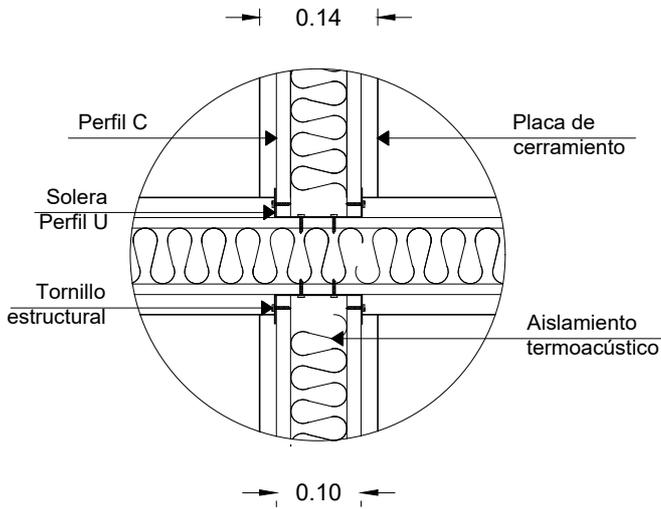


CORTE B-B'  
Escala 1/100

Obs: se realizó el corte apenas de un prototipo para observar sus detalles constructivos de la tecnología constructiva.

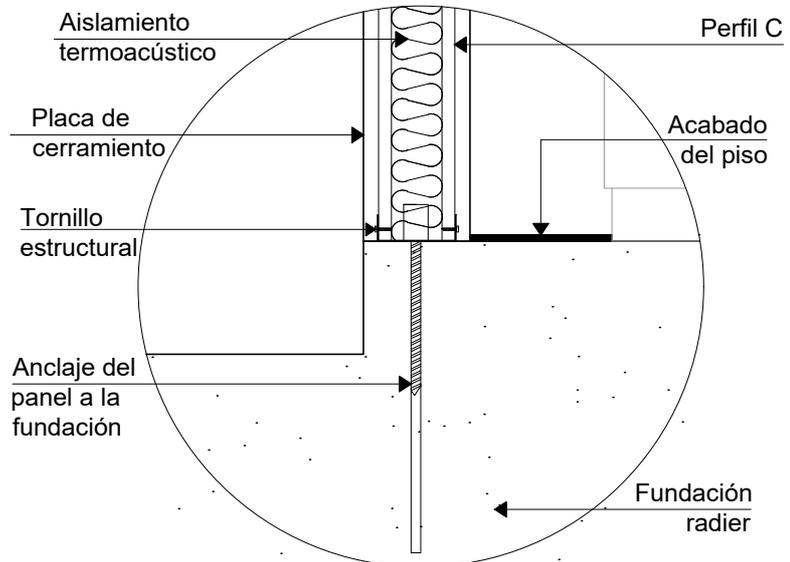
# DETALLES EN CORTE

## DETALLE A VIGA EN VOLADIZO



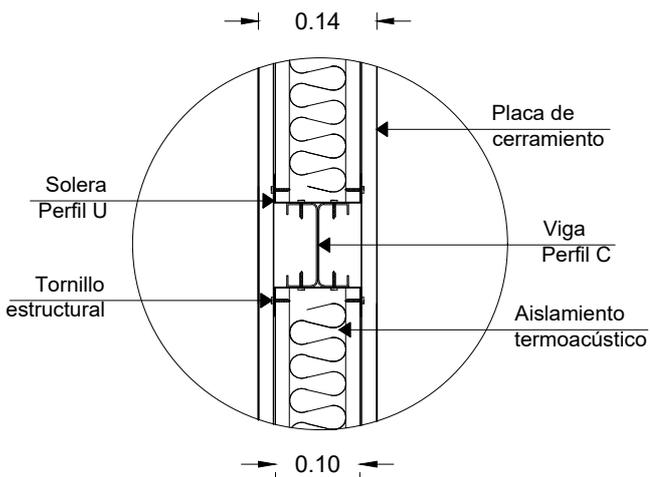
Escala 1/10

## DETALLE B ANCLAJE EN LA FUNDACIÓN



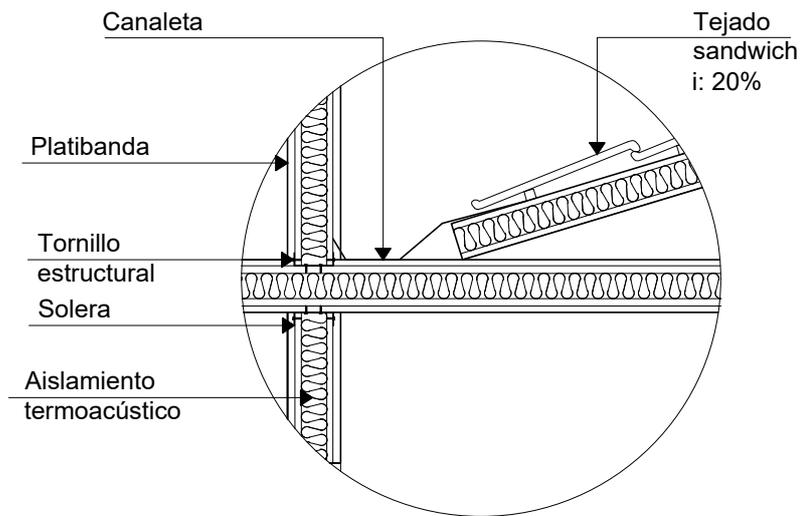
Escala 1/10

## DETALLE C ENTREPISO



Escala 1/10

## DETALLE D COBERTURA

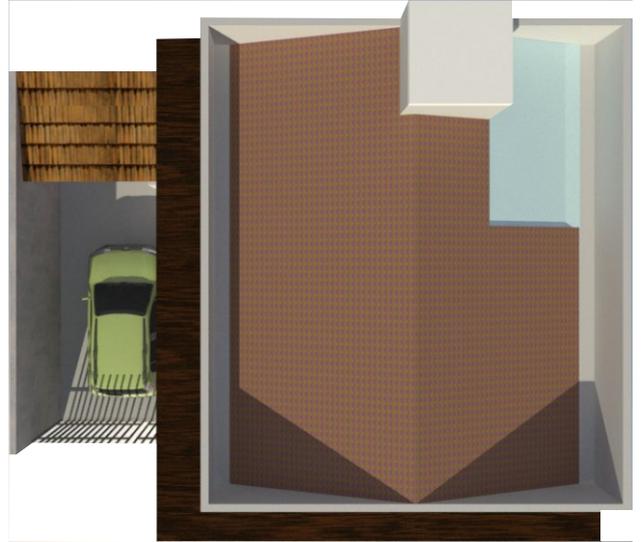


Escala 1/10

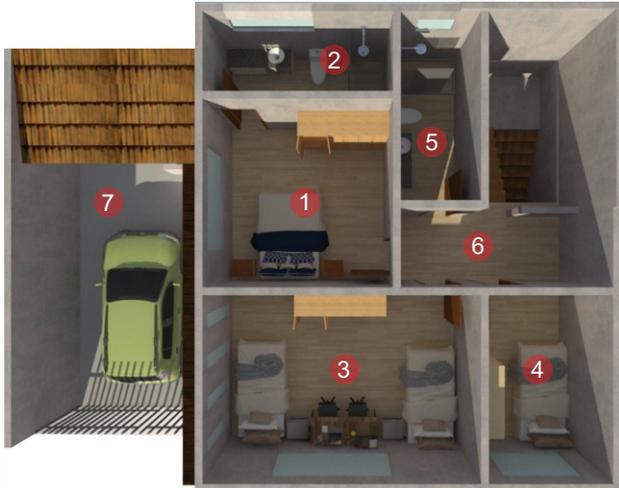
# Perspectivas y Fachadas - Prototipo 1



Cobertura



1 piso



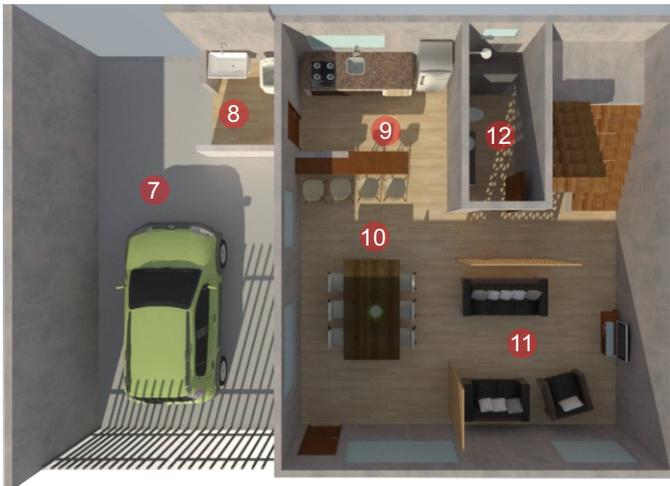
Fachada frontal



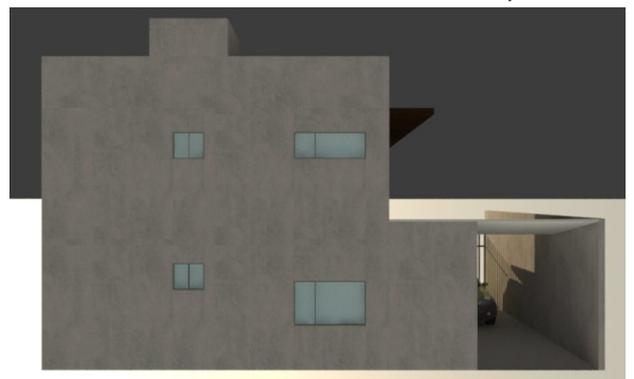
Fachada lateral izquierda



Térreo



Fachada posterior



- |                    |                    |                |
|--------------------|--------------------|----------------|
| 1 Suite            | 2 Baño Suite       | 3 Dorm. duplo  |
| 4 Dorm. individual | 5 Baño             | 6 Corredor     |
| 7 Parqueadero      | 8 Área de servicio | 9 Cocina       |
| 10 Comedor         | 11 Sala            | 12 Baño social |

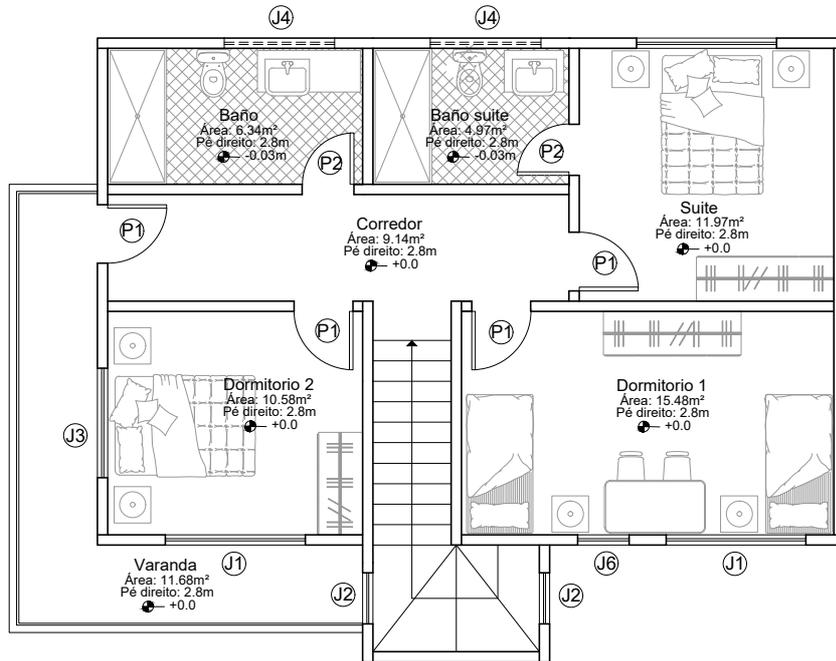
SEGUNDO PROTOTIPO / PLANTA EN PRESENTE

1 ANDAR

Escala 1/100

VENTANAS	
Ref.	Dimensiones
J1	1.40m x 2.00m 1.00m
J2	1.40m x 0.80m 1.00m
J3	1.40m x 1.60m 1.00m
J4	0.60m x 1.60m 1.80m
J5	1.40m x 1.60m 1.00m
J6	2.00m x 0.80m 0.40m
PUERTAS	
P1	2.00m x 0.80m
P2	2.00m x 0.70m
Obs. todas las paredes tienen un grosor de 0.14m	

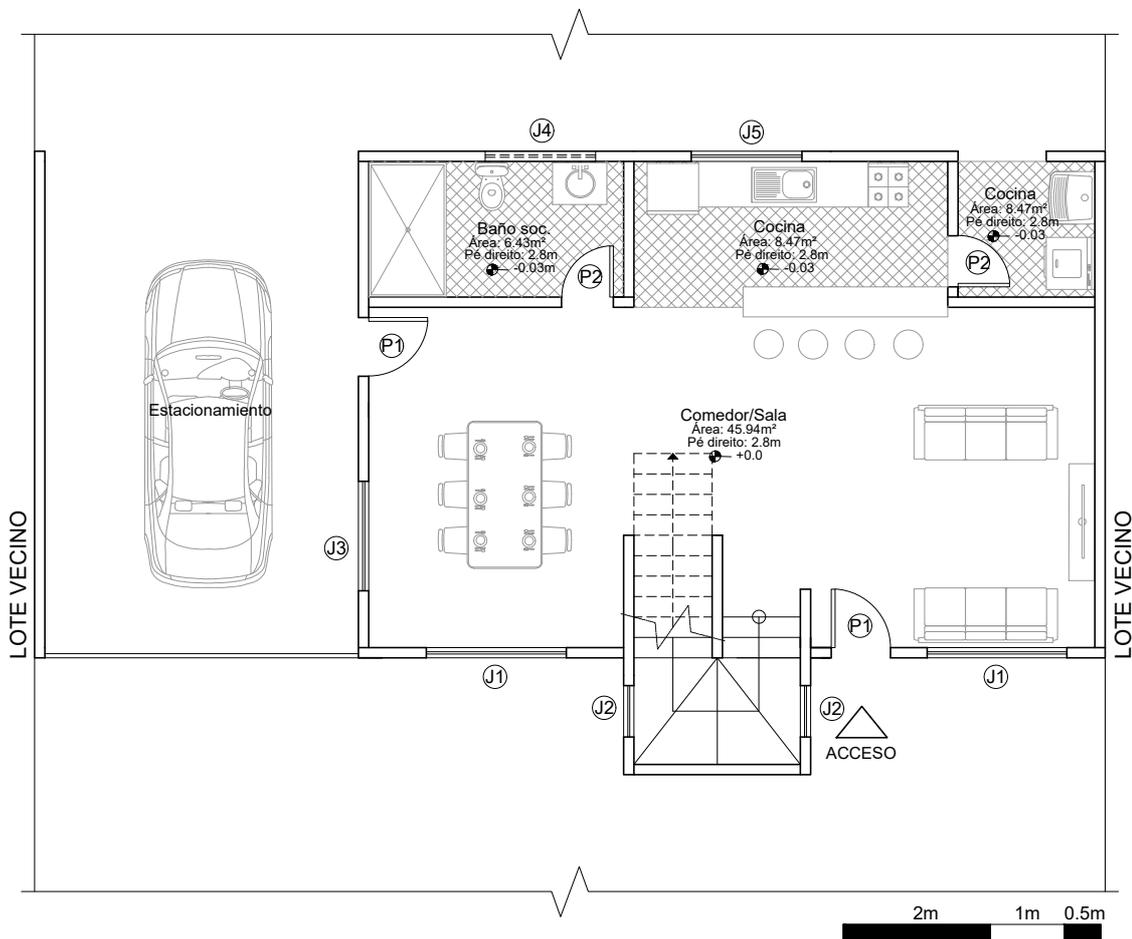
Área total: 148.8m<sup>2</sup>

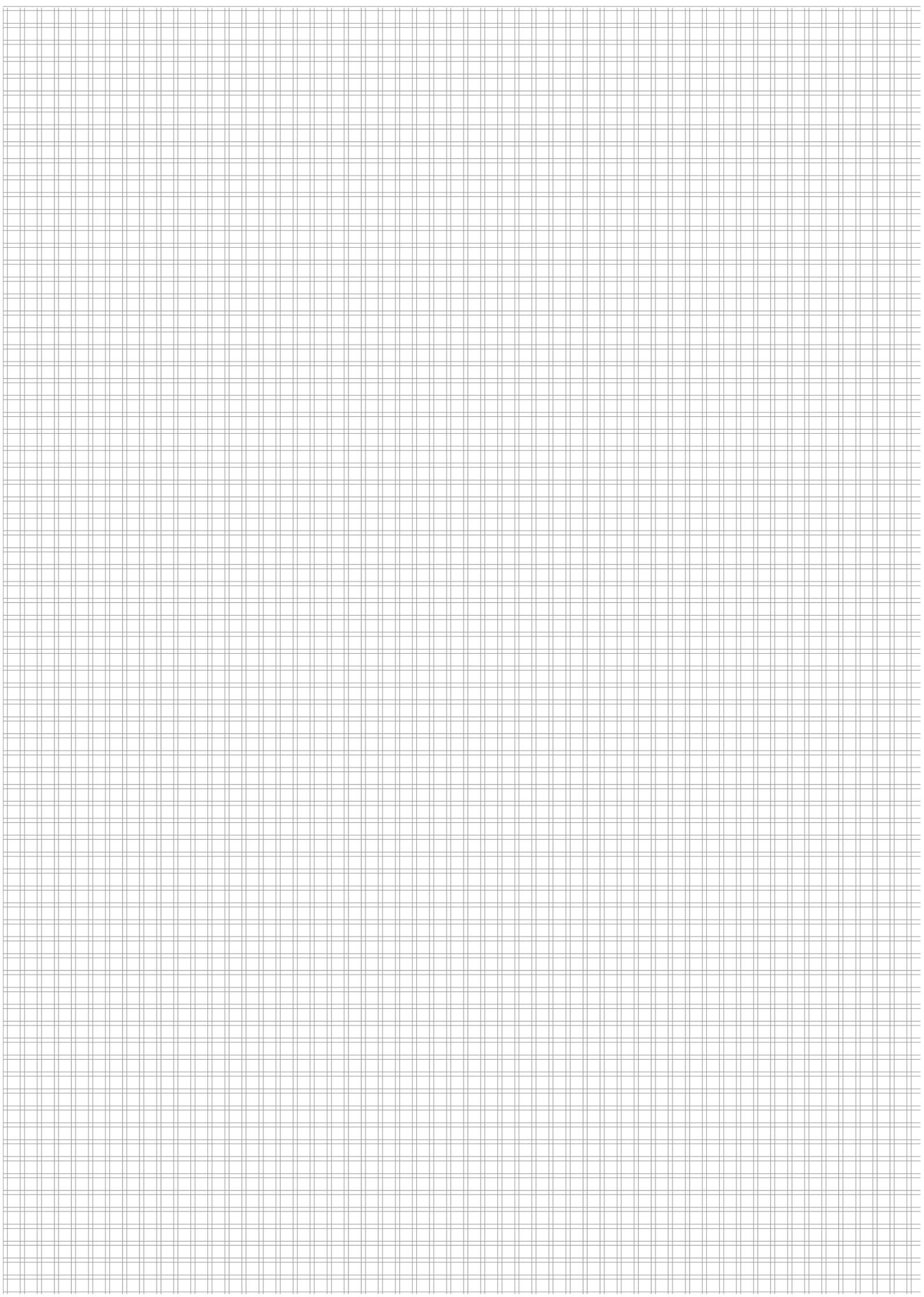


SEGUNDO PROTOTIPO / PLANTA EN PRESENTE

TÉRREO

Escala 1/100





SEGUNDO PROTOTIPO / PLANTA EN FUTURO

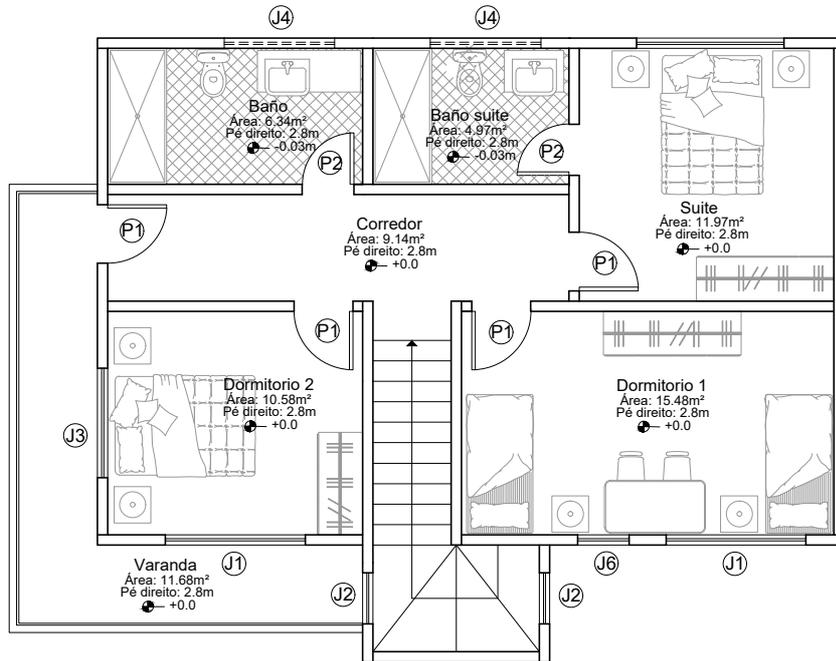
1 ANDAR

Escala 1/100

VENTANAS	
Ref.	Dimensiones
J1	1.40m x 2.00m 1.00m
J2	1.40m x 0.80m 1.00m
J3	1.40m x 1.60m 1.00m
J4	0.60m x 1.60m 1.80m
J5	1.40m x 1.60m 1.00m
J6	2.00m x 0.80m 0.40m
PUERTAS	
P1	2.00m x 0.80m
P2	2.00m x 0.70m

Obs. todas las paredes tienen un grosor de 0.14m

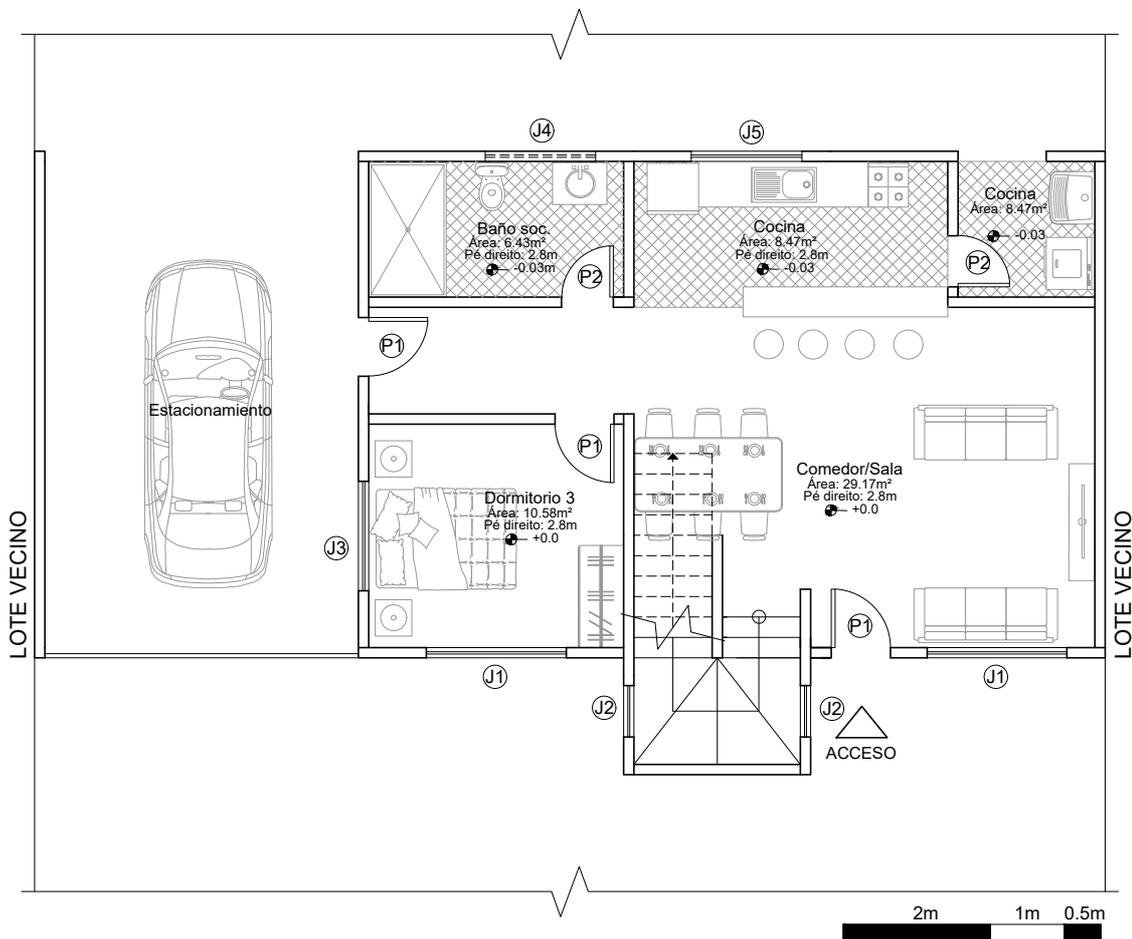
Área total: 148.8m<sup>2</sup>



SEGUNDO PROTOTIPO / PLANTA EN FUTURO

TÉRREO

Escala 1/100



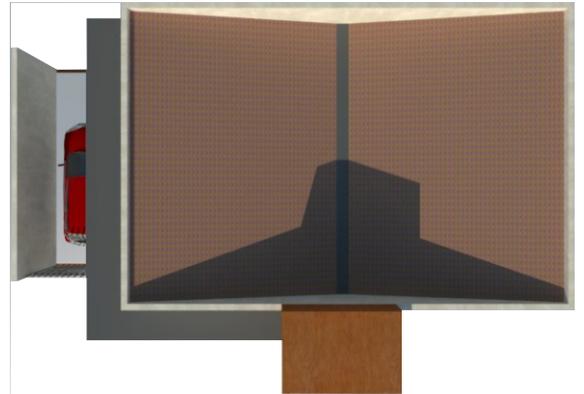
2m 1m 0.5m



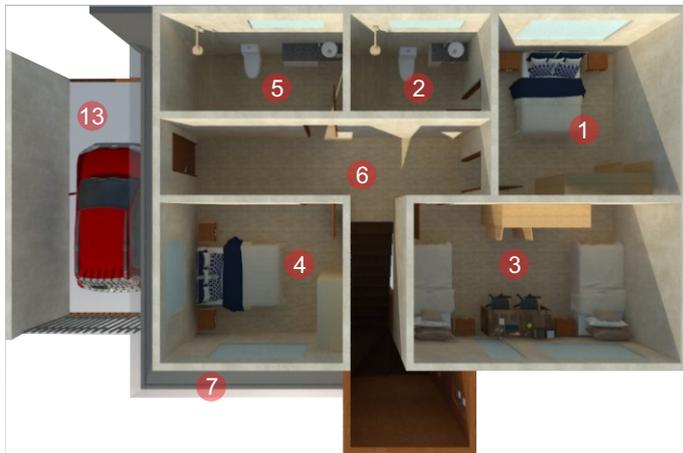
## Perspectivas y Fachadas - Prototipo 2



Cobertura



1 piso



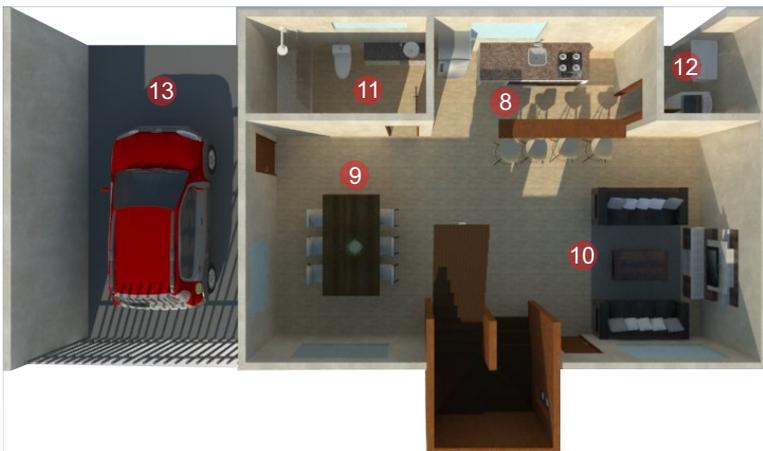
Fachada Frontal



Fachada lateral izquierda



Térreo



Fachada posterior



- |                |                |                     |
|----------------|----------------|---------------------|
| 1 Suite        | 2 Baño Suite   | 3 Dorm. duplo       |
| 4 Dorm. casal  | 5 Baño         | 6 Corredor          |
| 7 Varanda      | 8 Cocina       | 9 Comedor           |
| 10 Sala        | 11 Baño social | 12 Área de servicio |
| 13 Parqueadero |                |                     |

TERCER PROTOTIPO / PLANTA EN PRESENTE

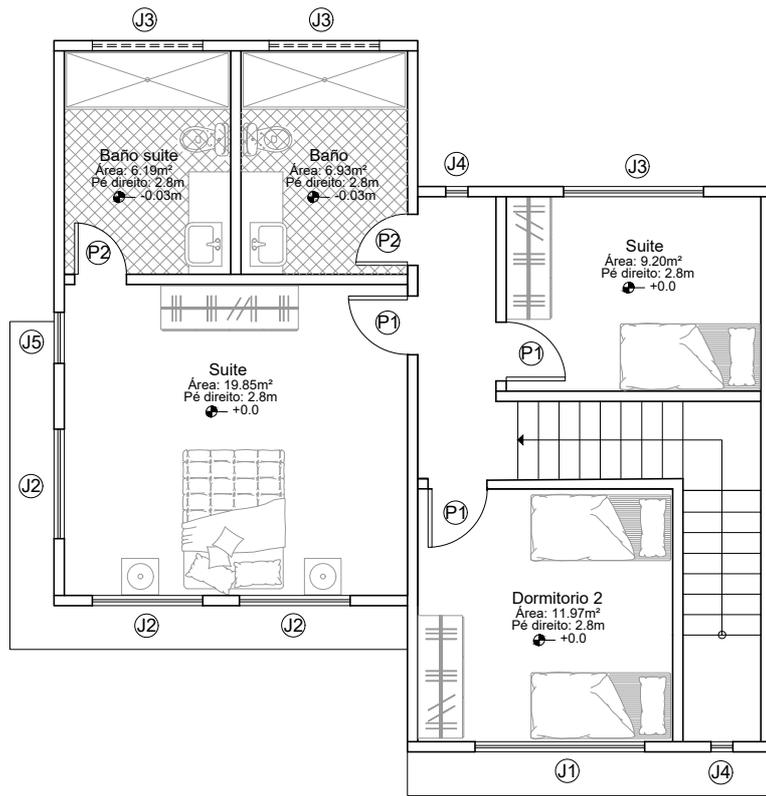
1 ANDAR

Escala 1/100

VENTANAS	
Ref.	Dimensiones
J1	1.40m x 2.40m 1.00m
J2	1.40m x 1.60m 1.00m
J3	0.60m x 1.60m 1.80m
J4	0.40m x 2.00m 0.40m
J4	1.40m x 0.80m 1.00m
PUERTAS	
P1	2.00m x 0.80m
P2	2.00m x 0.70m

Obs. todas las paredes tienen un grosor de 0.14m

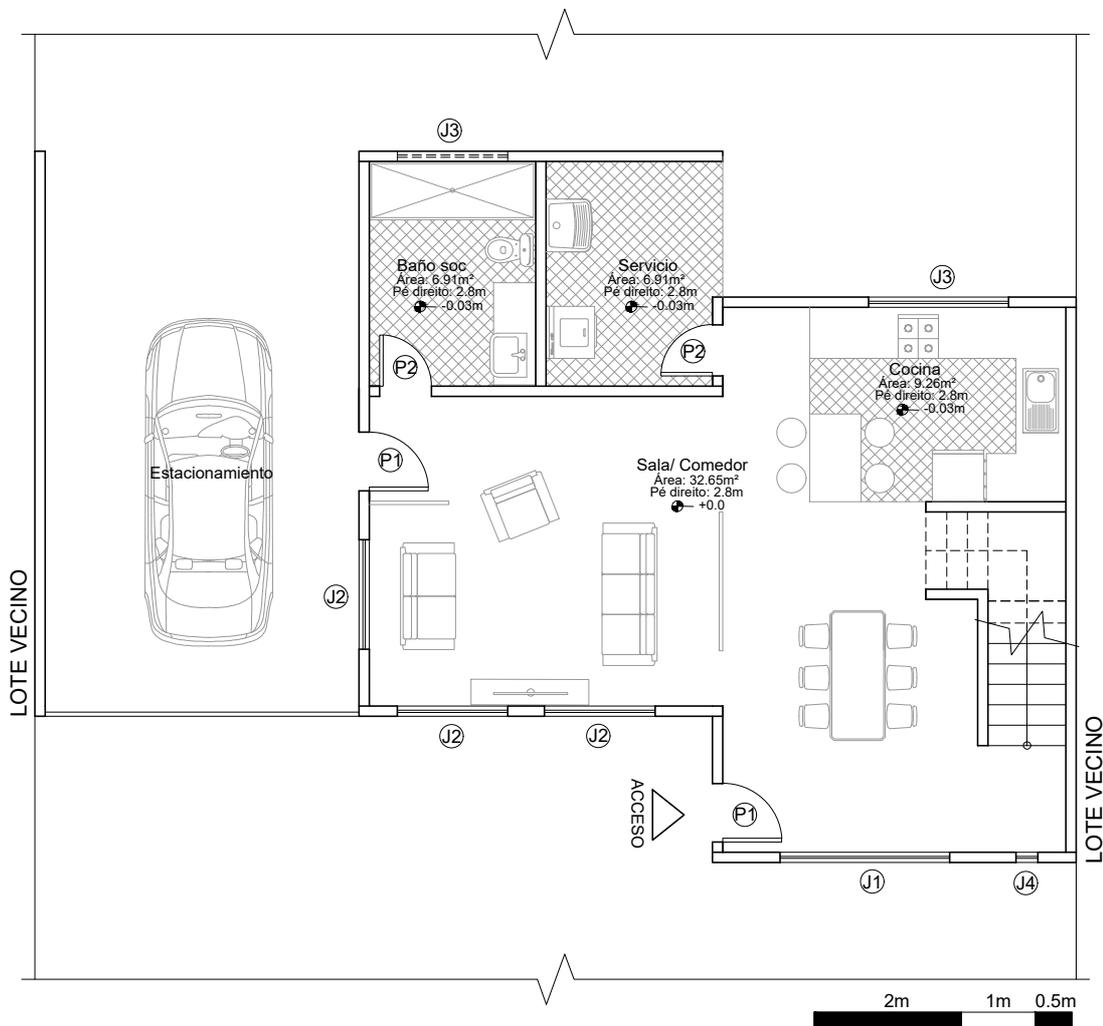
Área total: 151.2m<sup>2</sup>



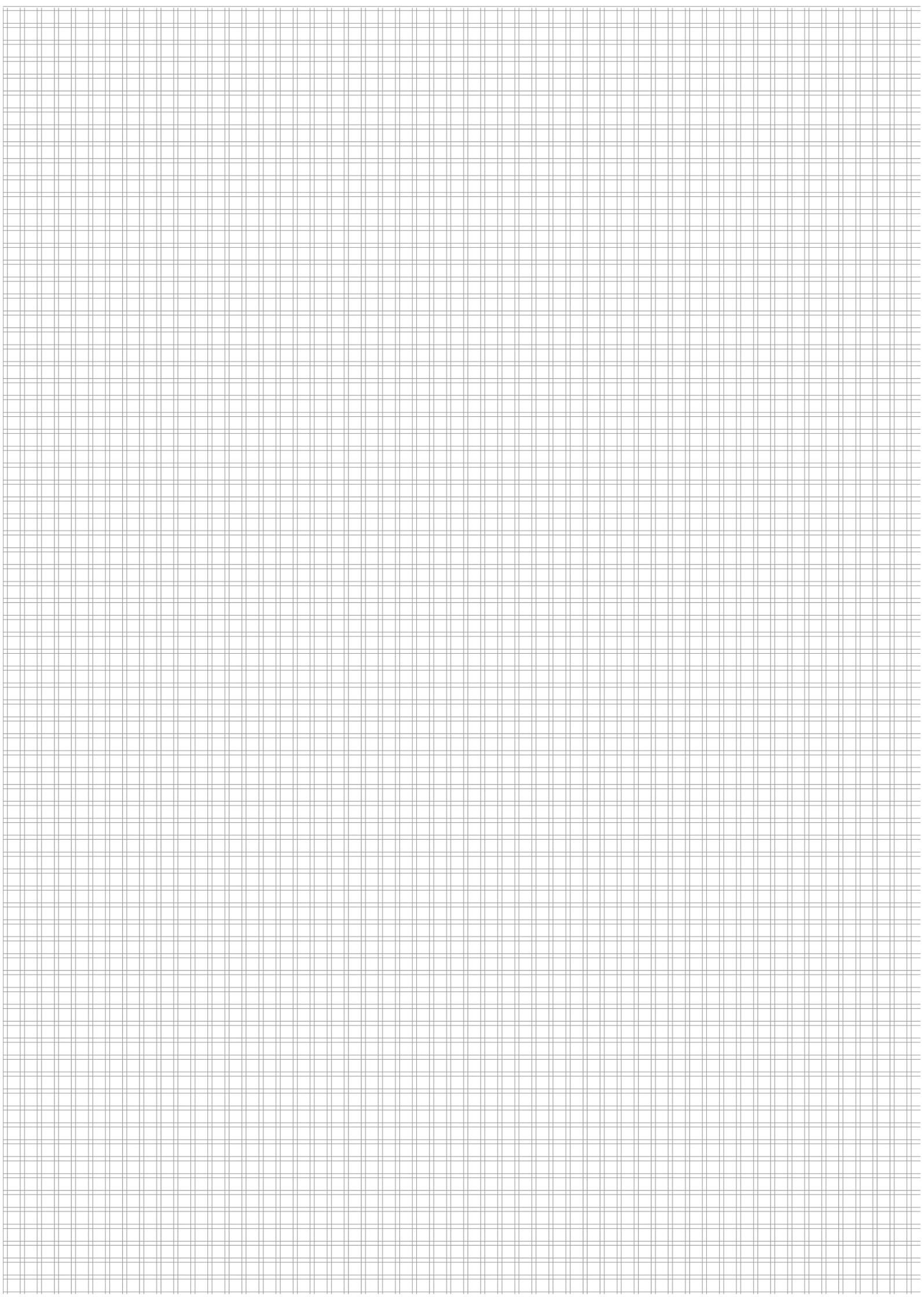
TERCER PROTOTIPO / PLANTA EN PRESENTE

TÉRREO

Escala 1/100



2m 1m 0.5m



TERCER PROTOTIPO / PLANTA EN FUTURO

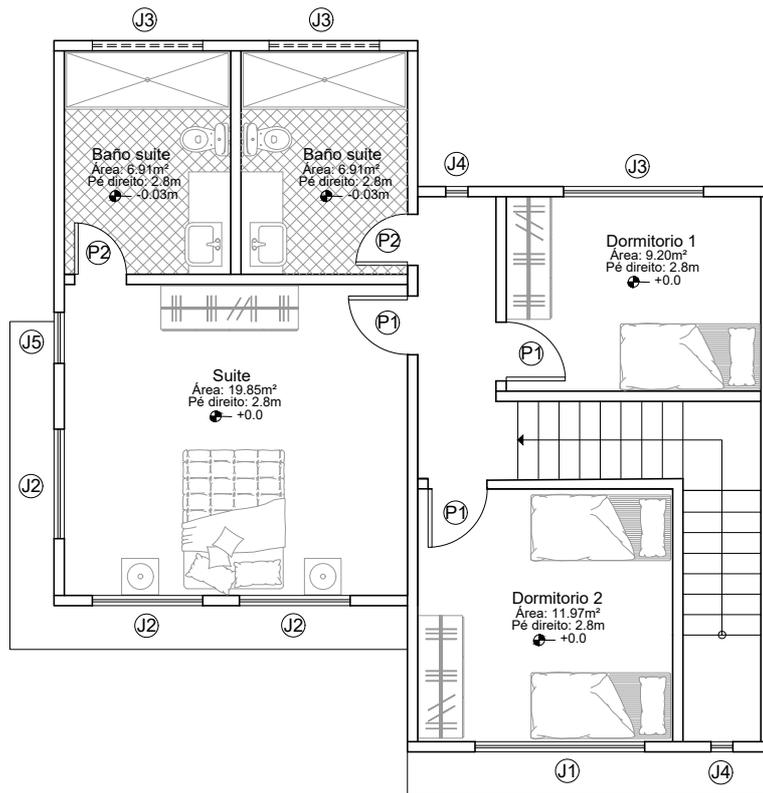
1 ANDAR

Escala 1/100

VENTANAS	
Ref.	Dimensiones
J1	1.40m x 2.40m 1.00m
J2	1.40m x 1.60m 1.00m
J3	0.60m x 1.60m 1.80m
J4	0.40m x 2.00m 0.40m
J4	1.40m x 0.80m 1.00m
PUERTAS	
P1	2.00m x 0.80m
P2	2.00m x 0.70m

Obs. todas las paredes tienen un grosor de 0.14m

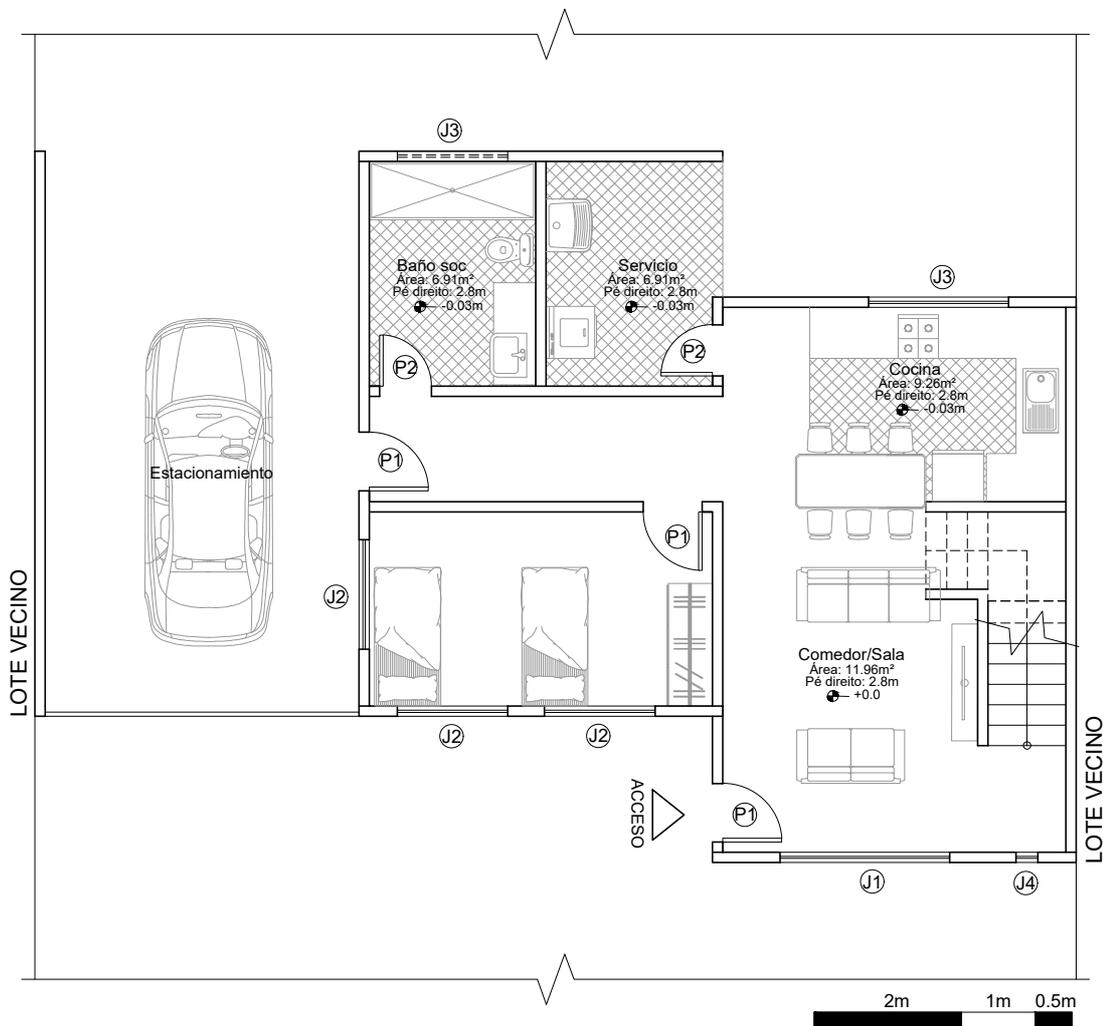
Área total: 151.2m<sup>2</sup>



TERCER PROTOTIPO / PLANTA EN FUTURO

TÉRREO

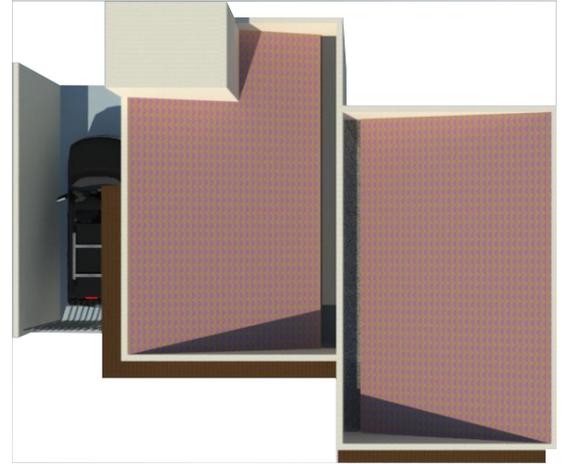
Escala 1/100





# Perspectivas y Fachadas - Prototipo 3

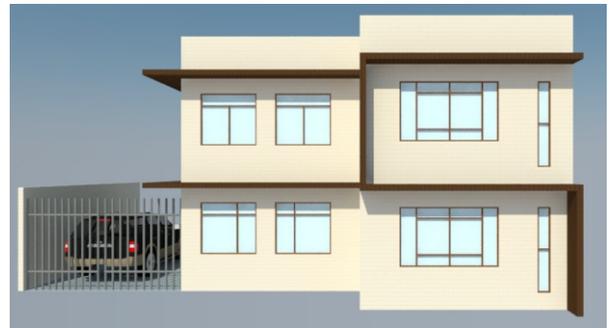
Cobertura



1 piso



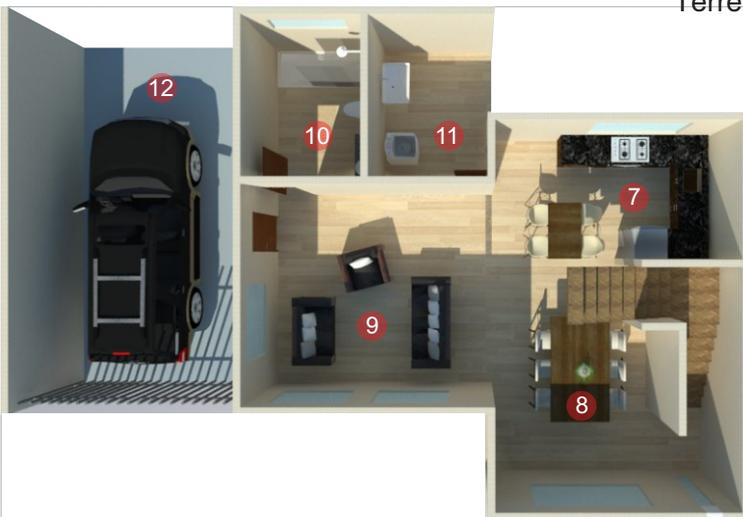
Fachada Frontal



Fachada lateral izquierda



Térreo



Fachada posterior

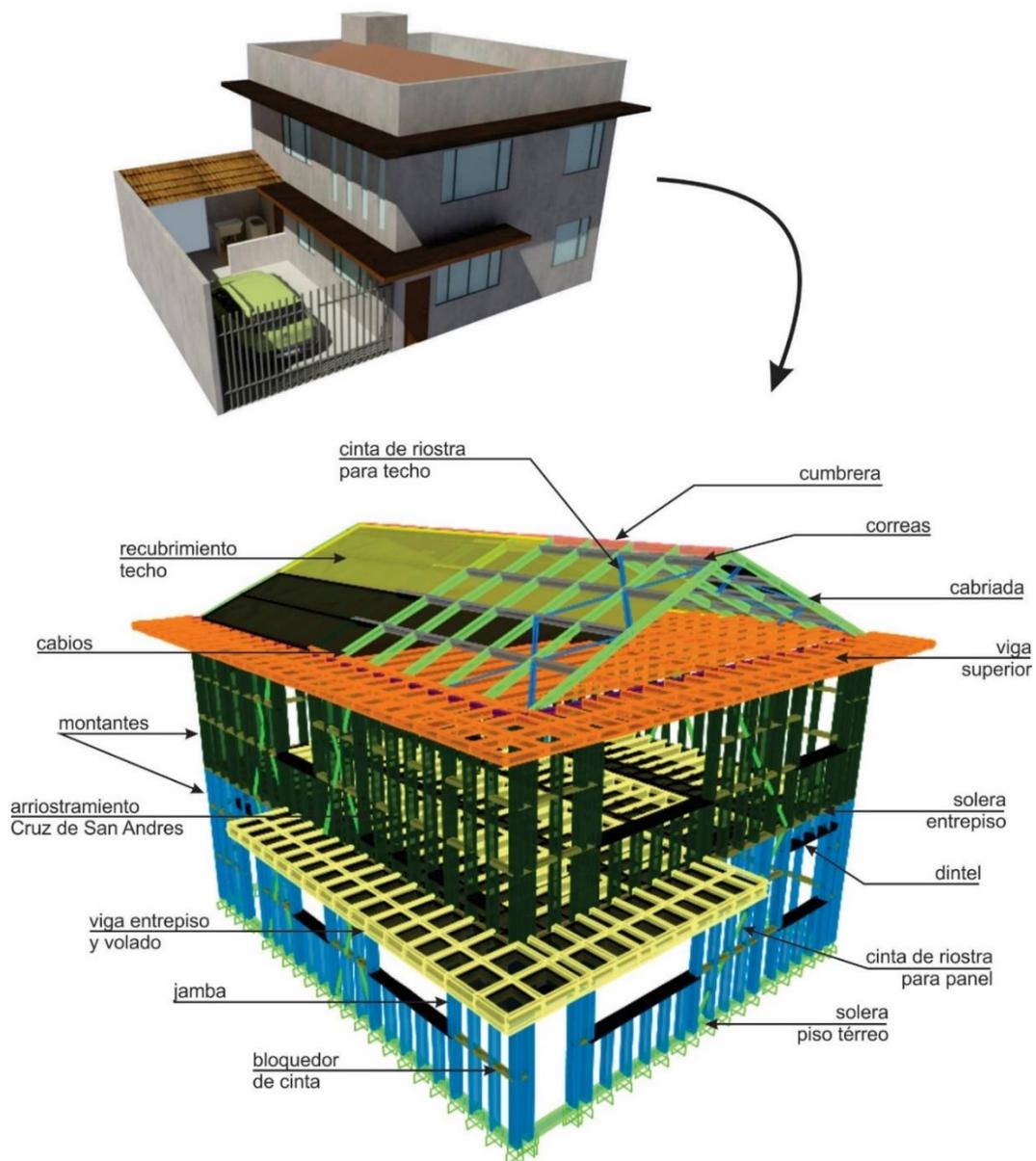


- 1 Suite
- 2 Baño Suite
- 3 Dorm. duplo
- 4 Dorm. individual
- 5 Baño
- 6 Corredor
- 7 Cocina
- 8 Comedor
- 9 Sala
- 10 Baño social
- 11 Area de servicio
- 12 Parquadero

## 9.7. ANÁLISIS SÍSMICO

Para la realización del análisis sísmico en el *software* SAP 2000, se seleccionó el primer prototipo de vivienda unifamiliar proyectado anteriormente, con el fin de mostrar el comportamiento de los elementos estructurales de la vivienda de *Steel Framing* ante un sismo. Para el diseño estructural se tomó como referencia el manual para *Steel Framing* en Arquitectura e Ingeniería del Instituto Latinoamericano del Fierro y del Acero (2007) y la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC-2015).

**Figura 110.** Estructura diseñada (Prototipo 1)



Fuente: GONZÁLEZ, B. Estructura diseñada (Prototipo 1), CAU-UNILA, Foz de Iguazú, 2017.

Desde un principio se propuso diseñar la estructura con perfiles de 100x35x12x1.2, para los diferentes usos de la estructura como muestra la Tabla 10. Este valor fue tomado en consideración a partir del levantamiento bibliográfico realizado, en el cual estipulaba la estructuración de la vivienda con perfiles mínimos.

**Tabla 10.** Dimensiones de perfiles con medidas mínimas

	Función	Perfil	Designación	Dimensión (mm)	Color
cubierta	cumbrera	C	HxBxDxt	100x35x12x1.25	Red
	correa	C	HxBxDxt	100x35x12x1.25	Grey
	cabios y cabriada	C	HxBxDxt	100x35x12x1.25	Green
	cinta de riostra	cinta fleje	Bxt	50x0.84	Blue
1 piso	viga superior	C	HxBxDxt	100x35x12x1.25	Orange
	montante 1 piso	C	HxBxDxt	100x35x12x1.25	Dark Green
	dintel	C	HxBxDxt	100x35x12x1.25	Black
	solera entrepiso	U	HxBxt	104x30x1.2	Olive
	bloqueador	C	HxBxDxt	90x35x12x0.9	Dark Olive
	cinta de riostra	cinta fleje	Bxt	50x0.84	Light Green
térreo	viga entrepiso	C	HxBxDxt	100x35x12x1.25	Yellow
	montante térreo	C	HxBxDxt	100x35x12x1.25	Blue
	dintel	C	HxBxDxt	100x35x12x1.25	Black
	solera térreo	U	HxBxt	104x30x1.2	Olive
	bloqueador	C	HxBxDxt	90x35x12x0.9	Dark Olive
	cinta de riostra	cinta fleje	Bxt	50x0.84	Light Green

Fuente: GONZÁLEZ, B. Dimensiones de perfiles con medidas mínimas, CAU-UNILA, Foz de Iguazú, 2017.

La estructura está representada a partir de una gama de colores (Figura 110), para poder distinguir los niveles, y las partes de la estructura con su adecuado funcionamiento y comportamiento ante un sismo. Para la simulación se utilizaron perfiles de acero en frío, madera OSB para exteriores y yeso cartón para interiores, con sus valores específicos representado en la Tabla 11, para obtener datos más reales en la simulación.

**Tabla 11.** Especificaciones de materiales

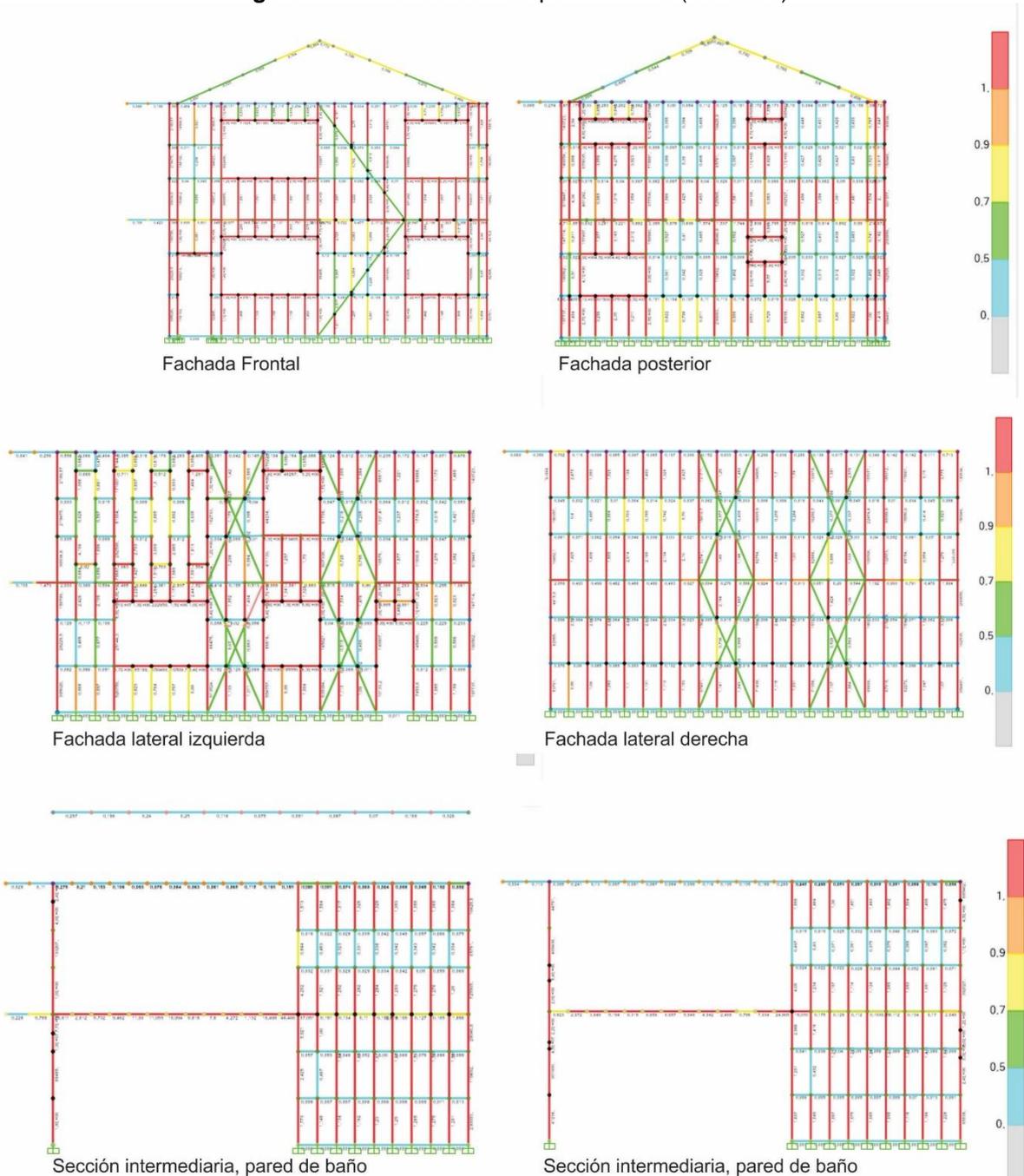
Material	Peso por unidad de volumen	Modulo de elasticidad	Coefficiente de poisson
Acero en frío (Acero A623)	7,849 ton/m <sup>3</sup>	8390 ton/m <sup>3</sup>	0.3
Madera OSB y yeso cartón	0.69 ton/m <sup>3</sup>	2074 ton/m <sup>3</sup>	0.25

Fuente: GONZÁLEZ, B. Especificaciones de materiales, CAU-UNILA, Foz de Iguazú, 2017.

Al tratarse de una zona sísmica, el software interpretó un mal

dimensionamiento de los perfiles, es decir, la estructura no soportaría un movimiento sísmico en el cantón de Pedernales, provincia de Manabí, si se diseñaría con el perfil de 100x35x12x1.2, como se observa en la Figura 111. Sin embargo, si la edificación fuese proyectada en un lugar sin abalos sísmico no existiría ningún inconveniente en diseñar con las dimensiones mínimas.

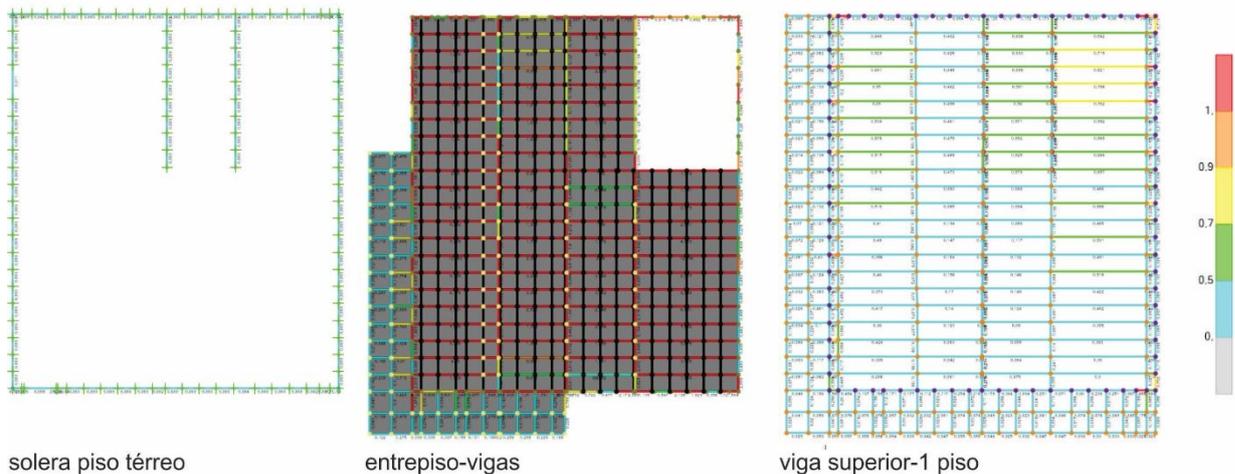
**Figura 111.** Análisis sísmico perfil mínimo (fachadas)



Fuente: GONZÁLEZ, B. Análisis sísmico perfil mínimo (fachadas), CAU-UNILA, Foz de Iguazú, 2017.

En la Figura 111, muestra el análisis sísmico realizado con los perfiles mínimos de la Tabla 10, propuestos desde un inicio. La paleta de colores colocadas a lado derecho de las fachadas muestra los grados de dimensionamiento, es decir si la estructura muestra un color rojo, está sobre su límite y mal dimensionada. En este caso, existe una gran cantidad de perfiles mal dimensionados y, por ende, la estructura no soportara ante un sismo. De la misma manera es analizada la estructura en planta, y de acuerdo con el análisis realizado los perfiles, en este caso las vigas se encuentran en su límite (Figura 112).

**Figura 112.** Análisis sísmico perfil mínimo (plantas)



Fuente: GONZÁLEZ, B. Análisis sísmico perfil mínimo (plantas), CAU-UNILA, Foz de Iguazú, 2017.

En planta la solera del piso terreo no se vio tan afectada, ya que los perfiles son anclados directamente a la fundación radier la cual recibirá toda la carga de la estructura. Por en cuanto, las vigas o los perfiles del entrepiso se ven afectados en su gran mayoría y finalmente la viga superior del primer piso no tiene inconvenientes por soportar solo el peso de la cobertura.

Para el pre-dimensionamiento de la estructura, se seleccionó perfiles con un mayor dimensionamiento, el cual sea capaz de resistir las fuerzas ocasionado por los sismos. Para ello también es importante mencionar que cada elemento, cada perfil, posee una función muy importante en la estructura y dependerá mucho para que esta se comporte de la mejor manera. En la Tabla 12, se observa los perfiles con los cuales la estructura obtuvo un gran resultado,

garantizando la estabilidad de la vivienda y a su vez afirmando y colocando como límite el uso de esos dimensionamientos. Por ejemplo, el perfil mínimo utilizado en el cantón de Pedernales, provincia de Manabí, para los montantes será de 150x40x15x2, para sus entrepisos medidas mínimas de 200x50x1x1.6, etc.

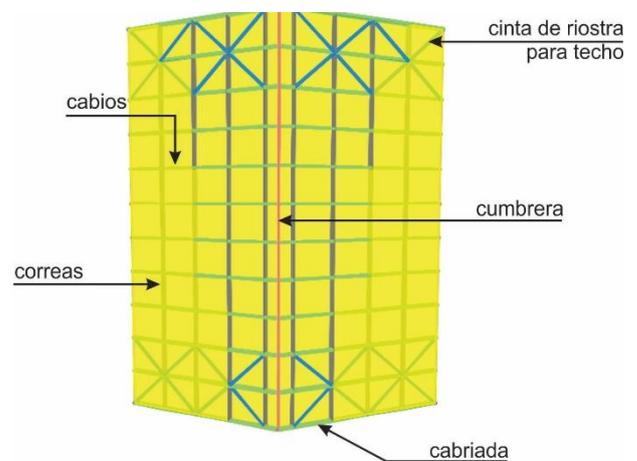
**Tabla 12.** Tabla de dimensionamiento de perfiles para zona sísmica

	Función	Perfil	Designación	Dimensión (mm)	Color
cubierta	cumbrera	C	HxBxDxt	100x35x12x1.25	rojo
	correa	C	HxBxDxt	100x35x12x1.25	gris
	cabios y cabriada	C	HxBxDxt	100x35x12x1.25	verde
	cinta de riostra	cinta fleje	Bxt	50x0.84	azul
1 piso	viga superior	C	HxBxDxt	100x35x12x1.25	naranja
	montante 1 piso	C	HxBxDxt	150x40x15x2	verde oscuro
	dintel	C	HxBxDxt	150x40x15x2	negro
	solera entepiso	U	HxBxt	155x35x2	gris oscuro
	bloqueador	C	HxBxDxt	90x35x12x0.9	verde oliva
	cinta de riostra	cinta fleje	Bxt	50x0.84	verde claro
térreo	viga entepiso	C	HxBxDxt	200x50x15x1.6	amarillo
	montante térreo	C	HxBxDxt	150x40x15x2	azul
	dintel	C	HxBxDxt	150x40x15x2	negro
	solera térreo	U	HxBxt	155x35x2	gris oscuro
	bloqueador	C	HxBxDxt	90x35x12x0.9	verde oliva
	cinta de riostra	cinta fleje	Bxt	50x0.84	verde claro

Fuente: GONZÁLEZ, B. Estructura diseñada de perfiles para zona sísmica (Prototipo 1), CAU-UNILA, Foz de Iguazú, 2017.

En la cobertura, se utilizó riostras en forma de X (Figura 113), o mejor conocida como Cruz de San Andrés, de acuerdo al manual del ILAFA. Las riostras ayudaron a dar rigidez a la estructura del techo, colocando cuatro riostras en cada ala, dos en sus extremos. Hay que señalar que el tejado además de las cargas sísmicas, están expuestas a otras cargas como por lluvia y por viento, las cuales también fueron

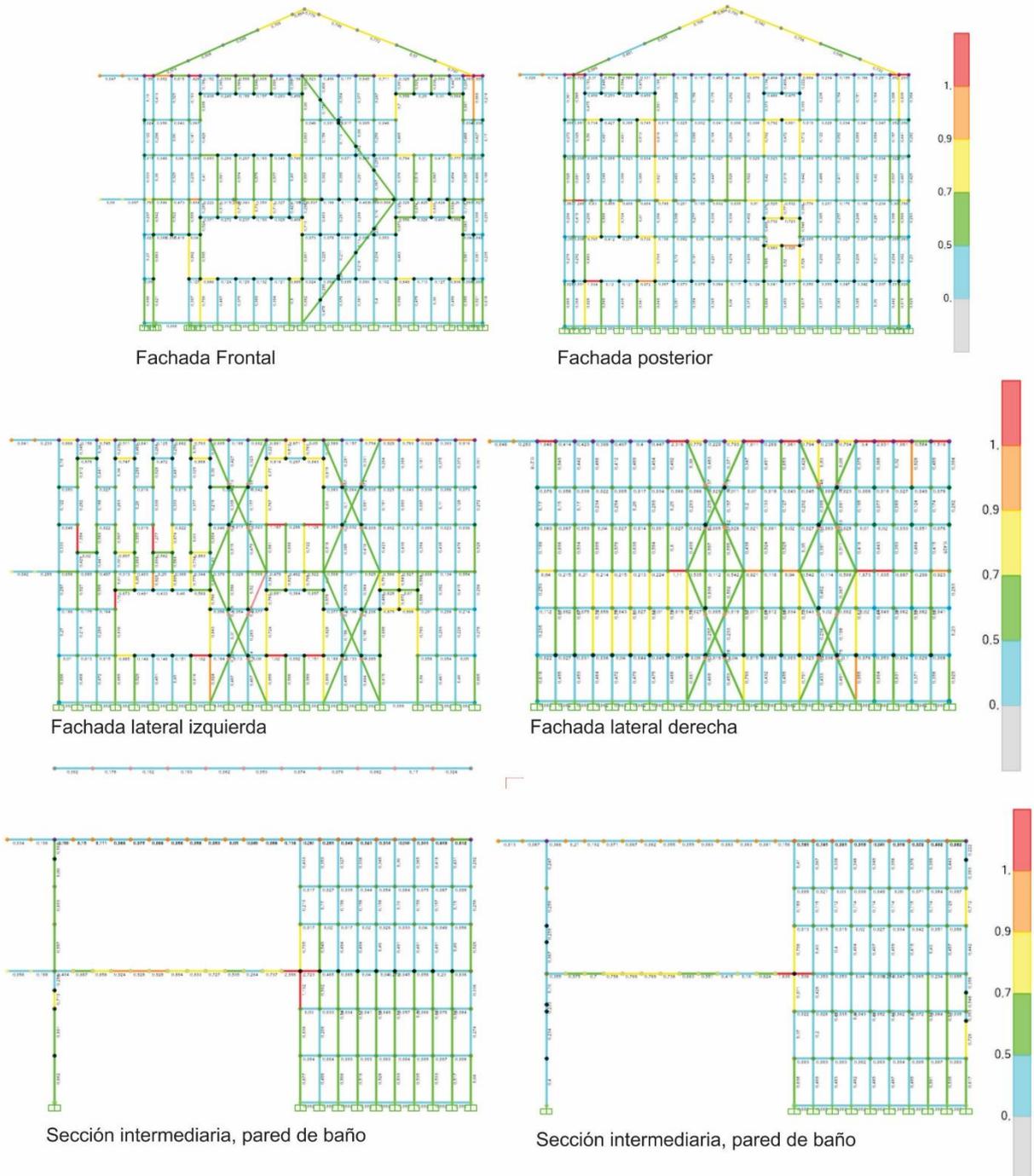
**Figura 113.** Cobertura



Fuente: GONZÁLEZ, B. Cobertura, CAU-UNILA, Foz de Iguazú, 2017.

consideradas en el diseño.

**Figura 114.** Dimensionamiento estructural sismo resistente (fachadas)



Fuente: GONZÁLEZ, B. Dimensionamiento estructural sismo resistente (fachadas), CAU-UNILA, Foz de Iguazú, 2017.

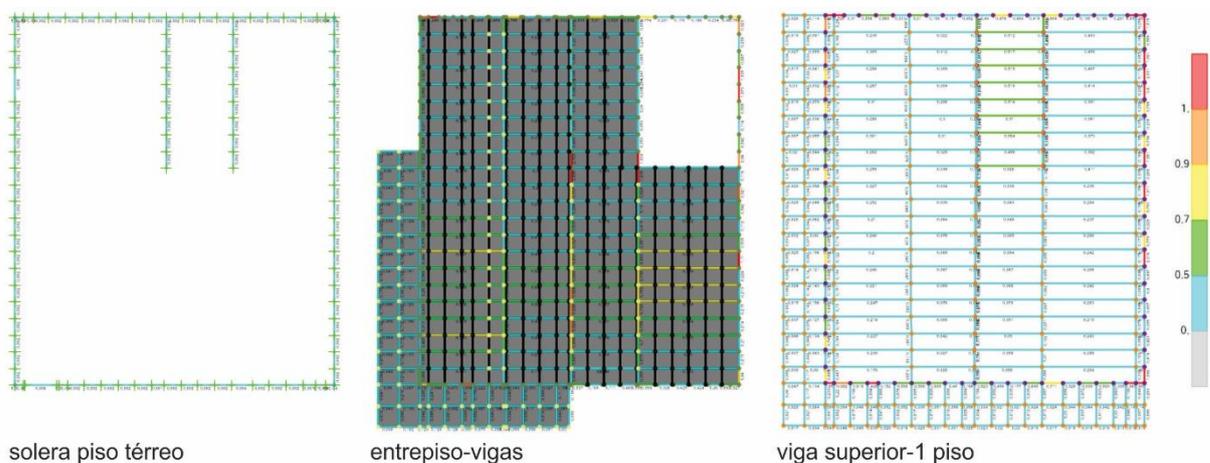
A partir del pre-dimensionamiento de los perfiles, se logró identificar que la estructura no presentaba datos negativos o mal dimensionamiento de la estructura, como en la anterior simulación. Esta vez los colores representados en la

estructura con relación a la paleta son aceptables, garantizando la estabilidad de la edificación ante las fuerzas sísmicas (Figura 114). Aquí los montantes fueron dimensionados con perfiles de 150x40x15x2 y se logró identificar, que el grosor del perfil tiene mucha importancia en cuanto a la resistencia y rigidez para transportar las cargas. Hay que recalcar que en donde se va a producir mayores esfuerzos en la estructura, son en sus cuatro esquinas, por ese motivo se diseña en estos puntos con tres perfiles juntos como fue expuesto en el detallamiento de la estructura del prototipo 1.

Como se observa en la fachada lateral izquierda y derecha (Figura 114), se colocó cintas de arrostramiento o Cruz de San Andrés, para transmitir el esfuerzo de tracción producidas por las cargas horizontales en donde actúa el sismo, proporcionando un amarre, ya en la fachada frontal se colocó cintas fleje en dos sentidos para compensar los movimientos evitando la torsión de la estructura.

Los bloqueadores colocados en medio de los montantes, cumplen la función de rigidizar el panel estructural, dividiendo las cargas de los montantes y repartiendo homogéneamente los esfuerzos. El dintel conformado por la unión de dos perfiles C, que son colocados encima de las ventanas y de las puertas, ayudan a transmitir las cargas de los montantes que están colocados encima, desviando los esfuerzos hacia los demás montantes.

**Figura 115.** Dimensionamiento estructural sismo resistente (plantas)



Fuente: GONZÁLEZ, B. Dimensionamiento estructural sismo resistente (plantas), CAU-UNILA, Foz de Iguazú, 2017.

Así mismo en los tres niveles de la vivienda del prototipo 1 (Figura 115), se aprecia que los perfiles ahora con un dimensionamiento adecuado no muestran un color negativo. El entrepiso diseñado ahora con un perfil de 200x50x15x1.6, da una mejor estabilidad y resistencia principalmente por soportar la carga de la cubierta, la carga permanente y la carga viva, más allá de eso hay que tomar en consideración que los perfiles de las vigas deben estar alineadas a los montantes para transferir las cargas por igual.

Un aspecto importante que se confirmó en la simulación a través del *software* SAP 2000 fue que, gracias a la armonía, a la simetría, al alineamiento de elementos estructurales y no estructurales como puertas y ventanas, a la regularidad tanto en planta como en volumetría, manteniendo formas puras, se consigue un diseño sismo resistente. Además de la elección de una tecnología constructiva como Steel Framing en acero en frío posibilita una disminución de peso en la estructura, lo cual ayuda a reducir los movimientos de la estructura por causa de su inercia.

## 9.8. INSTRUMENTO DE DIVULGACIÓN

Como parte del resultado final del trabajo, se elaboró una cartilla en formato A5 para la divulgación de los resultados alcanzados. Esta cartilla tiene como objetivo fundamental orientar e instruir a las personas que practican autoconstrucción de viviendas, principalmente en zonas donde existe un alto índice de sismicidad. Se propone tres tipos de vivienda unifamiliar para cinco personas, con la posibilidad de ampliación interna para más habitaciones sin la necesidad de poner en peligro la vida de las personas. Estas viviendas son apenas ejemplares de lo que fue estudiado en la teoría para poner en práctica dentro de la residencia proyectada.

Para ello la cartilla fue ejecutada de una manera resumida conteniendo los aspectos estudiados sobre el diseño sísmico y dando los principios norteadores para proyectar la vivienda. La cartilla fue dividida en tres etapas: En la primera etapa, se realiza una introducción contextualizando al País de Ecuador mostrando datos con respecto a los efectos causados por los sismos, haciendo un enfoque en el último terremoto producido en la provincia de Manabí. Después se estableció una línea de tiempo con los terremotos que mayor impacto causaron durante la historia en Ecuador.



INTRODUCCIÓN



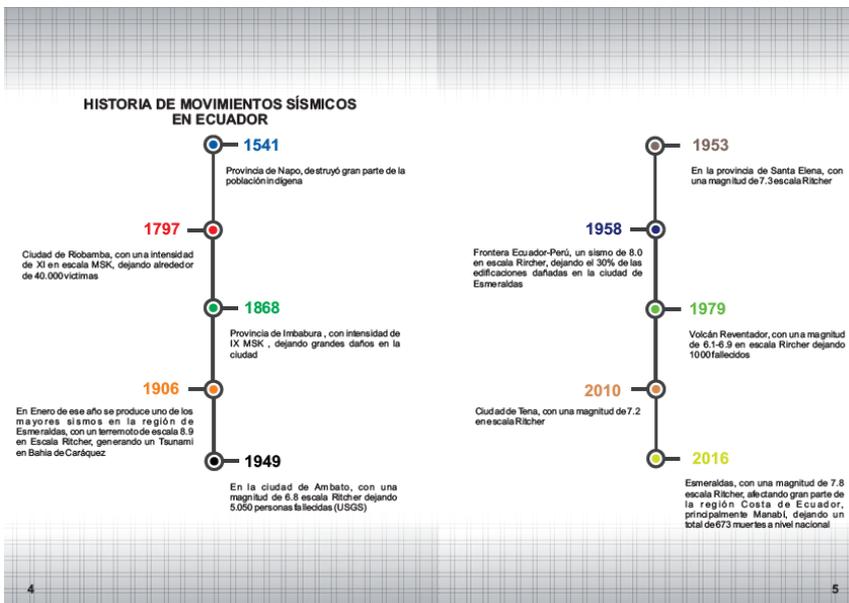
El mayor índice de sismo se da en el área de cobertura  
Fuente: Norma Ecuatoriana de Construcción 2015

El País de Ecuador es un territorio que está situado en la zona conocida como Cinturón de Fuego, escenario de gran actividad sísmica y volcánica, es decir, se presentan cambios en la superficie de la Tierra, como respuesta a las placas tectónicas. Ecuador se localiza entre la Placa Sudamericana y la Placa Nazca generando un área de subducción, en donde las capas se interponen ocasionando movimientos de la tierra sobre la Región costera.

Los terremotos originados en el País, han producido grandes pérdidas de viviendas, destruyéndolas parcial o totalmente, debido a ciertos factores como: la ubicación de viviendas en zonas no habitables, diseño inadecuado y la mala utilización de materiales. Se estima que en Ecuador desde 1534, han sucedido 37 terremotos de gran magnitud y dentro de su historia se han registrado acerca de 80.000 pérdidas humanas. Cada año se producen 2.600 eventos sísmicos de los cuales 300 son de magnitud de 4 grados en escala Richter y por lo general se presencian más en la Región Costa de Ecuador.

A partir de los datos presentados se tiene una preocupación sobre la temática, para verificar las falencias de construcción y proponer soluciones a partir del diseño arquitectónico. Para la propuesta principalmente se analizan los datos ocasionados producidos por los sismos, haciendo un enfoque en el último terremoto ocasionado del 16 de abril del 2016 donde el cantón de Pedernales en la provincia de Manabí-Ecuador, se vio afectado. Con el estudio de materiales y tecnologías constructivas se propone un módulo habitacional unifamiliar que cumpla con parámetros sísmo resistentes y pueda ser adoptado en autoconstrucción.

<sup>1</sup> Datos sacados del libro "Breves fundamentos sobre los terremotos en Ecuador"



En la segunda parte de la cartilla, se mostró los daños identificados en las viviendas o los problemas de construcción más frecuentes observados en la visita realizada al cantón de Pedernales, provincia de Manabí en Ecuador, junto con la correcta aplicación de la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC 2015).

**PROBLEMAS CONSTRUCTIVOS MÁS FRECUENTES IDENTIFICADOS EN EL CANTÓN DE PEDERNALES, PROVINCIA DE MANABI-ECUADOR**

6

**DIMENSIONAMIENTO ERRADO DE LOS PILARES**



Los pilares estaban mal dimensionados, es decir, eran muy delgados y esbeltos para el peso que debía soportar del piso superior.

**IMPORTANTE:** La Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC 2015), En estructuras de Hormigón Armado, establece en el ítem 4.3, que el dimensionamiento de columnas debe ser de 30cm x 30cm como mínimo, en áreas donde se presentan movimientos.

**FALLA EN SUS CERRAMIENTOS**



Varias de las edificaciones presentaron daños en las paredes, sin embargo en los pilares y vigas no presentaron daños significativos. En las viviendas que presentaron daños en sus paredes estaban realizadas de mampostería de bloque.

7

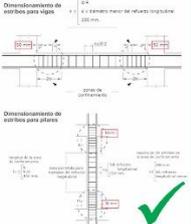
**ESTRIBOS MAL DISTRIBUIDOS**

En las viviendas que se logró identificar, existía una inadecuada colocación de estribos y colocadas en diferentes direcciones, es decir, no estaban colocadas homogéneamente, además los estribos no tenían ganchos sísmicos.



**IMPORTANTE:** La Norma Ecuatoriana de Diseño Sismo Resistente, recomienda tener un mayor refuerzo de estribos en las uniones entre columna y viga, ya que estas zonas son críticas cuando se genera un movimiento sísmico. La norma establece que, desde su límite exista una separación de 5cm para garantizar una mayor resistencia y luego distribuir los estribos uniformemente de acuerdo a los cálculos. Además, se debe colocar para pilares y vigas como mínimo barras corrugadas de 8 mm y para los estribos 10 mm, conforme a la Norma Ecuatoriana de Construcción en el ítem 3.4.2 colocación del acero de refuerzo.

**DIMENSIONAMIENTO DE ESTRIBOS PARA PILARES Y VIGAS**



Fuente: Norma Ecuatoriana de Diseño Sismo Resistente, 2014, edición nuestra

8

**ESTRIBOS MAL DISTRIBUIDOS**

El pilar de la edificación de la imagen b, sufrió daños de flambaje, como el caso anterior, los estribos no son colocados adecuadamente. En esta construcción que estaba en su fase de finalización, el pilar no soportó la fuerza de la estructura.

Las escaleras son un elemento importante de una edificación en casos de un sismo, que deben estar diseñadas correctamente para que las personas puedan evacuar con facilidad. Además de eso, es aconsejable que las escaleras estén colocadas próximas a la entrada de la casa.

**ESCALERAS EN COLAPSO**



**VARILLAS EXPUESTAS AL CLIMA**

Uno de los errores cometidos en la construcción, es que se dejó parte de la estructura descubierta a la intemperie al clima húmedo que presenta la ciudad. La brisa ocasiona corrosión en las varillas dejando sin las misma resistencia.

La edificación debe ser regular tanto en planta como en volumetría para transferir homogéneamente los esfuerzos, además un peso excesivo en la estructura puede generar mayor fuerza de inercia dando más probabilidad de un colapso.

**FORMA IRREGULAR**



9

Ya en la tercera parte, se colocaron las soluciones y la propuesta arquitectónica a partir del diseño modular con la tecnología constructiva adoptada. Primero partiendo del concepto de sismo resistencia y posteriormente los principios que se deben seguirse para obtener una vivienda sismo resistente.



### ¿Qué es sismo-resistencia?

**Definición del Centro Nacional de Construcción de Colombia**

Es la propiedad de una edificación, que a partir de técnicas de diseño en la configuración geométrica y la inserción de sistemas estructurales, sea capaz de resistir esfuerzos producidos por movimientos sísmicos, protegiendo la integridad de las personas.

Para garantizar una vivienda sismo resistente se deben seguir los principios de sismo resistencia

#### Principios para lograr una vivienda sismo resistente

Poco peso	Entre más liviana sea la estructura menos será la fuerza que deberá soportar la estructura antes un sismo
Simetría y regularidad en planta como elevación	Forma irregular de la edificación hace con que la estructura sufra torsión. Uniformidad concentra fuerzas en las esquinas
Plantas poco alargadas	Planta poco alargada para que los movimientos de un extremo sean igual a los del otro extremo
Resistencia y rigidez	La resistencia y rigidez debe ser colocada proporcionalmente en la edificación, así el cuerpo se comporta uniformemente.
Propiedades dinámicas compatibles con el terreno	Las propiedades de la edificación deben ser congruentes con las del suelo a la cual está cimentada
Congruencia entre construcción y diseño	Es aconsejable que la construcción no sufra alteraciones con el tiempo para no aumentar peso en la estructura

11

Luego se dio a conocer algunas de las formas irregulares que no son viables para el diseño en una zona sísmica, junto con algunas de las posibilidades que pueden ser utilizadas dentro de la Norma. A continuación, se expone la tecnología adoptada para la construcción de la vivienda presentando sus características y así mismo sus limitaciones.

**Formas Irregulares en volumetría**

**Formas regulares en volumetría**

**Formas Irregulares en planta**

**Formas regulares en planta**

12

### TECNOLOGÍA CONSTRUCTIVA PARA VIVIENDAS EN ZONAS SÍSMICAS

#### STEEL FRAMING

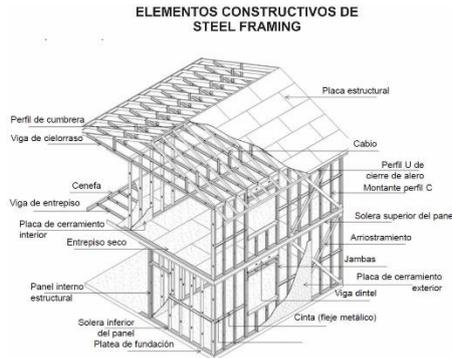
Es un sistema formado a base de perfiles en frío de acero galvanizado que componen los paneles estructurales y no estructurales, vigas, techos, etc.

- Es un sistema constructivo liviano, por ende se comporta de manera satisfactoria ante un sismo. Entre menos peso, menos fuerza de inercia tendrá hacia los movimientos cortantes.
- En cuanto a flexibilidad, el sistema constructivo se adapta a cualquier tipo de diseño arquitectónico
- Es una tecnología constructiva que permite trabajar con modulación, lo cual reducirá costos. Lo recomendable es trabajar sobre una malla de 40cm para distribuir bien las cargas
- En cuanto al tiempo de ejecución se reduce en un tercio comparado al sistema convencional, además se puede ejecutar en la misma obra
- Es un material que puede ser utilizado en autoconstrucción siempre y cuando exista una capacitación de un profesional
- Debido a las características del sistema, permite calcular exactamente la cantidad de material a ser usado evitando desperdicios, a su vez es más económico que el sistema convencional
- Al ser acero galvanizado en frío resiste a la corrosión y es sumamente resistente y rígido, lo cual es apto para ser utilizado en zonas donde existe movimientos sísmicos.
- Para zonas sísmicas construir hasta dos pisos. No colocar pesos excesivos en la estructura

13

Entrando a la parte proyectual se muestra los diferentes tipos de perfiles con sus usos, vistos desde una perspectiva. Después se presenta la malla didáctica con la cual se trabajó para la organización de los espacios conforme la

modulación propuesta. En seguida se exponen los tres prototipos de habitación unifamiliar en Presente y en Futuro para indicar la ampliación realizada junto con la redistribución de los espacios en el pavimento térreo. En este caso se colocó la malla impresa junto con la planta para dar una mayor visibilidad sobre el trabajo de modulación. En la parte final se disponibilizó la volumetría de cada planta para poder tener una noción del modelo volumétrico de la vivienda.



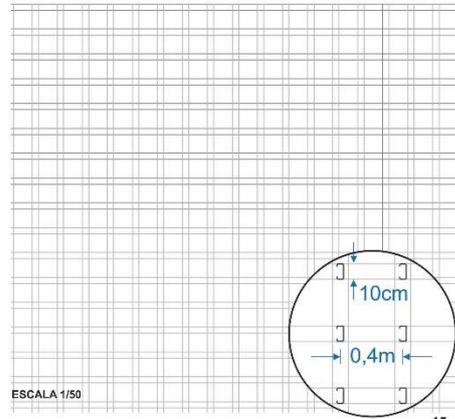
### TIPOS DE PERFILES

SECCIÓN TRANSVERSAL	DESIGNACION	UTILIZACIÓN	SECCIÓN TRANSVERSAL	DESIGNACION	UTILIZACIÓN
	Perfil U HxBxIt	Solera Purlina Bloqueador Cenefa Abeceador		Perfil Galera HxBxIDit	Correa Larguero Purlinot
	Perfil C HxBxIDit	Montante Viga Purlina Abeceador Bloqueador Cierzo Cubris Larguero		Angulo conector E1xIxDit	Conector Atenuador Purlinot
				Canto bajo E1xI	Riostros Tensiones Diagonales

14

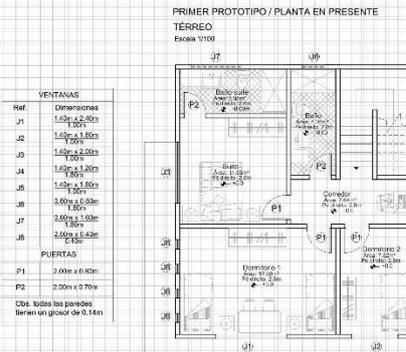
### MODULACIÓN DE VIVIENDAS

Para la modulación de viviendas se trabajó sobre una malla cuadriculada, con un espaciamiento de 40 cm desde el eje de cada perfil para conseguir que la estructura distribuya equitativamente las cargas y obtener mayor rigidez, corrigiendo los movimientos laterales producidos por los movimientos del sismo. Hay que señalar que los tres prototipos propuestos a continuación, son apenas tres de infinitas soluciones que pueden existir para lograr una vivienda sísmo resistente.

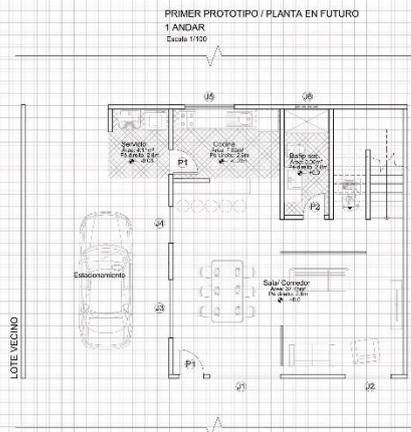


15

### PRIMER PROTOTIPO DE VIVIENDA UNIFAMILIAR SISMO RESISTENTE



16



17

**PRIMER PROTOTIPO DE VIVIENDA UNIFAMILIAR SISMO RESISTENTE**

**PRIMER PROTOTIPO / PLANTA EN FUTURO TERREO**  
Escala 1/100

**VENTANAS**

Ref.	Dimensiones
J1	1.43m x 1.00m
J2	1.57m x 1.00m
J3	1.57m x 1.00m
J4	1.43m x 1.00m
J5	1.13m x 1.00m
J6	0.90m x 0.70m
J7	0.90m x 0.70m
J8	1.43m x 1.00m

**PUERTAS**

Ref.	Dimensiones
P1	2.00m x 0.80m
P2	2.00m x 0.70m

Obs. todas las paredes tener un grosor de 0.15m

**PRIMER PROTOTIPO / PLANTA EN FUTURO 1 ANDAR**  
Escala 1/100

En esta planta se realizó la ampliación de un cuarto en el piso térreo

18
19

**SEGUNDO PROTOTIPO DE VIVIENDA UNIFAMILIAR SISMO RESISTENTE**

**SEGUNDO PROTOTIPO / PLANTA EN PRESENTE TERREO**  
Escala 1/100

**VENTANAS**

Ref.	Dimensiones
J1	1.40m x 0.70m
J2	1.40m x 0.70m
J3	1.40m x 0.70m
J4	1.40m x 1.00m
J5	1.40m x 1.30m
J6	2.00m x 0.80m

**PUERTAS**

Ref.	Dimensiones
P1	2.00m x 0.80m
P2	2.00m x 0.70m

Obs. todas las paredes tener un grosor de 0.15m

**SEGUNDO PROTOTIPO / PLANTA EN PRESENTE TERREO**  
Escala 1/100

20
21

**SEGUNDO PROTOTIPO DE VIVIENDA UNIFAMILIAR SISMO RESISTENTE**

**SEGUNDO PROTOTIPO / PLANTA EN FUTURO TERREO**  
Escala 1/100

**VENTANAS**

Ref.	Dimensiones
J1	1.40m x 0.70m
J2	1.40m x 0.70m
J3	1.40m x 0.70m
J4	0.80m x 1.00m
J5	1.40m x 1.30m
J6	2.00m x 0.80m

**PUERTAS**

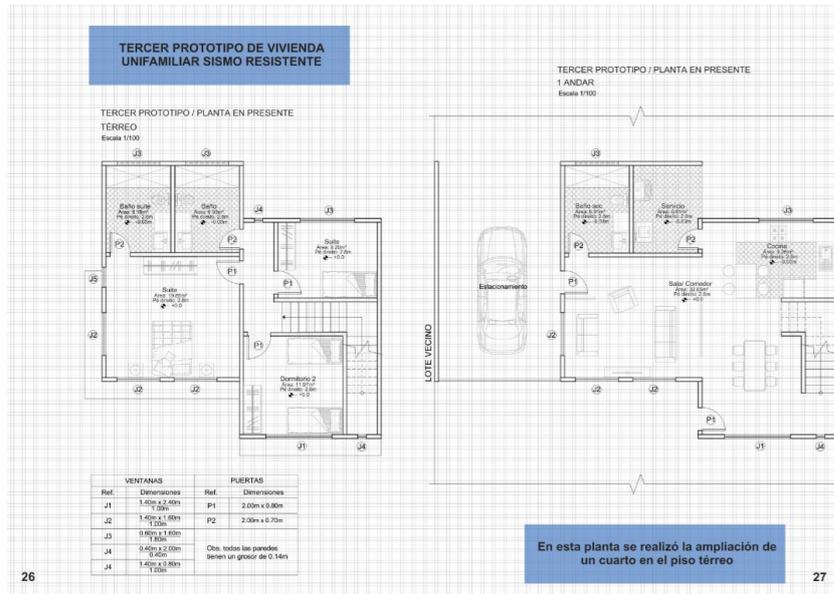
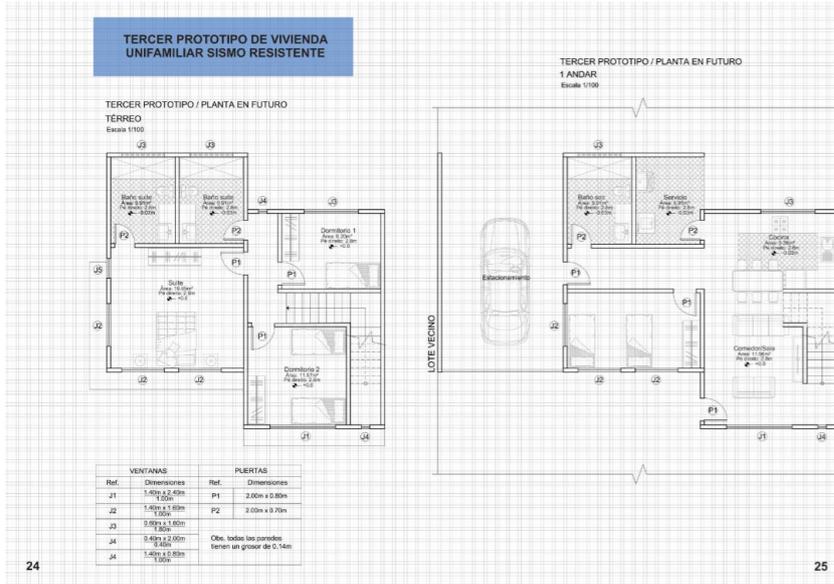
Ref.	Dimensiones
P1	2.30m x 0.80m
P2	2.00m x 0.70m

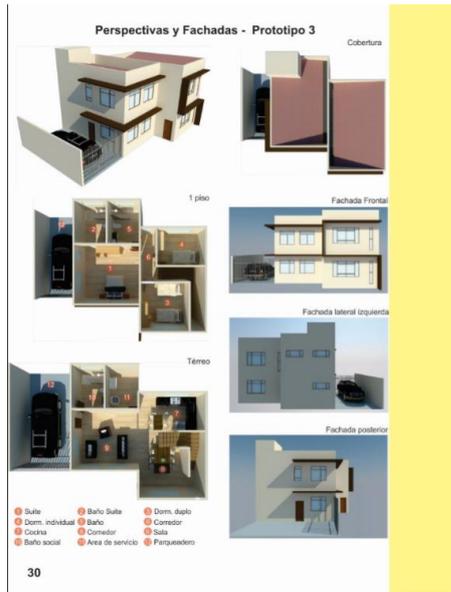
Obs. todas las paredes tener un grosor de 0.15m

**SEGUNDO PROTOTIPO / PLANTA EN FUTURO TERREO**  
Escala 1/100

En esta planta se realizó la ampliación de un cuarto en el piso térreo

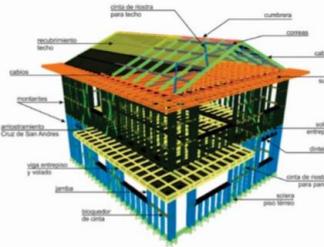
22
23





30

TIPOS DE PERFIL PARA ESTRUCTURACIÓN DEL PRIMER PROTOTIPO



	Función	Perfil	Designación	Dimensión (mm)	Color
cubierta	cumbraera	C	HxBxDxt	100x35x12x1.25	
	correa	C	HxBxDxt	100x35x12x1.25	
	cableos y cabiada	C	HxBxDxt	100x35x12x1.25	
1 piso	cinta de riostra	cinta fleje	Bxt	50x0.84	
	viga superior	C	HxBxDxt	100x35x12x1.25	
	montante 1 piso	C	HxBxDxt	150x40x15x2	
	dintel	C	HxBxDxt	150x40x15x2	
	solera entrepiso	U	HxBxt	155x35x2	
	bloqueador	C	HxBxDxt	90x35x12x0.9	
	cinta de riostra	cinta fleje	Bxt	50x0.84	
	viga entrecimpo	C	HxBxDxt	200x50x15x1.6	
	montante térreo	C	HxBxDxt	150x40x15x2	
	dintel	C	HxBxDxt	150x40x15x2	
térreo	solera térreo	U	HxBxt	155x35x2	
	bloqueador	C	HxBxDxt	90x35x12x0.9	
	cinta de riostra	cinta fleje	Bxt	50x0.84	

31



Para la estructura se utilizó el software SAP 2000, el cual permite analizar y diseñar estructuras de concreto armado y acero reforzado. En este caso se utilizó para el análisis de la estructura de concreto armado. El software permite analizar y diseñar estructuras de concreto armado y acero reforzado. En este caso se utilizó para el análisis de la estructura de concreto armado.

En un primer momento se realizó el diseño de la estructura de concreto armado. Para ello se utilizó el software SAP 2000, el cual permite analizar y diseñar estructuras de concreto armado y acero reforzado. En este caso se utilizó para el análisis de la estructura de concreto armado.

A partir de un primer momento se realizó el diseño de la estructura de concreto armado. Para ello se utilizó el software SAP 2000, el cual permite analizar y diseñar estructuras de concreto armado y acero reforzado. En este caso se utilizó para el análisis de la estructura de concreto armado.

Para la estructura se utilizó el software SAP 2000, el cual permite analizar y diseñar estructuras de concreto armado y acero reforzado. En este caso se utilizó para el análisis de la estructura de concreto armado.

32

Finalmente, se disponibilidad las dimensiones establecidas de los perfiles para la estructuración de la vivienda en zonas sísmicas, conforme el análisis realizado a través del software SAP 2000. Con estas medidas de perfiles las personas tendrán conocimiento sobre las medidas mínimas que se pueden utilizar dentro del área.

## 10. CONSIDERACIONES FINALES

A través de las investigaciones bibliográficas realizadas junto con el análisis de los datos colectados en campo a través de la visita efectuada al cantón de Pedernales en la provincia de Manabí, se concluye lo siguiente:

Durante el recorrido en el cantón se presenciaron varias edificaciones que entraron en colapso por distintos factores. Principalmente varias de las edificaciones localizadas en la región fueron hechas a través de la autoconstrucción, es decir, no existía ningún técnico o profesional que diseñe la vivienda o la estructura, simplemente fue a partir de la mano de obra barata e incluso construida por los propios moradores. En las estructuras se identificaron pilares mal dimensionados, muy esbeltos en relación al gran peso que debía ser soportada la estructura, en la Norma Ecuatoriana de construcción estipula como mínimo dimensiones de 30cmx30cm en zonas sísmicas lo cual no fue cumplido.

Otro aspecto importante que se observó fue el pobre detallamiento de las estructuras, principalmente en sus pilares que son los elementos estructurales encargados de transmitir las cargas hacia las fundaciones. Los estribos de los pilares estaban colocados en diferente posición, mal distribuidos y sin utilización de la norma, lo cual se vio afectado después del terremoto del 16 de abril del 2016. En casi todas las viviendas se presenciaron daños en sus cerramientos, que fueron proyectados sin refuerzo alguno y hechas con mampostería de bloque. Básicamente el material predominante en la autoconstrucción de la región es la mampostería de bloque y concreto armado, de igual manera existían casas mixtas, en donde eran construidas por madera y concreto o a su vez madera con hormigón armado.

En cuanto a diseño arquitectónico, existían predios que tenían una volumetría irregular, la cual colapsó parcialmente, sin embargo, muchas de las edificaciones irregulares que no estaban en el terreno colapsaron totalmente y fueron demolidas. Dentro del levantamiento se observó que muchas de las construcciones que quedaron en pie, en su último pavimento dejaban los pilares de la edificación con las varillas descubiertas con la posibilidad de construir en un futuro un piso a más, conforme vayan creciendo los ingresos y la familia. A lo largo esto se convierte en un grave error, ya que el clima del cantón de Pedernales es húmedo y

hace que el hierro o las varillas se corroan, dejando frágil a la estructura y reduciendo su resistencia, por ese motivo es aconsejable no modificar la construcción como fue proyectado desde su concepción. Inclusive al aumentar un piso se está aumentando el peso de la estructura, por ende, aumenta la carga que va a ser transferida hacia las fundaciones dando como resultado una falla en la estructura, además cabe resalta que cuando aumenta el peso de la estructura aumenta la fuerza de inercia.

Los formularios, cuestionarios y entrevistas levantadas tuvieron como objetivo rescatar demandas de los usuarios que son de gran importancia en el proyecto arquitectónico, tales como las dificultades de las personas que tenían al evacuar de la vivienda en caso de sismo. Como se presentó en las imágenes muestra el colapso de las escaleras, y que comúnmente sucedió en varias edificaciones y que por lo general esto no debe suceder ya que es un elemento importante de circulación en situaciones de abalo sísmico y que deben estar colocadas próximas a las salidas de la vivienda para dar facilidad al evacuar. Otro dato importante que se logró rescatar de las entrevistas a los moradores fue que gran parte construyó su vivienda conforme la familia iba creciendo, por lo tanto, para evitar un peso excesivo a la estructura se propone un módulo habitacional unifamiliar con la opción de ampliar un cuarto a más en el pavimento térreo así se evita un peso excesivo de la estructura.

Con el estudio de tecnologías y materiales constructivos se optó por un material que pueda ser accesible para la población y en zonas donde se presentan abalos sísmicos, además de ello, que pueda ser utilizado en autoconstrucción. El sistema constructivo seleccionado fue *Steel Framing*, que permite una gran versatilidad en cuanto a su uso, además de ser un material económico en relación al sistema convencional. Sobre todo, por ser un sistema de acero galvanizado en frío presenta gran rigidez proporcionando una mayor estabilidad a la estructura sobre los esfuerzos cortantes o longitudinales ocasionadas por el sismo. Por otra parte da la posibilidad de trabajar sobre modulación lo cual evitará desperdicios y lo más importante los perfiles transportan proporcional y equitativamente las cargas.

Por tal motivo se diseñó las viviendas unifamiliares con una malla,

formando una cuadrícula con separación de 40cm de perfil a perfil. Con esta modulación obtendremos una mayor economía ya que los paneles o los montantes serán padronizada, más allá de eso se reducirá mano de obra porque los perfiles de fábrica llegan de seis metros. A partir de esa modulación se organizan los espacios de forma que se inserten los principios sísmicos en la construcción tales como: simetría tanto en planta como en volumetría, plantas poco alargadas, armonía en sus elementos no estructurales como ventanas y puertas para unificar las fuerzas en los perfiles, formas regulares, congruencia entre diseño arquitectónico y construcción.

Al tratarse del diseño arquitectónico de un módulo habitacional o un prototipo, se seleccionó el número promedio de personas por vivienda de acuerdo al INEC 2010 del cantón de Pedernales, provincia de Manabí, y en total fueron levantadas 5 personas por hogar. Hay que resaltar que el módulo habitacional es apenas uno de varios modelos que pueden existir para ser implantados en zonas de abalos sísmicos, sin embargo, se realizó tres alternativas distintas, que pueden surgir a partir de la forma regular y de la desconstrucción del cubo. Dentro de estas posibilidades se construyó una planta en Presente y Futuro el cual dará la posibilidad de aumentar un cuarto en el caso de una futura ampliación.

Finalmente se realizó un análisis sísmico con el software SAP 2000, en donde se diseñó la estructura con los perfiles de acero en frío de un prototipo de módulo habitacional con el fin de comprobar su resistencia ante un sismo a través de simulaciones que el software las realizaba. En la primera prueba se hizo un simulacro con dimensionamiento de perfiles de 100x 35x12x1.25, el cual el programa por medio de la paleta de colores determino un mal dimensionamiento de la estructura colocando como límite ese perfil. Por lo tanto, se cambiaron las medidas de los perfiles a 150x40x15x2 inicialmente en sus montantes, que son los que distribuyen adecuadamente las cargas. Con este valor el análisis sísmico fue satisfactorio y con eso se afirma que en una zona donde se presentan movimientos sísmicos lo más adecuado es la utilización de un perfil con un dimensionamiento de 150x40x15x2 como mínimo. Si la vivienda se encontrará en otro lugar sin estos fenómenos naturales la estructura trabajaría sin ningún problema con un perfil de 100x 35x12x1.25.

Y finalmente para la elaboración de un proyecto arquitectónico es de gran importancia la presencia de ambos profesionales, tanto de arquitectura como de ingeniería, incluso desde su concepción, ya que siempre existen modificaciones en el proyecto arquitectónico las cuales el ingeniero a partir de sus conocimientos debe intervenir en el mismo.

## 11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### 11.1 Específica

AWAD, Roberto. **Análisis y diseño sísmico de edificios**. 2. ed. Medellín-Colombia: Fondo Editorial Universidad EAFIT, 2012. Disponible en: <<https://www.scribd.com/doc/167560927/Analisis-y-diseno-sismico-de-edificios-nodrm-pdf>>. Acceso en: 18 octubre de 2016, 09H00.

BAZÁN, Enrique; MELI, Roberto. **Diseño Sísmico de Edificios**. 1. ed. México: Limusa, 2013. Disponible en pdf: <[http://es.slideshare.net/philip\\_c/diseo-ssmico-de-edificios-meli](http://es.slideshare.net/philip_c/diseo-ssmico-de-edificios-meli)>. Acceso en: 24 Octubre de 2016, 22h15.

CARVALHO, Ana Florencia. Metodología de Trabalho Científico: **planejamento, estrutura e apresentação de trabalhos científicos segundo as normas da ABNT**. Belo Horizonte. [s.n.]. 06 febrero de 2009. Disponible en: <<http://www.iceg.pucminas.br/apostmetodcientcontabfev2009.pdf>>. Acceso en: 08 septiembre de 2016, 20h00.

CERVO, Amado Luiz; BERVIAN, Pedro Alcino. **Metodología científica**. 5. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

CHING, Francis. **Técnicas de construção ilustradas**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

DIEZ, Gloria. **Projeto Estrutural na Arquitetura**. 1. ed. Porto Alegre: Coedição Masquatro Editora Ltda. e Nobuko S.A, 2012.

ENGEL, Heino. **Sistema de estructuras**. 3. ed. Barcelona-España: Editorial Gustavo Gili, S.A, 2001. Disponible en: <<https://drive.google.com/file/d/0B7mgXcwfkK2tDbWVrTnZkcExxaFU/view>> . Acceso en: 24 de octubre 2016, 15h30.

FACHIN, Odilia. **Fundamentos da metodologia**. 5. ed. São Paulo: Saraiva, 2006. Disponible en pdf: <<https://www.scribd.com/doc/134301195/FACHIN-Odilia-fundamentos-de-Metodologia>>. Acceso en: 10 septiembre de 2016, 21h00.

FREIRE, Wesley; BERALDO, Antonio. **Tecnologias e Materiais Alternativos de construção**. 2. ed. São Paulo: Editora da UNICAMP, 2013.

GARCÍA, Jorge Raúl. **Construir como projeto. Uma introdução à Materialidade Arquitetônica**. 1. ed. [S.l]: Coedição Masquatro Editora Ltda. e Nobuko S.A, 2012. p. 17-26.

ILAFSA, **Steel Framing: Arquitectura**. Santiago de Chile: [s.n.]. 2007. Disponible en pdf: <[https://www.alacero.org/sites/default/files/u16/steel\\_framing\\_arquitectura.pdf](https://www.alacero.org/sites/default/files/u16/steel_framing_arquitectura.pdf)>. Acceso en 20 mayo de 2017, 18h00.

ILAFA, **Manual de Ingeniería de Steel Framing**. Santiago de Chile: [s.n.]. 2007. Disponible en pdf: <<http://sf2217758f40e4116.jimcontent.com/download/version/1414147783/module/6649778554/name/Manual%20de%20Ingenieria%20con%20ISBN.pdf>>. Acceso en 20 mayo de 2017, 18h30.

MASCARÓ, Juan. **O Custo das decisões Arquitetônicas**. 5. ed. Porto Alegre: Masquatro editora, 2010.

MARCONI, Marina; LAKATOS, Eva. **Fundamentos de Metodología Científica**. 5. ed. São Paulo: Editora Atlas S.A, 2003. Disponible en: <[http://docente.ifrn.edu.br/olivianeta/disciplinas/copy\\_of\\_historia-i/historia-ii/china-e-india](http://docente.ifrn.edu.br/olivianeta/disciplinas/copy_of_historia-i/historia-ii/china-e-india)>. Acceso en 09 septiembre de 2016, 12h00.

NAVA, Alejandro. **Terremotos**. 4. ed. México D.F: EPSA, 2002.

REBELLO, Yopanam. **A concepção Estrutural e a Arquitetura**. 8. ed. São Paulo: Zigurate Editora, 2000.

RIVADENEIRA, Francisco. et al. **Breves Fundamentos sobre los terremotos en el Ecuador**. Serie: 1 Riesgo Sísmico en Ecuador, Quito-Ecuador, Corporación Editora Nacional, noviembre, 2007. Disponible en pdf: <<http://www.igepn.edu.ec/publicaciones-para-la-comunidad/35-breves-fundamentos-sobre-los-terremotos-en-el-ecuador/file.>> Acceso en: 10 Septiembre 2016, 17h30.

SALVADORI, Mario. **Por Que os Edifícios Ficam de Pé**. 2. ed. São Paulo: Editora WNF Martins Fontes, 2011.

## 11.2 General

ABREU, Dayra. COURET, Diana. **Progresividad y flexibilidad en la vivienda. Enfoques teóricos**. La Habana. Abril 2013. Disponible en: <[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1815-58982013000100003](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-58982013000100003)>. Acceso en: 28 noviembre de 2016, 00:15.

AECwen. **Concreto armado é solução durável e econômica**. 200? Disponible en: [http://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/concreto-armado-e-solucao-duravel-e-economica\\_6993\\_0\\_1](http://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/concreto-armado-e-solucao-duravel-e-economica_6993_0_1). Acceso en: 14 septiembre de 2016, 13H00.

AGUIAR, Roberto. **Análisis sísmico de edificios**, 1.ed. Quito-Ecuador: Edita Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército. Abril 2008. Disponible en: <<http://www.espe.edu.ec/portal/files/libros/ANALISSISMICODEEDIFICIOS.pdf>>. Acceso en: 10 septiembre 2016, 18h30.

ARMAS, Yhomira. **Tecnología de los materiales**. 2010. Disponible en: <http://uaptec.blogspot.com.br/2014/09/capitulo-i-propiedades-generales-de>

los.htmlhttp://uaptec.blogspot.com.br/2014/09/capitulo-i-propiedades-generales-de-los.html>. Acceso en: 12 noviembre de 2016, 18h00.

ASTROCIENCIAS ECUADOR. **Principales Terremotos en Ecuador (Historia)**. 21 de abril 2016. Disponible en: <<http://astrocienciasecu.blogspot.com.br/2016/04/principales-terremotos-en-el-ecuador.html>>. Acceso: 11 septiembre de 2016, 01h30.

BASULTO, David. **Torre Titanium/Senaq**. 7 enero de 2010. Disponible en: <<http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/729750/torre-titanium-slash-senaq>> Acceso en: 12 noviembre de 2016, 23H45.

BBC MUNDO, **Terremoto de magnitud 7,8 en la zona costera de Ecuador deja más de 600 muertos**. 20 abril de 2016. Disponible en: <[http://www.bbc.com/mundo/noticias/2016/04/160416\\_ecuador\\_terremoto\\_magnitud\\_colombia\\_peru\\_bm](http://www.bbc.com/mundo/noticias/2016/04/160416_ecuador_terremoto_magnitud_colombia_peru_bm)>. Acceso en: 02 diciembre de 2016, 18H00.

BOZZO, Luis; BARBAT, Alex. **Diseño sismoresistente de Edificios: Técnicas convencionales y avanzadas**. Barcelona: Editorial Reverté, 2004. Disponible en pdf: <<https://stehven.files.wordpress.com/2015/06/disec3b1o-sismorresistente-de-edificios-escrito-por-luis-m-bozzo-rotondo-alex-h-barbat.pdf>>. Acceso en: 12 Noviembre de 2016, 17h20.

CHILE, **Norma Chilena de Construcción 1537**, de 19 de mayo de 1986. Disponible en pdf: <<https://www.scribd.com/doc/36077169/Nch1537-Of2009-V2>>. Acceso en: 20 de octubre 2016, 12h00.

CHUNGA, Kervin. et.al. **Estimación de máximos niveles de sismicidad para el Litoral Ecuatoriano a través de la integración de datos geológicos y sismotectónicos**. [S.l.: s.n.]. Disponible en: <<http://www.ipgh.gob.ec/portal/images/imagenes/noticias/pdfs/Estimaci%C3%B3n%20de%20m%C3%A1ximos%20niveles%20de%20sismicidad.pdf>>. Acceso en: 10 septiembre 2016, 18h00.

CAPITEL, Antón. **La Mediateca de Sendai, Toyo Ito**, Cuaderno de Proyectos Arquitectónicos.2008. Disponible en: <[http://polired.upm.es/index.php/proyectos\\_arquitectonicos/article/viewFile/136/499](http://polired.upm.es/index.php/proyectos_arquitectonicos/article/viewFile/136/499)>. Acceso en: 08 noviembre de 2016, 17h00.

CATÁLOGO DISEÑO, **Catedral de cartón abierta al público de Shigeru-Ban**. 07 agosto de 2013. Disponible en: <<http://www.catalogodisenio.com/2013/08/07/catedral-de-carton-abierta-al-publico/>>. Acceso en: 10 noviembre de 2016, 17h00.

COLOMBIA, **Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NRS-10**, . [S.l.: s.n.]. 1997. Disponible en: <<http://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/2titulo-b-nsr-100.pdf> >. Acceso en: 23 octubre de 2016, 23h30.

ECUADOR, **Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-SE-DS**. [S.l.: s.n.]. 2015. Disponible en: <<http://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/08/NEC-SE-DS.pdf>>. Acceso en: 25 de octubre de 2016, 11h00.

EL TELEGRAFO. **El Terremoto afectó a 24.013 edificaciones**. 18 mayo de 2016. Disponible en: <<http://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/ecuador/3/el-terremoto-afecto-a-24-013-edificaciones>>. Acceso en 17 septiembre de 2016, 21H00.

ENGENHARIA E CONSTRUÇÃO, **Media Center de Sendai-Toyo Ito**. 20 Marzo de 2013. Disponible en: <<http://www.engenhariaeconstrucao.com/2013/03/media-center-de-sendai-proyecto-de-toyo.html>>. Acceso en: 02h00.

ESTABILIDAD II. **Cargas Dinámicas y Fatiga**. [S.l.: s.n.]. 2010. Disponible en: <[http://ing.unne.edu.ar/mecap/Apuntes/Estabilidad\\_2/Cap11-Dinam.pdf](http://ing.unne.edu.ar/mecap/Apuntes/Estabilidad_2/Cap11-Dinam.pdf)>. Acceso en: 24 octubre 2016, 19H15.

FRANCO, José. **Shigeru Ban completa su catedral de cartón en Christchurch, Nueva Zelanda**. 09 agosto de 2013. Disponible en: <<http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-284495/shigeru-ban-completa-su-catedral-de-carton-en-christchurch-nueva-zelanda>>. Acceso en: 10 Noviembre de 2016, 17h30.

GARCACÍA, Miguel. Tecnología sismoresistente para construcciones en madera. **Revista LIGNUM**, Chile, N°143, septiembre-octubre, 2013. Disponible en: <<http://www.lignum.cl/wp-content/uploads/sites/6/2013/12/LIGNUM-143-DIGITAL.pdf>>. Acceso en: 5 diciembre de 2016, 17H45.

GRANATO, André. **Aspectos tecnológicos da fabricação de elementos estruturais de madeira laminada colada**. 2011. 81p. Trabajo de Conclusión de Curso (Ingeniería Civil)-Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Federal de San Carlos, San Carlos, 2011. Disponible en: <[http://www.deciv.ufscar.br/tcc/wa\\_files/TCC2011-Andre\\_Granato\\_12\\_12\\_2011\\_.pdf](http://www.deciv.ufscar.br/tcc/wa_files/TCC2011-Andre_Granato_12_12_2011_.pdf)>. Acceso en: 01 diciembre de 2016, 04H00.

GUTIÉRREZ, Elvira. Aplicaciones **Estructurales de la Guadua (*Guadua angustifolia Kunth*)**. **PROYECTO DE ESTRUCTURA MODULAR MULIFAMILIAR EN COLOMBIA**. 2011. 264p. Proyecto final de la carrera (Ingeniería de Montes)-Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingeniero de Montes, Madrid, Julio 2011. Disponible en: <[http://oa.upm.es/13719/1/PFC\\_Elvira\\_de\\_Navas\\_Gutierrez.pdf](http://oa.upm.es/13719/1/PFC_Elvira_de_Navas_Gutierrez.pdf)>. Acceso en: 5 diciembre de 2016, 23H00.

HERNANDEZ, José. **Sendai Mediatheque - Mediateca de Sendai, Toyo Ito**. Disponible en: <<http://www.jmhdezdez.com/2012/01/sendai-mediatheque-toyo-ito-mediateca.html>>. Acceso en: 09 noviembre de 2016, 23h00.

INEC, **Fascículo Provincial de Manabí**. [S.l.: s.n.]. 2010. Disponible en: <[http://www.inec.gob.ec/cpv/descargables/fasciculos\\_provinciales/manabi.pdf](http://www.inec.gob.ec/cpv/descargables/fasciculos_provinciales/manabi.pdf)>. Acceso en: 03 diciembre de 2016, 11H00.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA Y CENSO. **Anuario de edificaciones** 2014. [S.l.: s.n.]. Disponible en: [http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_Economicas/Encuesta\\_Edificaciones/2014/Edificaciones2014\\_Presen.pdf](http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Encuesta_Edificaciones/2014/Edificaciones2014_Presen.pdf). Acceso en: 17 de septiembre de 2016, 14h00.

INSTITUTO OCEANOGRAFICO DE LA ARMADA INOCAR, **Ministerio de Defensa Nacional**, ¿Qué son los tsunamis?, Eventos en el Ecuador. [S.l.: s.n.]. Disponible en: <http://www.inocar.mil.ec/web/index.php/que-son-los-tsunamis/73-eventos-en-el-ecuador>. Acceso en: 10 septiembre 2016, 20h15.

JACOME, Evelyn. La vulnerabilidad de las construcciones ante un terremoto es alta en Quito. **Diario El comercio**, Quito, 18 abril de 2016. Disponible en: <http://www.elcomercio.com/actualidad/construcciones-terremoto-edificaciones-sismo-municipiodequito.html>. Acceso en: 10 septiembre de 2016, 18h30.

MADERA21, **Prueba sísmica Neeswood Capstone**. 2014. Disponible en: <http://www.cttmadera.cl/2009/09/27/prueba-sismica-neeswood-capstone/http://www.cttmadera.cl/2009/09/27/prueba-sismica-neeswood-capstone/>. Acceso en: 05 diciembre de 2016, 17H45.

MIDUVI. **Programa Nacional de Vivienda Social**. [S.l.: s.n.]. 2016. Disponible en: <http://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/04/PROYECTO-PROGRAMA-NACIONAL-DE-VIVIENDA-SOCIAL-9nov-1.pdf>. Acceso en: 12 septiembre de 2016, 20H00.

MORONI, Ginnia. La resistencia sísmica en el mundo contemporáneo: Reflexión sobre la influencia de las condiciones sísmicas en la arquitectura. **UTOPIATEORIA PRÁXIS**, Santiago de Chile, N°5, p. 60-73, 2014. Disponible en pdf: <http://www.revistas.usach.cl/ojs/index.php/amasc/article/viewFile/1630/1501>. Acceso en: 24 octubre de 2016, 14:50.

NILSON, Arthur. **Diseño de Estructuras de Concreto**. 12. ed. Bogotá-Colombia: editora Emma Ariza H., 2001. Disponible en: [https://www.u-cursos.cl/usuario/037b375d320373e6531ad8e4ad86968c/mi\\_blog/r/1\\_\[Arthur\\_H.\\_Nilson\]\\_Diseno\\_de\\_Estructuras\\_de\\_Concre\(BookZZ.org\).pdf](https://www.u-cursos.cl/usuario/037b375d320373e6531ad8e4ad86968c/mi_blog/r/1_[Arthur_H._Nilson]_Diseno_de_Estructuras_de_Concre(BookZZ.org).pdf) . Acceso en: 24 de octubre 2016, 01h30.

OFICINA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA COORDINACIÓN DE ASUNTOS HUMANITARIOS... **Terremoto en Ecuador, Llamamiento**. [S.l.: s.n.]. 22 de Abril de 2016. Disponible en: <http://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/Ecuador%20Terremoto%20-%20LLamamiento.pdf>. Acceso en: 11 septiembre de 2016, 17h00.

ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. **Fundamentos para la mitigación de desastres en establecimientos de salud**. Serie mitigación de desastres, Washington, 1999. Disponible en: [http://www.hospitalseguro.cl/documentos/libro\\_vulnerabilidad\\_ops.pdf](http://www.hospitalseguro.cl/documentos/libro_vulnerabilidad_ops.pdf) >. Acceso en: 30 noviembre 2016, 18h00.

OROZCO, J; SAINZ, J; CAMINO, M. Problemática habitacional en manta (Ecuador), asentamientos informales y nuevas barriadas formales. En: Construcción con tierra. Pasado, presente y futuro. **Congreso de Arquitectura de tierra en Cuenca de Campos 2012**. Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid. 2013. Disponible en: <<http://www5.uva.es/grupotierra/publicaciones/digital/libro2013/27in-orozco.pdf>>. Acceso en: 17 de septiembre de 2016, 20h00.

ORTIZ, Oscar, **Sismotectónica y peligrosidad sísmica en Ecuador**. Madrid. [s.n.], 2012-2013. Disponible en: <<http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/1221/1/T-SENESCYT-000352.pdf>> . Acceso en: 10 septiembre 2016, 17h20.

PORADA, Barbara. **Catedral de Cartón de Shigeru Ban se construye en Nueva Zelanda**. 18 marzo de 2013. Disponible en: <<http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-244321/catedral-de-carton-de-shigeru-ban-se-construye-en-nueva-zelanda>>. Acceso en: 10 noviembre de 2016, 14h00.

PROGRAMA NACIONAL DE VIVIENDA SOCIAL, **Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda**. [S.l.: s.n.]. Disponible en: <<http://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/04/PROYECTO-PROGRAMA-NACIONAL-DE-VIVIENDA-SOCIAL-9nov-1.pdf>>. Acceso en: 17 de septiembre de 2016, 23h00.

SANCHÉZ JOAQUIN. **Apuntalamientos con bambú**. 22 mayo de 2015 Disponible en: <https://rescateurbanousar.wordpress.com/2015/05/22/apuntalamientos-con-bambu/>. Acceso en: 15 noviembre de 2016, 23H00.

SÁNCHEZ, Stefan. **Planificación y Técnicas para edificaciones sismoresistentes**. 12 octubre de 2012. Disponible en: <<http://sismorresistenciavivinet.blogspot.com.br/>>. Acceso en: 01 diciembre de 2016, 16H00.

SILVA, Mauricio. **El concreto y los Terremotos**. Cartagena de Indias: [s.n.]. 2006. Disponible en: <[http://www.uptc.edu.co/export/sites/default/docentes/oscar\\_gutierrez/descargas/concreto.pdf](http://www.uptc.edu.co/export/sites/default/docentes/oscar_gutierrez/descargas/concreto.pdf)>. Acceso en: 05 diciembre de 2016, 23H45.

SVEIVEN, Megan. **Clásicos de Arquitectura: Mediateca de Sendai/Toyo Ito**. 14 marzo de 2013. Disponible en: <<http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-243658/clasicos-de-arquitectura-mediateca-de-sendai-toyo-ito>>. Acceso en: 09 de noviembre de 2016, 23:00.

VALENCIA, Gabriel. **Acción del viento sobre las estructuras**. 1. ed. Bogotá-Colombia: Unibiblos, 2002. Disponible en: <[https://books.google.com.br/books?id=mds\\_dE6lCUoC&pg=PA40&dq=CARGAS+D+E+VIENTO+EN+EDIFICIOS&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwirz-Gux\\_TPAhWCD5AKHc4UAHUQ6AEIJDAB#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.br/books?id=mds_dE6lCUoC&pg=PA40&dq=CARGAS+D+E+VIENTO+EN+EDIFICIOS&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwirz-Gux_TPAhWCD5AKHc4UAHUQ6AEIJDAB#v=onepage&q&f=false)>. Acceso en: 24 octubre de 2016, 21h15.

VALERO, Hugo. **Terremoto en Ecuador: “Teníamos miedo de que se abriera la tierra”**. 18 abril de 2016. Disponible en: <<http://www.diariolasamericas.com/america-latina/terremoto-ecuador-teniamos-miedo-que-se-abriera-la-tierra-n3756411>>. Acceso en: 02 diciembre de 2016, 18H45.

WEIL, Andrés. **Torre Titanium La Portada**. 200?. Disponible en: <<http://www.arquitecturaenacero.org/proyectos/edificios-en-altura/torre-titanium-la-portada>>. Acceso en: 13 noviembre de 2016, 03H00.

ZEBALLOS, Carlos. **Toyo Ito: Mediateca de Sendai**. 28 mayo de 2008. Disponible en: <<http://moleskinearquitectonico.blogspot.com.br/2008/05/toyo-ito-mediateca-de-sendai.html>>. Acceso en: 09 noviembre de 2016, 23:30.

ZIBELL, Matías. El secreto de los edificios que no se cayeron durante el terremoto de Ecuador. **Diario BBC Mundo**. 23 abril de 2016. Disponible en: <[http://www.bbc.com/mundo/noticias/2016/04/160422\\_ecuador\\_terremoto\\_problemas\\_construcciones\\_arquitectura\\_ab](http://www.bbc.com/mundo/noticias/2016/04/160422_ecuador_terremoto_problemas_construcciones_arquitectura_ab)>. Acceso en: 10 septiembre de 2016, 17h00.



## APÉNDICE A

### ENTREVISTA: ARQUITECTOS E INGENIEROS

Fecha: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

Lugar:

Entrevistado (a):

Esta entrevista semi-estructurada, tiene como objetivo levantar datos, que permitan el desenvolvimiento del trabajo de investigación de graduación, sobre Construcciones en Áreas que Presentan Movimientos Sísmicos. A partir de los datos levantados, se identificará problemas de construcción y se propondrá soluciones con tecnologías constructivas, realizando un módulo habitacional y instrumento de divulgación de resultados que sea de gran utilidad para la población.

1. ¿Existe gran demanda de servicio de Arquitectos e Ingenieros en el país?

SI ( )                      NO ( )

Justifique:

---



---



---

2. ¿Cuál es la mayor demanda de proyectos de arquitectura e ingeniería?

---



---



---

3. ¿Existen muchas construcciones sin proyectos legalizados, y sin el acompañamiento profesional/autoconstrucción en el país?

SI ( )                      NO ( )

Si la respuesta es SI, aborde sobre el tema

- 
- 
- 
4. ¿Hay un dialogo entre arquitecto e Ingeniero a la hora de proyectar un edificio desde su concepción?

- 
- 
- 
5. ¿Qué materiales predominan la construcción en la Región Costa de Ecuador?  
Hormigón ( )    Madera ( )    Bambú ( )    Mampostería ( )

6. ¿Por qué muchas de las viviendas colapsaron en el terremoto del 16 de Abril del 2016 en Ecuador, principalmente en la Región Costa?

- 
- 
- 
7. ¿Se cumplen las Normas de Construcción en Ecuador?

SI ( )                      NO ( )                      A veces ( )

8. ¿Es necesario que exista capacitación para personas, obreros, arquitectos e ingenieros sobre temas de sismo-resistencia?

SI ( )                      NO ( )

9. ¿Los programas de construcción o políticas públicas de vivienda, cumplen con parámetros de construcción sismo-resistentes?

SI ( )                      NO ( )

10. ¿Cuáles son las sugerencias que aportaría como profesional para lograr que la edificación soporte movimientos sísmicos?

---

---

---

---



## APÉNDICE B

### FORMULARIO: ARQUITECTOS E INGENIEROS

Fecha: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

Lugar:

Entrevistado (a):

Esta entrevista semi-estructurada, tiene como objetivo levantar datos, que permitan el desenvolvimiento del trabajo de investigación de graduación, sobre Construcciones en Áreas que Presentan Movimientos Sísmicos. A partir de los datos levantados, se identificará problemas de construcción y se propondrá soluciones con tecnologías constructivas, realizando un módulo habitacional y instrumento de divulgación de resultados que sea de gran utilidad para la población.

1. ¿Cuáles fueron los motivos para que las edificaciones colapsaran en el terremoto del 16 de Abril en Ecuador?

Baja calidad de materiales ( )      Construcción sin ley ( )  
 Auto-construcción ( )      Mucho peso de la estructura ( )  
 Diseño inadecuado ( )      Falta de conocimiento de profesionales ( )

2. ¿Existe conocimiento de diseño sismo-resistente por parte de ingenieros y arquitectos?

SI ( )                      NO ( )

3. ¿De quién es la responsabilidad cuando una edificación colapsa?

Ingeniero ( )                      Arquitecto ( )                      Ambos ( )

4. ¿Existe comunicación desde la concepción del proyecto entre Arquitecto e Ingeniero?

SI ( )                      NO ( )

5. ¿Hay control por parte del Ingeniero o Arquitecto en el cantero de obras?

SI ( )                      NO ( )                      A veces ( )

6. ¿Es estricta La Norma de Construcción Ecuatoriana vigente?

SI ( )                      NO ( )

7. ¿Qué materiales predominan la construcción en la Región Costa de Ecuador?

Hormigón ( )      Madera ( )      Bambú ( )      Mampostería ( )

8. ¿Qué materiales presentan características sismo-resistentes?

Hormigón ( )      Madera ( )      Bambú ( )      Mampostería ( )

9. ¿Los programas de construcción o políticas públicas de vivienda, cumplen con parámetros de construcción sismo-resistentes?

SI ( )                      NO ( )

10. ¿Cuáles son las sugerencias que aportaría como profesional para lograr que la edificación soporte movimientos sísmicos?

---



---



---



---

11. ¿Cuáles son las sugerencias que aportaría como profesional para lograr que la edificación soporte movimientos sísmicos?

---



---



---



---



---



## APÉNDICE C

### FORMULARIO: POBLACIÓN DE MANABÍ

Fecha: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

Lugar:

#### Entrevistado (a):

Esta entrevista semi-estructurada, tiene como objetivo levantar datos, que permitan el desenvolvimiento del trabajo de investigación de graduación, sobre Construcciones en Áreas que Presentan Movimientos Sísmicos. A partir de los datos levantados, se identificará problemas de construcción y se propondrá soluciones con tecnologías constructivas, realizando un módulo habitacional y instrumento de divulgación de resultados que sea de gran utilidad para la población.

1. ¿Cuántos pisos tiene su vivienda?

1( )                      2( )                      3( )                      4 o más ( )

2. ¿Cuántas personas viven en la casa?

1( )                      2( )                      3( )                      4 o más ( )

3. ¿En qué piso están colocadas las habitaciones?

Para un piso:      todo junto ( )

Para dos pisos:    1 piso ( )            2 piso ( )

Para tres pisos:    1 piso ( )            2 piso ( )            3 piso ( )

Para cuatro pisos: 1 piso ( )            2 piso ( )            3 piso ( )            4 pisos ( )

4. ¿De qué material es construida la vivienda?

Hormigón armado ( )    Madera ( )            mampostería ( )

Bambú ( )

5. ¿Ha vivido otros terremotos con la magnitud semejante al terremoto del 16 de Abril del 2016?

SI ( )                      NO ( )

6. ¿Qué tipo de daños sufrió su vivienda en el terremoto del 16 de Abril del 2016?

Leves ( )            Medios ( )            Graves ( )

7. ¿Quién intervino en la construcción de la casa?

Arquitecto ( )    Ingeniero Civil ( )    Obrero ( )    Otro \_\_\_\_\_

8. ¿Cómo fue construida su casa?

De una sola ( )    Por partes ( )

9. ¿Cuáles fueron las reacciones que tomó durante el movimiento sísmico?

Salir de la casa ( )    Quedarse dentro de casa ( )

10. Si, la respuesta de la anterior pregunta fue salir de casa, ¿tuvo inconvenientes en salir por la puerta principal de la casa?

SI ( )    NO ( )

11. ¿Cree que es necesario que los profesionales tengan conocimiento sobre construcciones en áreas donde se presentan movimientos sísmicos?

SI ( )    NO ( )

12. ¿Cree que es necesario el acompañamiento de los profesionales de arquitectura e ingeniería en la construcción de la edificación?

SI ( )    NO ( )

Si la respuesta es SI, apunte en qué etapas cree que sea indispensable el acompañamiento de arquitectos e de ingenieros.

Proyecto arquitectónico ( )

Proyecto estructural ( )

Todos los proyectos ( )

Ejecución de las fundaciones/bases ( )

Ejecución de los cerramientos ( )

Todas las etapas de ejecución ( )

Acompañamiento en las reformas, ampliaciones y mantenimiento ( )



## APÉNDICE D

### FORMULARIO: ALBAÑIL/OBRERO

Fecha: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

Lugar:

**Entrevistado (a):**

Esta entrevista semi-estructurada, tiene como objetivo levantar datos, que permitan el desenvolvimiento del trabajo de investigación de graduación, sobre Construcciones en Áreas que Presentan Movimientos Sísmicos. A partir de los datos levantados, se identificará problemas de construcción y se propondrá soluciones con tecnologías constructivas, realizando un módulo habitacional y instrumento de divulgación de resultados que sea de gran utilidad para la población.

1. ¿Cuántos años de experiencia tiene en la construcción?

1 a 5 ( )

5 a 10 ( )

15 a 20 ( )

2. ¿Existe asistencia técnica por parte de un profesional de arquitectura e ingeniería cuando se está construyendo en una obra?

SI ( )

NO ( )

Si la respuesta es SI, ¿Considera necesario el acompañamiento durante la construcción del profesional de arquitectura o de ingeniería?

3. ¿Qué materiales pueden contrarrestar un sismo?

Hormigón ( )

Madera ( )

Bambú ( )

Mampostería ( )

4. ¿En su opinión cuáles fueron los motivos para que las edificaciones colapsaran en el terremoto del 16 de Abril en Ecuador?

Baja calidad de materiales ( )

Construcción sin ley

( )

Auto-construcción

( )

Mucho peso de la estructura

( )

Diseño inadecuado

( )

Falta de conocimiento de profesionales

( )

Otros \_\_\_\_\_

5. ¿Es necesaria la capacitación para los obreros sobre construcción sismo-resistente?

SI ( )

NO ( )

6. ¿Con qué materiales de construcción tiene mayor contacto?

Hormigón ( ) Madera ( ) Bambú ( ) Mampostería ( )

7. ¿Cree que algunos de los materiales utilizados en las construcciones poseen mayor resistencia a terremotos?

---

---

8. ¿Usted participó de la reconstrucción de alguna edificación destruida en el terremoto del 16 de Abril del 2016?

SI ( )

NO ( )

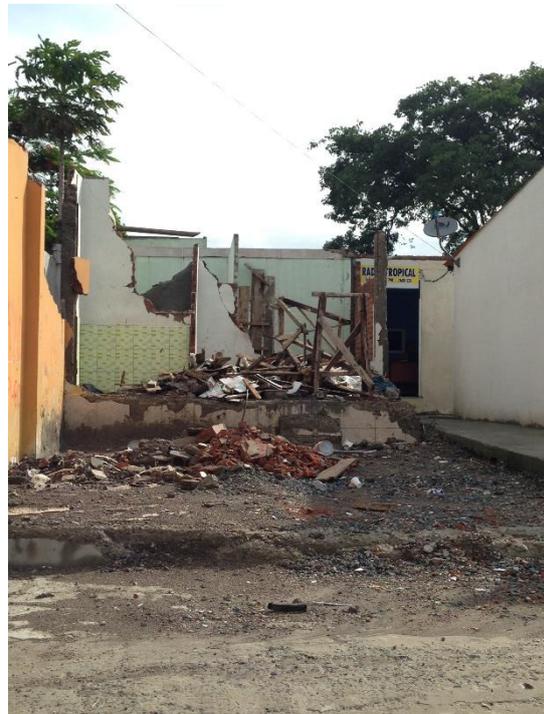
Si la respuesta es SI, Responda si la reconstrucción considero algún cuidado especial para nuevos sismos o fueron reconstruidos de forma tradicional

---

---

## 12. ANEXOS

- Levantamiento Fotográfico











**Arquitectura en área de Movimientos sísmicos**

**Modulación de viviendas unifamiliares**

**Pedernales, Provincia de Manabí-Ecuador**

**Bryan Germán González C.**

**Trabajo de Conclusión de curso - CAU-UNILA**

---

Cartilla realizada como resultado del  
Trabajo de Conclusión de Curso

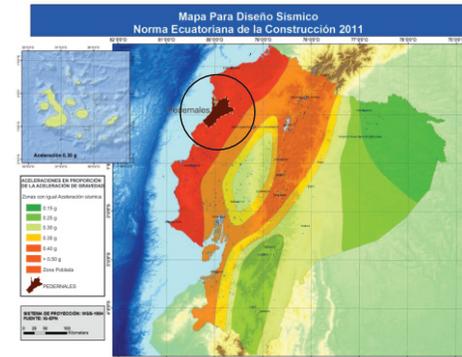
CAU-UNILA

Foz de Iguazú-2017

---

# INTRODUCCIÓN

Zoneamiento sísmico de Ecuador



El mayor índice de sismo se da en el área de color rojo

Fuente: Norma Ecuatoriana de Construcción 2015

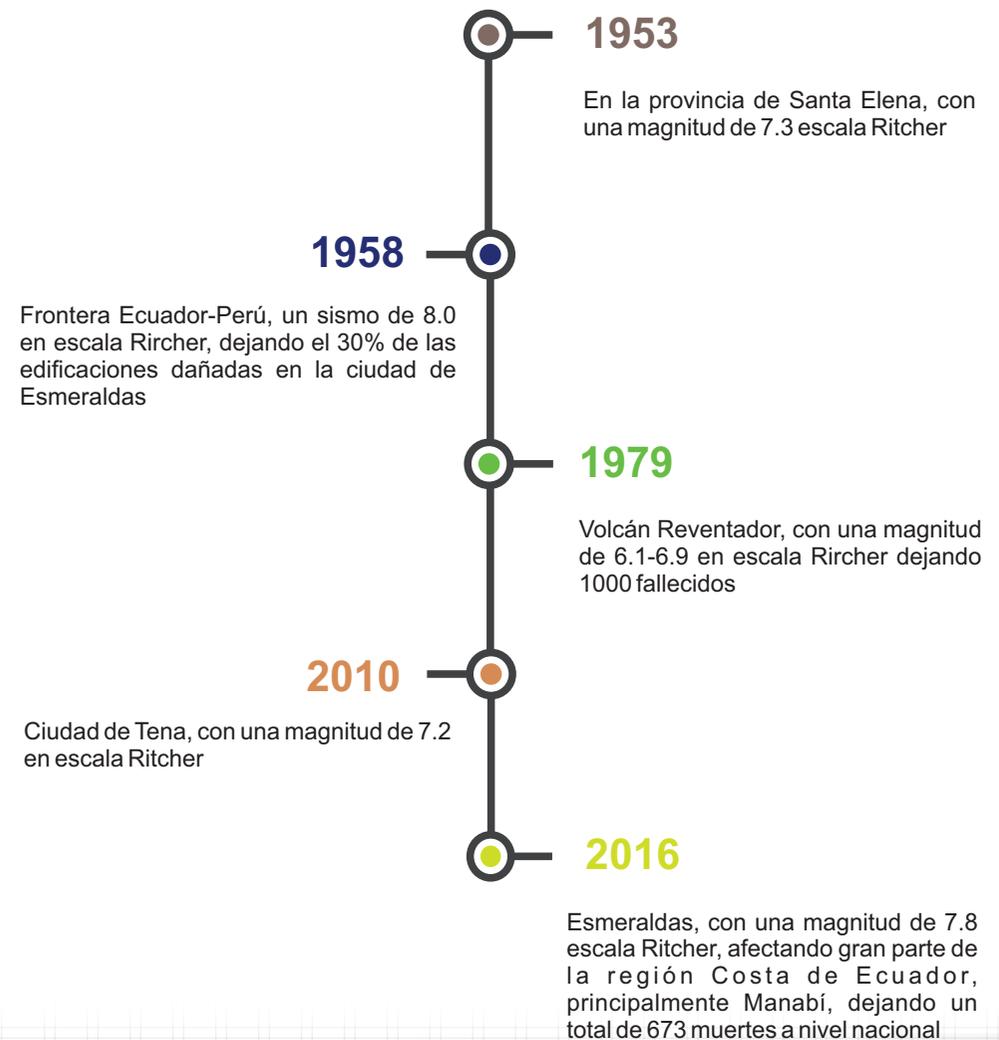
El País de Ecuador es un territorio que está situado en la zona conocida como Cinturón de Fuego, escenario de gran actividad sísmica y volcánica, es decir, se presentan cambios en la superficie de la Tierra, como respuesta a las placas tectónicas. Ecuador se localiza entre la Placa Sudamericana y la Placa Nazca generando un área de subducción, en donde las capas se interponen ocasionando movimientos de la tierra sobre la Región costera.

Los terremotos originados en el País, han producido grandes pérdidas de viviendas, destruyéndolas parcial o totalmente, debido a ciertos factores como: la ubicación de viviendas en zonas no habitables, diseño inadecuado y la mala utilización de materiales. Se estima que en Ecuador desde 1534, han sucedido 37 terremotos de gran magnitud y dentro de su historia se han registrado acerca de 80.000 perdidas humanas. Cada año se producen 2.600 eventos sísmicos de los cuales 300 son de magnitud de 4 grados en escala Richter y por lo general se presencian más en la Región Costa de Ecuador.

A partir de los datos presentados se tiene una preocupación sobre la temática, para verificar las falencias de construcción y proponer soluciones a partir del diseño arquitectónico. Para la propuesta principalmente se analizan los daños ocasionados producidos por los sismos, haciendo un enfoque en el último terremoto ocasionado del 16 de abril del 2016 donde el cantón de Pedernales en la provincia de Manabí-Ecuador, se vio afectado. Con el estudio de materiales y tecnologías constructivas se propone un módulo habitacional unifamiliar que cumpla con parámetros sísmo resistentes y pueda ser adoptado en autoconstrucción.

<sup>1</sup> Datos sacados del libro "Breves fundamentos sobre los terremotos en Ecuador"

## HISTORIA DE MOVIMIENTOS SÍSMICOS EN ECUADOR



## PROBLEMAS CONSTRUCTIVOS MÁS FRECUENTES IDENTIFICADOS EN EL CANTÓN DE PEDERNALES, PROVINCIA DE MANABÍ-ECUADOR

### DIMENSIONAMIENTO ERRADO DE LOS PILARES



Los pilares estaban mal dimensionados, es decir, eran muy delgados y esbeltos para el peso que debía soportar del piso superior.



#### IMPORTANTE:

La Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC 2015), En estructuras de Hormigón Armado, establece en el ítem 4.3, que el dimensionamiento de columnas debe ser de 30cm x 30cm como mínimo, en áreas donde se presentan movimientos sísmicos.

### FALLA EN SUS CERRAMIENTOS



Varias de las edificaciones presentaron daños en las paredes, sin embargo en los pilares y vigas no presentaron daños significantes. En las viviendas que presentaron daños en sus paredes estaban realizadas de mampostería de bloque.

## ESTRIBOS MAL DISTRIBUIDOS

En las viviendas que se logró identificar, existía una inadecuada colocación de estribos y colocadas en diferentes direcciones, es decir, no estaban colocadas homogéneamente, además los estribos no tenían ganchos sísmicos.

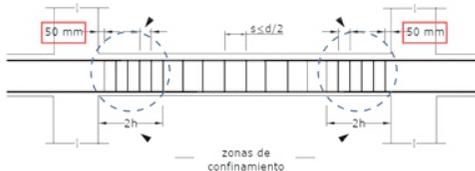


### IMPORTANTE

La Norma Ecuatoriana de Diseño Sismo Resistente, recomienda tener un mayor refuerzo de estribos en las uniones entre columna y viga, ya que estas zonas son críticas cuando se genera un movimiento sísmico. La norma establece que, desde su límite exista una separación de 5cm para garantizar una mayor resistencia y luego distribuir los estribos uniformemente de acuerdo a los cálculos. Además, se debe colocar para pilares y vigas como mínimo barras corrugadas de 8 mm y para los estribos 10 mm, conforme la Norma Ecuatoriana de Construcción en el ítem 3.4.2. colocación del acero de refuerzo.

## DIMENSIONAMIENTO DE ESTRIBOS PARA PILARES Y VIGAS

Dimensionamiento de estribos para vigas  $s \leq \begin{cases} d/4 \\ 6 \times \text{diámetro menor del refuerzo longitudinal} \\ 200 \text{ mm.} \end{cases}$



Dimensionamiento de estribos para pilares



Fuente: Norma Ecuatoriana de Diseño Sismo Resistente, 2014, edición nuestra

## ESTRIBOS MAL DISTRIBUIDOS

El pilar de la edificación de la imagen b, sufrió daños de flambaje, como el caso anterior, los estribos no son colocados adecuadamente. En esta construcción que estaba en su fase de finalización, el pilar no soportó la fuerza de la estructura.

Las escaleras son un elemento importante de una edificación en casos de un sismo, que deben estar diseñadas correctamente para que las personas puedan evacuar con facilidad. Además de eso, es aconsejable que las escaleras estén colocadas próximas a la entrada de la casa.

## ESCALERAS EN COLAPSO



## VARILLAS EXPUESTAS AL CLIMA

Uno de los errores cometidos en la construcción, es que se deja parte de la estructura descubierta a la interperie al clima húmedo que presenta la ciudad. La brisa ocasiona corrosión en las varillas dejando sin las misma resistencia

La edificación debe ser regular tanto en planta como en volumetría para transferir homogéneamente los esfuerzos, además un peso excesivo en la estructura puede generar mayor fuerza de inercia dando más probabilidad de un colapso

## FORMA IRREGULAR



## SOLUCIONES Y PROPUESTA ARQUITECTÓNICA PARA VIVIENDA UNIFAMILIAR SISMO RESISTENTE

### ¿Qué es sismo-resistencia?

Definición del Centro Nacional de Construcción de Colombia

Es la propiedad de una edificación, que a partir de técnicas de diseño en la configuración geométrica y la inserción de sistemas estructurales, sea capaz de resistir esfuerzos producidos por movimientos sísmicos, protegiendo la integridad de las personas.



Para garantizar una vivienda sismo resistente se deben seguir los principios de sismo resistencia

### Principios para lograr una vivienda sismo resistente

Poco peso

Entre más liviana sea la estructura menos será la fuerza que deberá soportar la estructura antes un sismo

Simetría y regularidad en planta como elevación

Forma irregular de la edificación hace con que la estructura sufra torsión. Uniformidad concentra fuerzas en las esquinas

Plantas poco alargadas

Planta poco alargada para que los movimientos de un extremo sean igual a los del otro extremo

Resistencia y rigidez

La resistencia y rigidez debe ser colocada proporcionalmente en la edificación, así el cuerpo se comporta uniformemente.

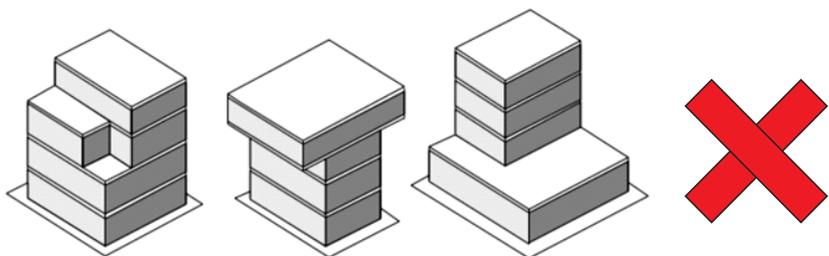
Propiedades dinámicas compatibles con el terreno

Las propiedades de la edificación deben ser congruentes con las del suelo a la cual está cimentada

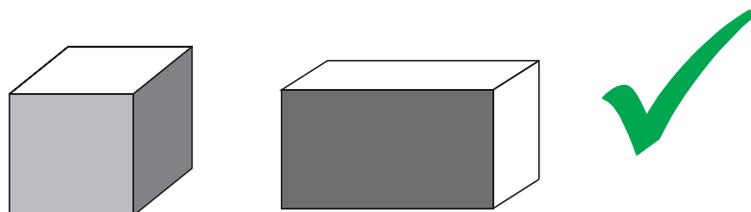
Congruencia entre construcción y diseño

Es aconsejable que la construcción no sufra alteraciones con el tiempo para no aumentar peso en la estructura

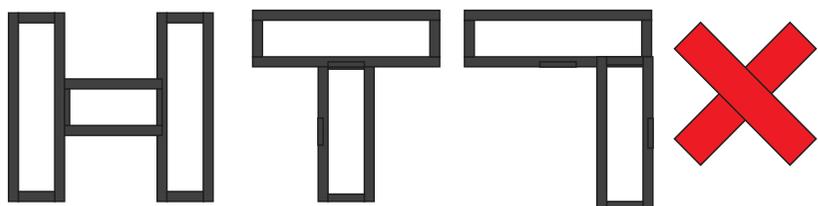
### Formas Irregulares en volumetría



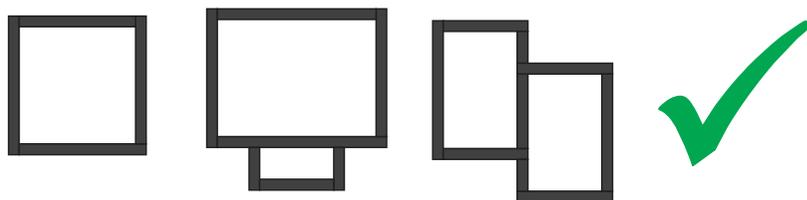
### Formas regulares en volumetría



### Formas Irregulares en planta



### Formas regulares en planta



## TECNOLOGÍA CONSTRUCTIVA PARA VIVIENDAS EN ZONAS SÍSMICAS

### STEEL FRAMING

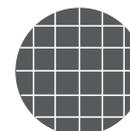
Es un sistema formado a base de perfiles en frío de acero galvanizado que componen los paneles estructurales y no estructurales, vigas, techos, etc.



Es un sistema constructivo liviano, por ende se comporta de manera satisfactoria ante un sismo. Entre menos peso, menos fuerza de inercia tendrá hacia los movimientos cortantes.



En cuanto a flexibilidad, el sistema constructivo se adapta a cualquier tipo de diseño arquitectónico



Es una tecnología constructiva que permite trabajar con modulación, lo cual reducirá costos. Lo recomendable es trabajar sobre una malla de 40cm para distribuir bien las cargas



En cuanto al tiempo de ejecución se reduce en un tercio comparado al sistema convencional, además se puede ejecutar en la misma obra



Es un material que puede ser utilizado en autoconstrucción siempre y cuando exista una capacitación de un profesional



Debido a las características del sistema, permite calcular exactamente la cantidad de material a ser usado evitando desperdicios, a su vez es más económico que el sistema convencional

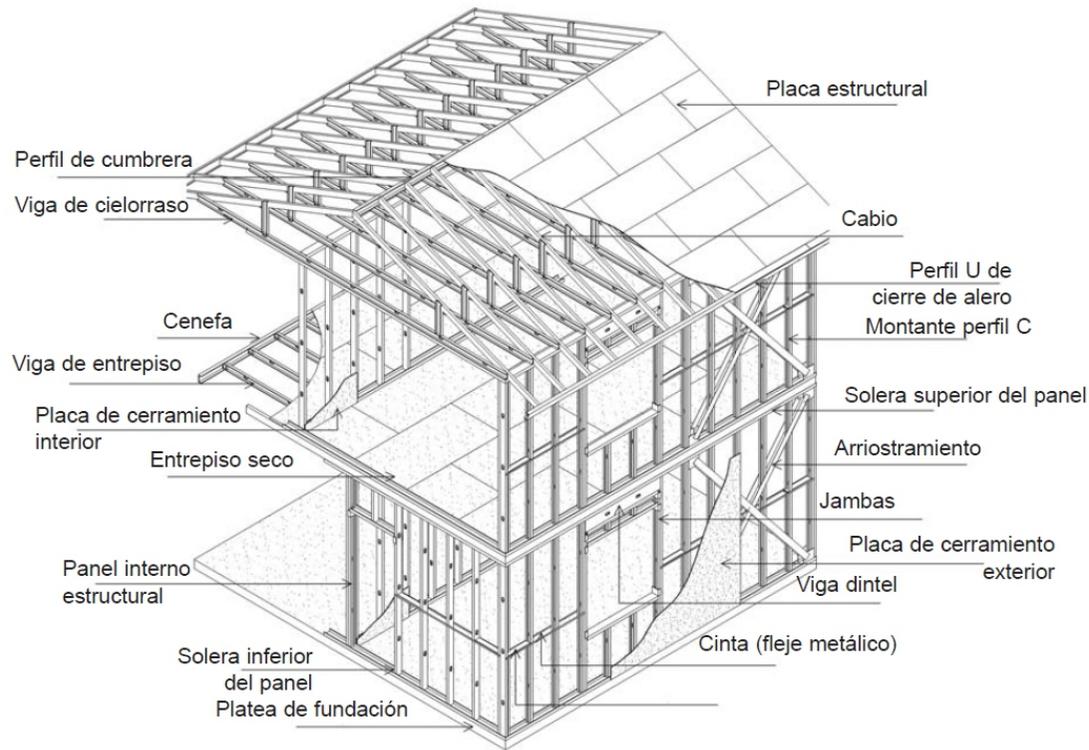


Al ser acero galvanizado en frío resiste a la corrosión y es sumamente resistente y rígido, lo cual es apto para ser utilizado en zonas donde existe movimientos sísmicos



Para zonas sísmicas construir hasta dos pisos. No colocar pesos excesivos en la estructura

## ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS DE STEEL FRAMING



### TIPOS DE PERFILES

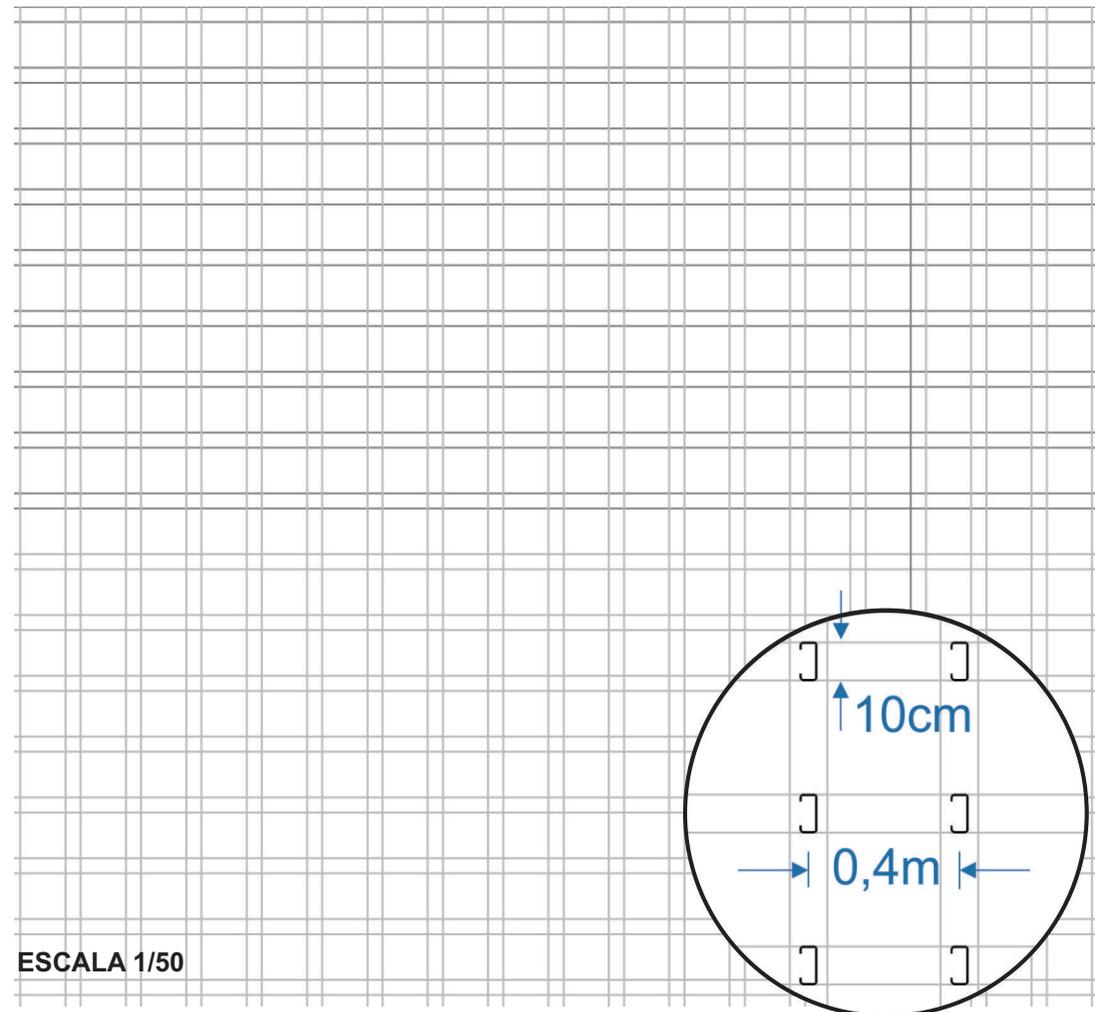
SECCIÓN TRANSVERSAL	DESIGNACIÓN	UTILIZACIÓN	SECCIÓN TRANSVERSAL	DESIGNACIÓN	UTILIZACIÓN
	Perfil U HxBxt	Solera Puntual Bloqueador Cenefa Atiesador		Perfil Galera HxBxDxt	Correa Larguero Puntual
	Perfil C HxBxDxt	Montante Viga Puntual Atiesador Bloqueador Correar Cabello Larguero		Ángulo conector B1xB2xB3	Corredor Atiesador Puntual
				Cinta fleje Bxt	Riostras Tensores Diagonales

## MODULACIÓN DE VIVIENDAS

Para la modulación de viviendas se trabajó sobre una malla cuadrada, con un espaciado de 40 cm desde el eje de cada perfil para conseguir que la estructura distribuya equitativamente las cargas y obtener mayor rigidez, corrigiendo los movimientos laterales producidos por los movimientos del sismo.

**INDICACIÓN: se aconseja diseñar con papel vegetal sobre la malla**

Hay que señalar que los tres prototipos propuestos a continuación, son apenas tres de infinitas soluciones que pueden existir para lograr una vivienda sismo resistente.



ESCALA 1/50

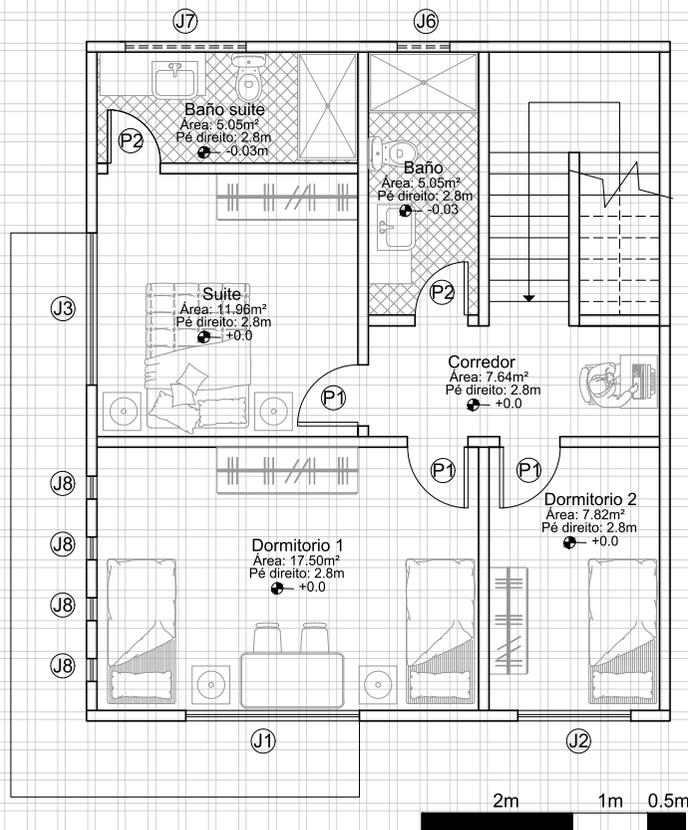
# PRIMER PROTOTIPO DE VIVIENDA UNIFAMILIAR SISMO RESISTENTE

## PRIMER PROTOTIPO / PLANTA EN PRESENTE

1 ANDAR

Escala 1/100

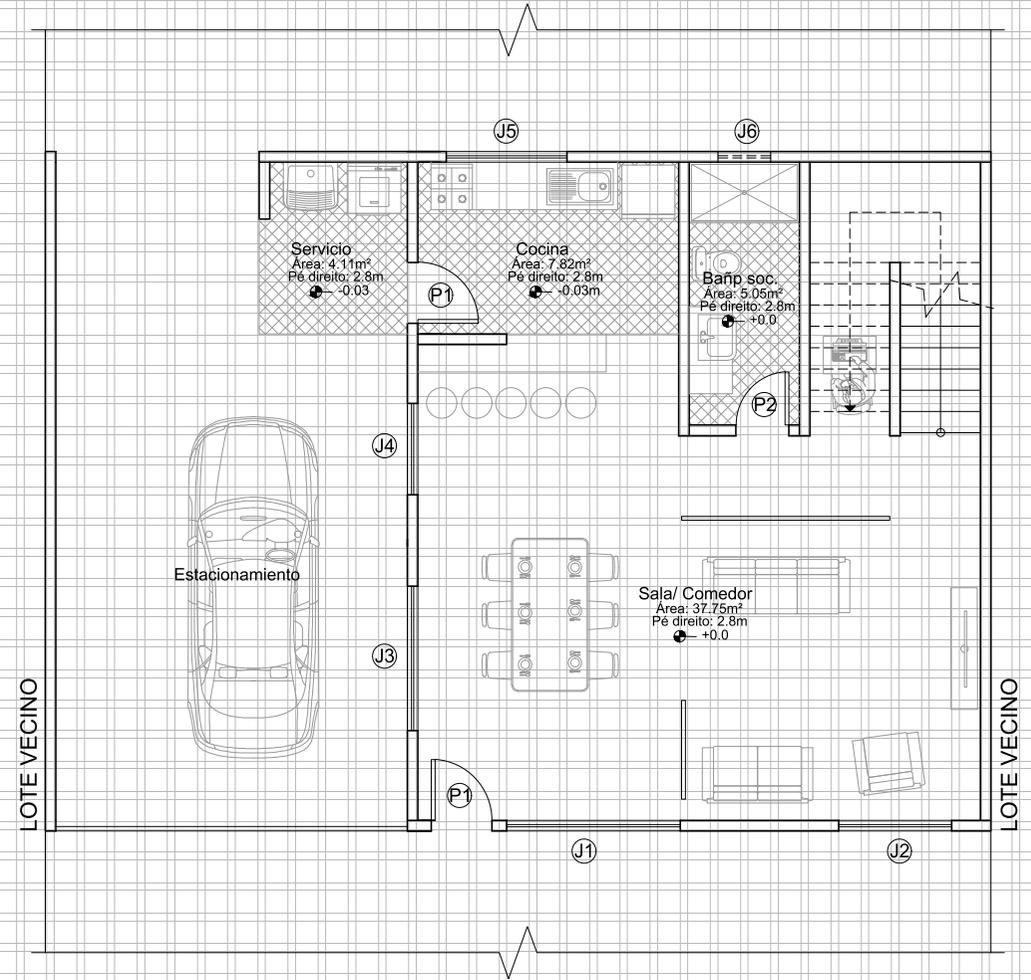
VENTANAS	
Ref.	Dimensiones
J1	1.40m x 2.40m 1.00m
J2	1.40m x 1.60m 1.00m
J3	1.40m x 2.00m 1.00m
J4	1.40m x 1.20m 1.80m
J5	1.40m x 1.60m 1.00m
J6	0.60m x 0.80m 1.80m
J7	0.60m x 1.60m 1.80m
J8	2.00m x 0.40m 0.40m
PUERTAS	
P1	2.00m x 0.80m
P2	2.00m x 0.70m
Obs. todas las paredes tienen un grosor de 0.14m	



## PRIMER PROTOTIPO / PLANTA EN PRESENTE

TÉRREO

Escala 1/100



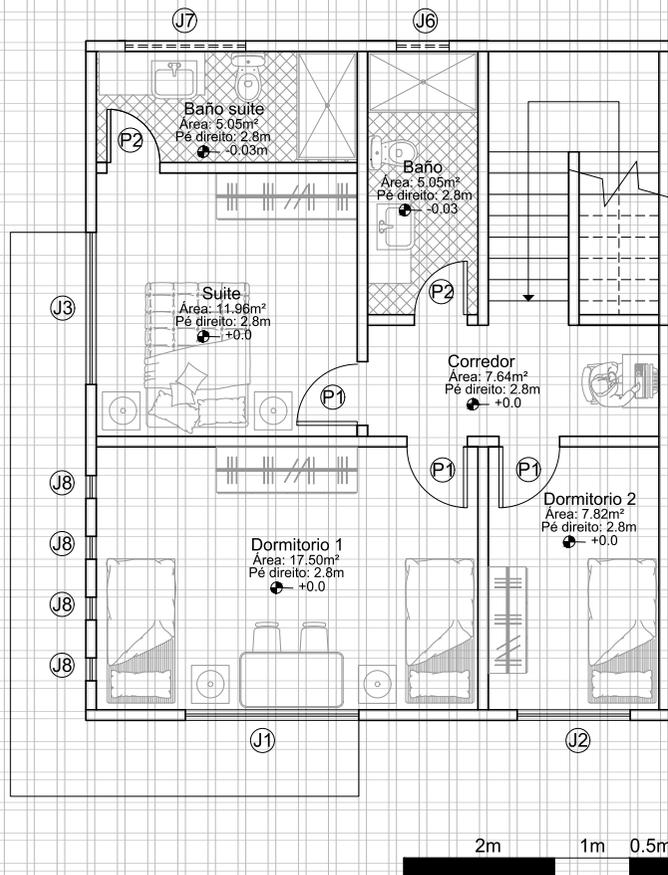
# PRIMER PROTOTIPO DE VIVIENDA UNIFAMILIAR SISMO RESISTENTE

PRIMER PROTOTIPO / PLANTA EN FUTURO

1 ANDAR

Escala 1/100

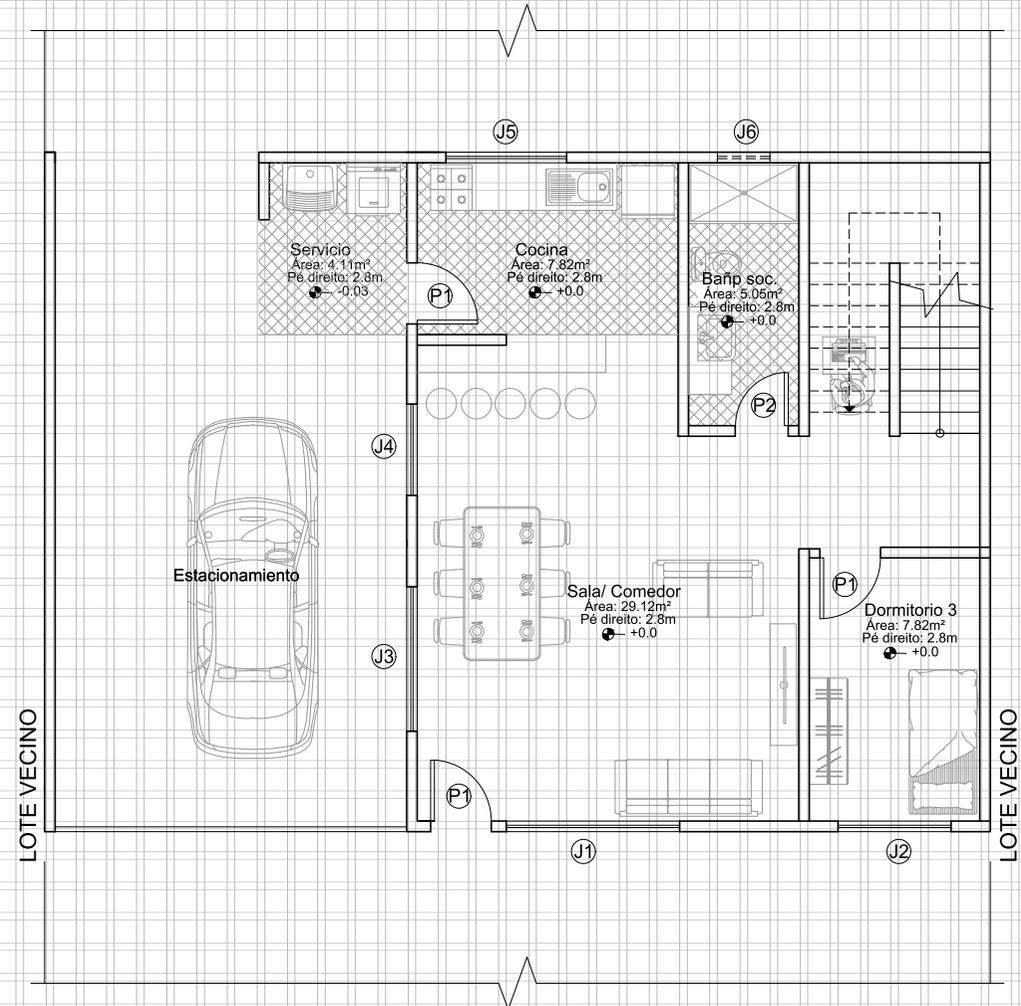
VENTANAS	
Ref.	Dimensiones
J1	1.40m x 2.40m 1.00m
J2	1.40m x 1.60m 1.00m
J3	1.40m x 2.00m 1.00m
J4	1.40m x 1.20m 1.80m
J5	1.40m x 1.60m 1.00m
J6	0.60m x 0.80m 1.80m
J7	0.60m x 1.60m 1.80m
J8	2.00m x 0.40m 0.40m
PUERTAS	
P1	2.00m x 0.80m
P2	2.00m x 0.70m
Obs. todas las paredes tienen un grosor de 0.14m	



PRIMER PROTOTIPO / PLANTA EN FUTURO

TERREO

Escala 1/100



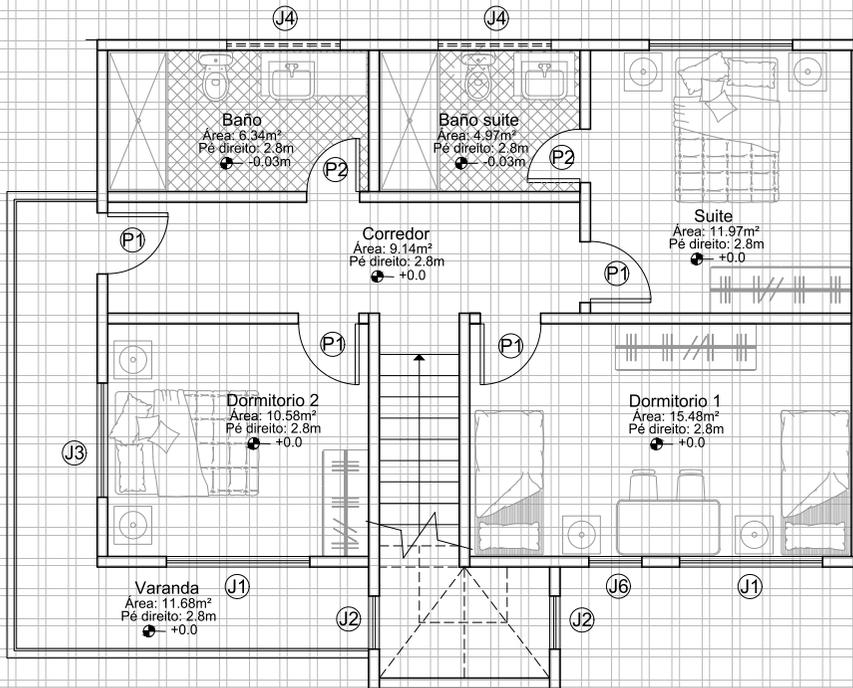
En esta planta se realizó la ampliación de un cuarto en el piso térreo

# SEGUNDO PROTOTIPO DE VIVIENDA UNIFAMILIAR SISMO RESISTENTE

## SEGUNDO PROTOTIPO / PLANTA EN PRESENTE

1 ANDAR

Escala 1/100

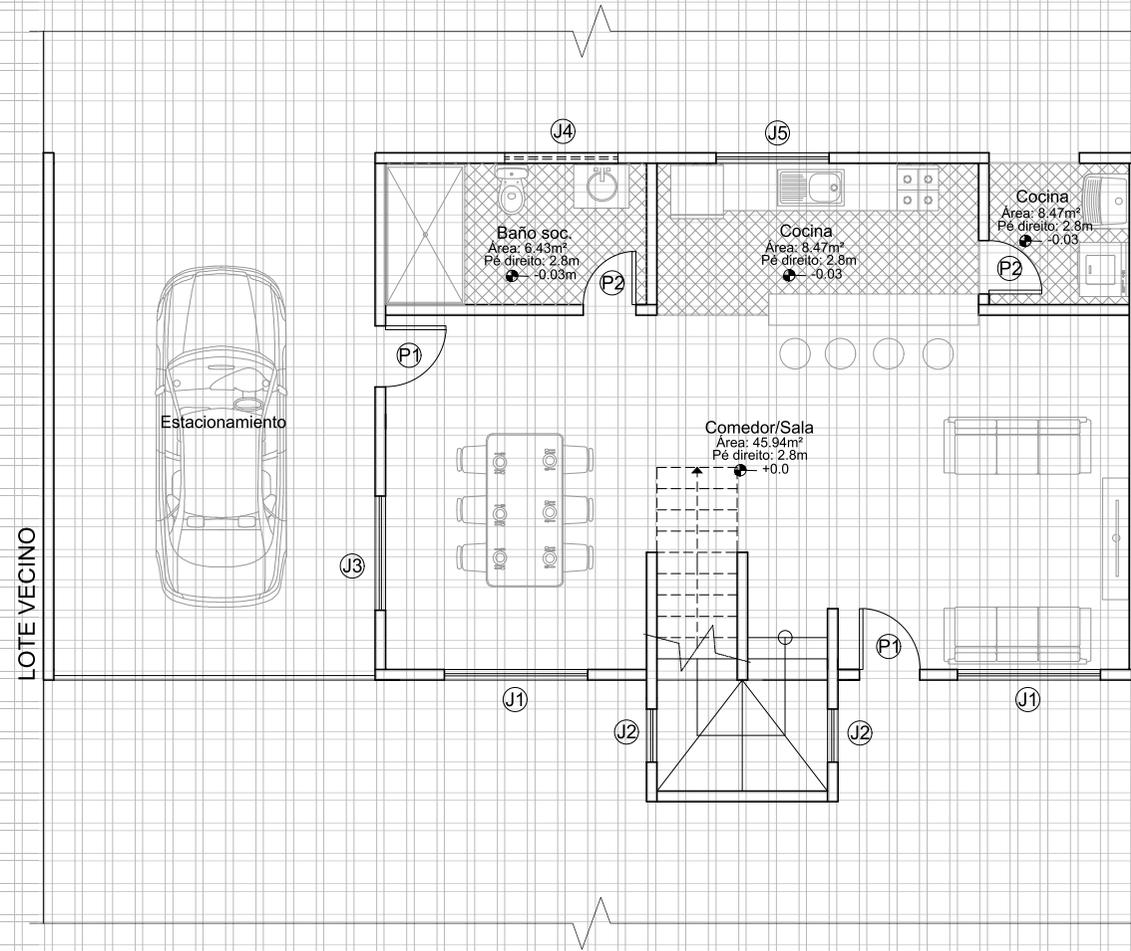


VENTANAS		PUERTAS	
Ref.	Dimensiones		
J1	1.40m x 2.00m 1.00m	P1	2.00m x 0.80m
J2	1.40m x 0.80m 1.00m	P2	2.00m x 0.70m
J3	1.40m x 1.60m 1.00m	Obs. todas las paredes tienen un grosor de 0.14m	
J4	0.60m x 1.60m 1.80m		
J5	1.40m x 1.60m 1.00m		
J6	2.00m x 0.80m 0.40m		

## SEGUNDO PROTOTIPO / PLANTA EN PRESENTE

TÉRREO

Escala 1/100

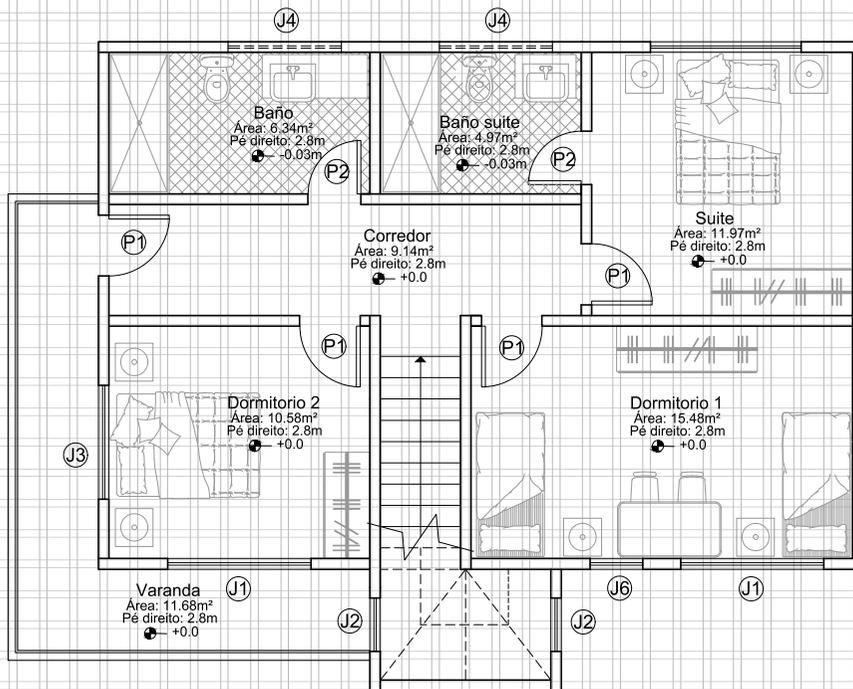


## SEGUNDO PROTOTIPO DE VIVIENDA UNIFAMILIAR SISMO RESISTENTE

### SEGUNDO PROTOTIPO / PLANTA EN FUTURO

1 ANDAR

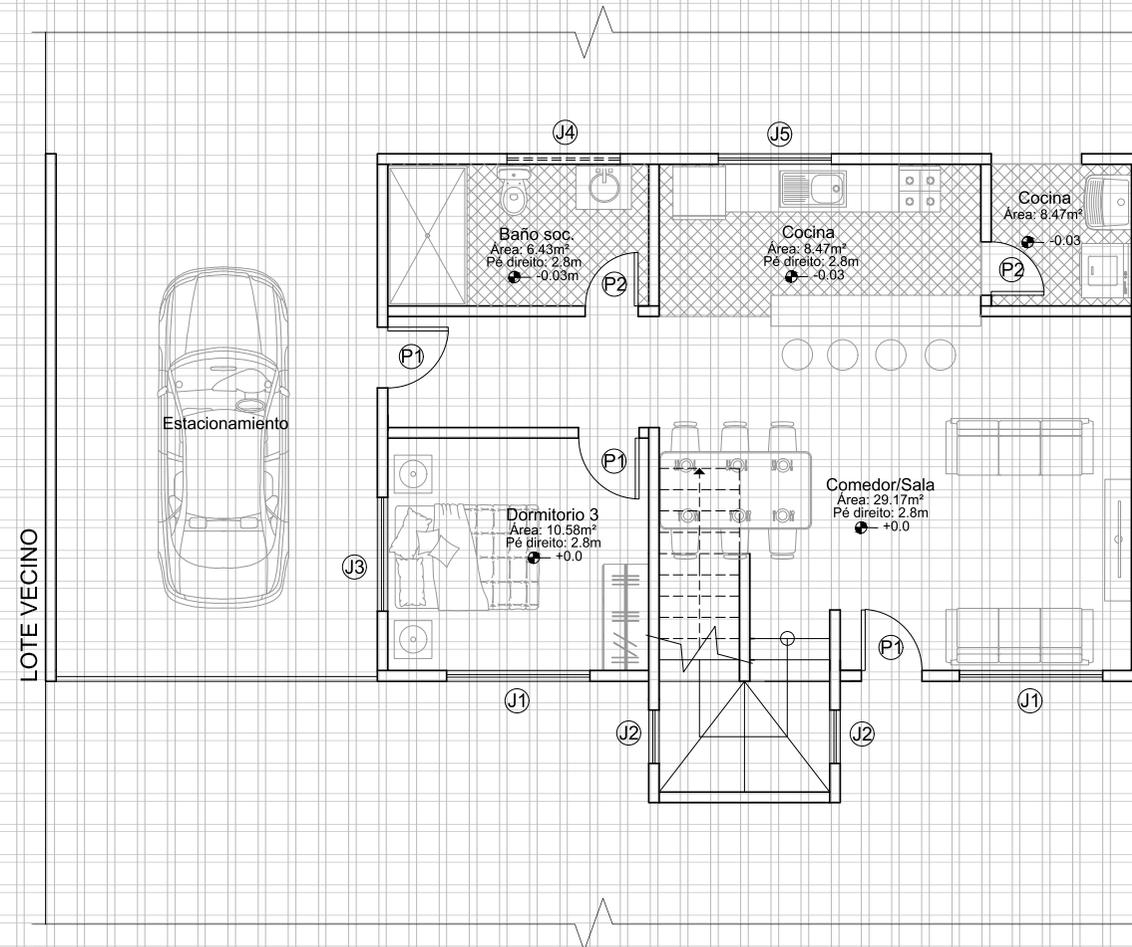
Escala 1/100



### SEGUNDO PROTOTIPO / PLANTA EN FUTURO

TÉRREO

Escala 1/100



VENTANAS		PUERTAS	
Ref.	Dimensiones		
J1	1.40m x 2.00m 1.00m	P1	2.00m x 0.80m
J2	1.40m x 0.80m 1.00m	P2	2.00m x 0.70m
J3	1.40m x 1.60m 1.00m	Obs. todas las paredes tienen un grosor de 0.14m	
J4	0.60m x 1.60m 1.80m		
J5	1.40m x 1.60m 1.00m		
J6	2.00m x 0.80m 0.40m		



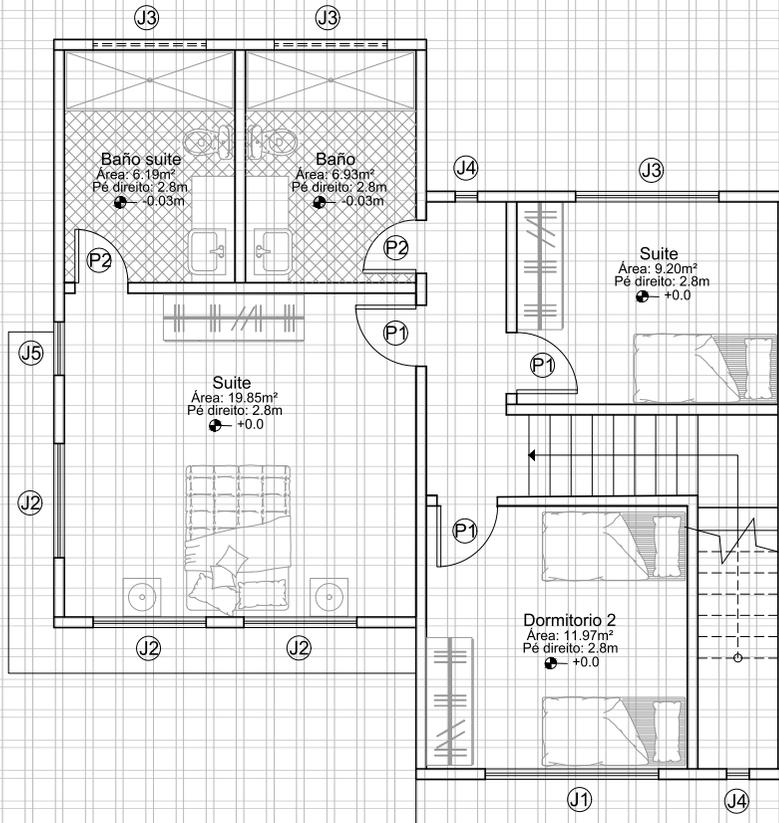
En esta planta se realizó la ampliación de un cuarto en el piso térreo

# TERCER PROTOTIPO DE VIVIENDA UNIFAMILIAR SISMO RESISTENTE

## TERCER PROTOTIPO / PLANTA EN PRESENTE

### TÉRREO

Escala 1/100

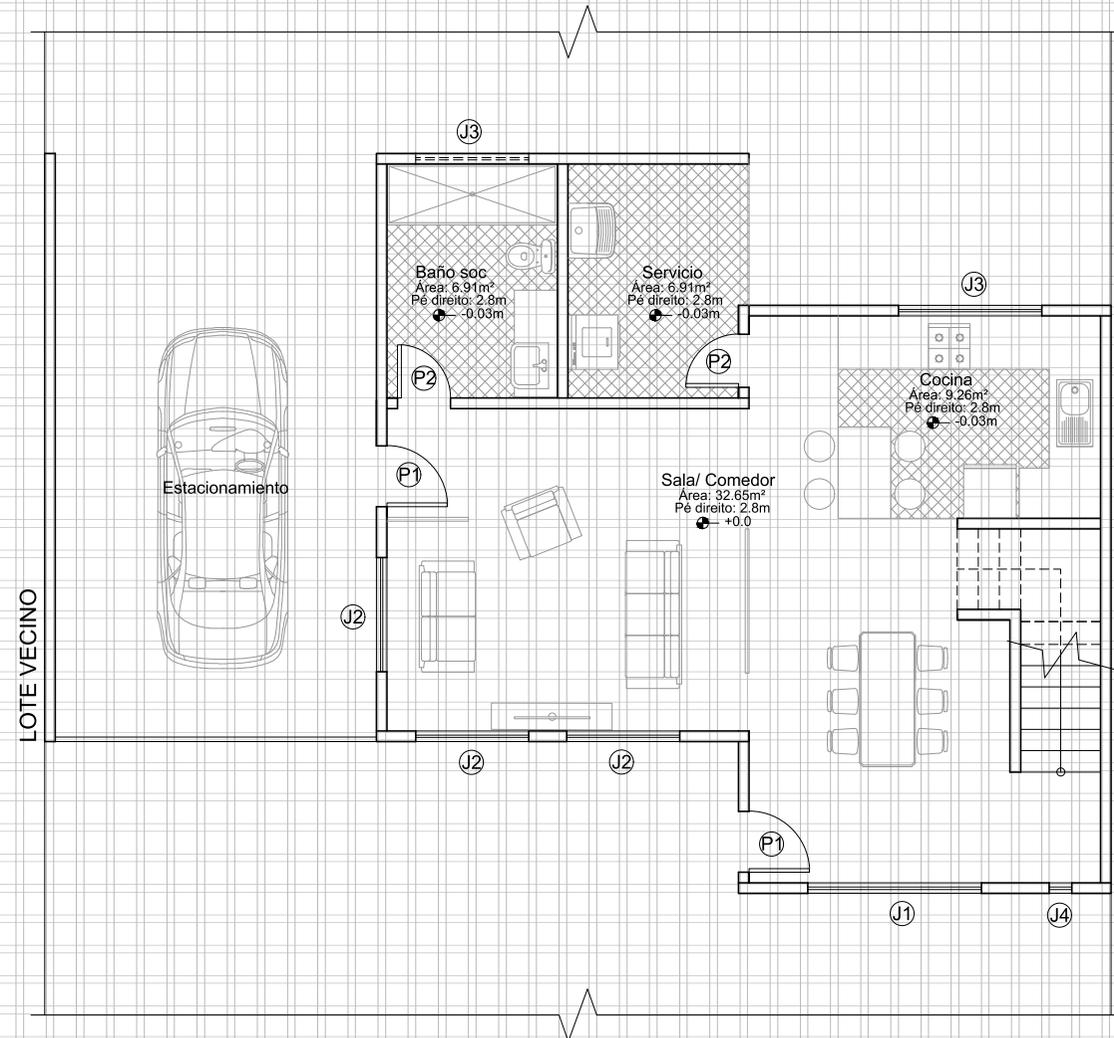


VENTANAS		PUERTAS	
Ref.	Dimensiones	Ref.	Dimensiones
J1	1.40m x 2.40m 1.00m	P1	2.00m x 0.80m
J2	1.40m x 1.60m 1.00m	P2	2.00m x 0.70m
J3	0.60m x 1.60m 1.80m	Obs. todas las paredes tienen un grosor de 0.14m	
J4	0.40m x 2.00m 0.40m		
J4	1.40m x 0.80m 1.00m		

## TERCER PROTOTIPO / PLANTA EN PRESENTE

### 1 ANDAR

Escala 1/100

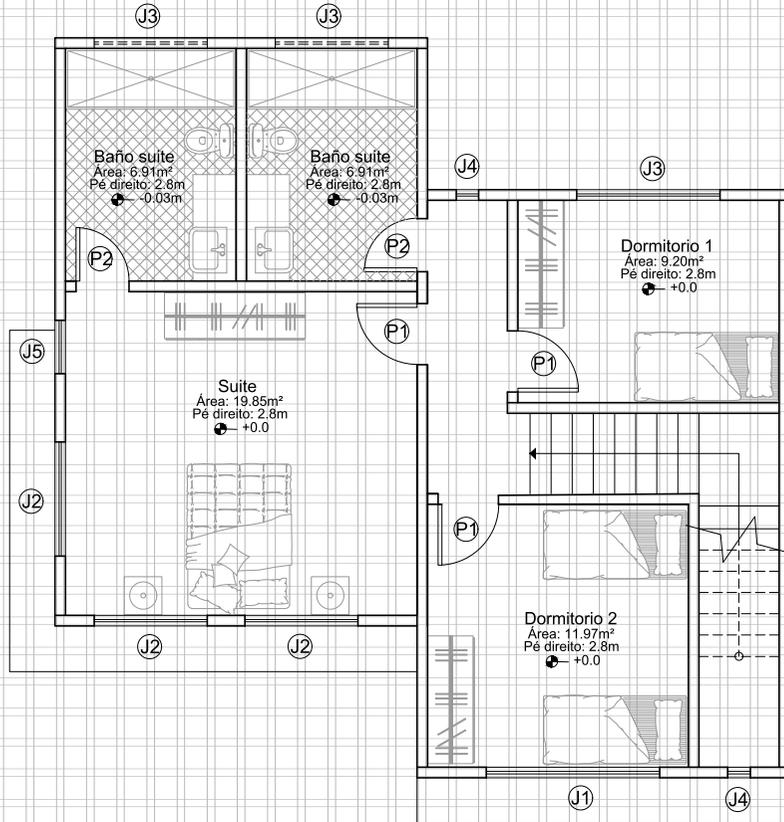


# TERCER PROTOTIPO DE VIVIENDA UNIFAMILIAR SISMO RESISTENTE

## TERCER PROTOTIPO / PLANTA EN FUTURO

1 ANDAR

Escala 1/100

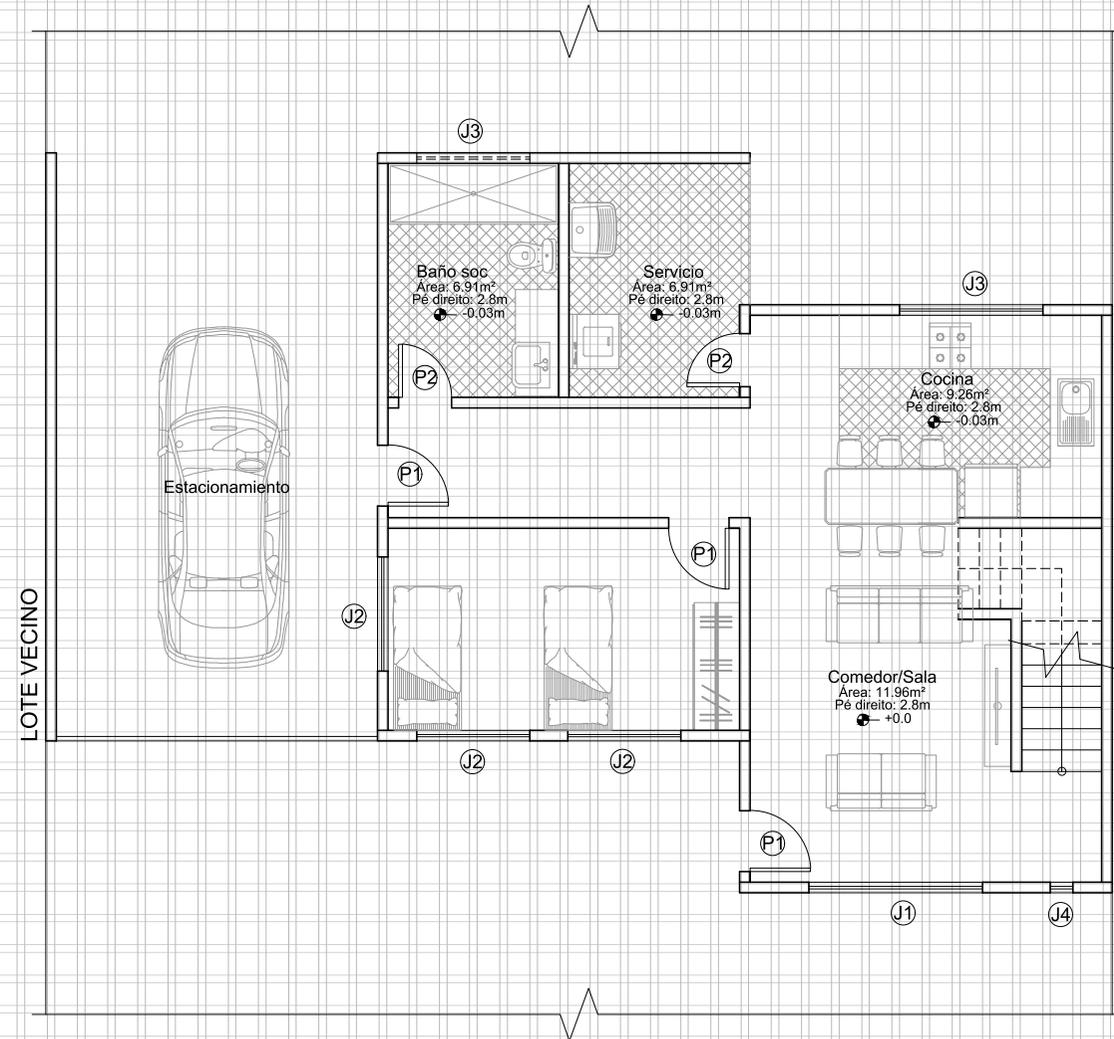


VENTANAS		PUERTAS	
Ref.	Dimensiones	Ref.	Dimensiones
J1	1.40m x 2.40m 1.00m	P1	2.00m x 0.80m
J2	1.40m x 1.60m 1.00m	P2	2.00m x 0.70m
J3	0.60m x 1.60m 1.80m	Obs. todas las paredes tienen un grosor de 0.14m	
J4	0.40m x 2.00m 0.40m		
J4	1.40m x 0.80m 1.00m		

## TERCER PROTOTIPO / PLANTA EN FUTURO

1 ANDAR

Escala 1/100

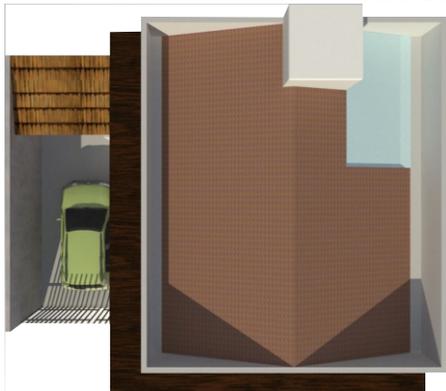


En esta planta se realizó la ampliación de un cuarto en el piso térreo

## Perspectivas y Fachadas - Prototipo 1



Cobertura



1 piso



Fachada frontal



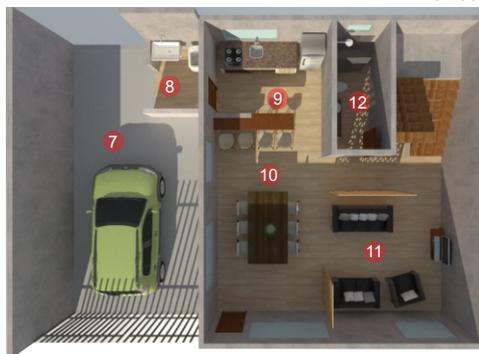
Fachada lateral izquierda



Fachada posterior



Térreo

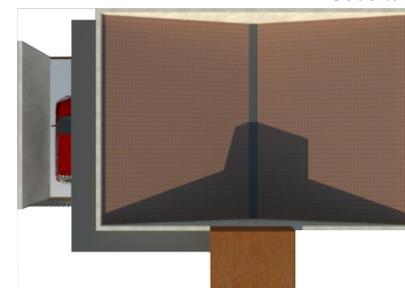


- 1 Suite
- 2 Baño Suite
- 3 Dorm. duplo
- 4 Dorm. individual
- 5 Baño
- 6 Corredor
- 7 Parquadero
- 8 Área de servicio
- 9 Cocina
- 10 Comedor
- 11 Sala
- 12 Baño social

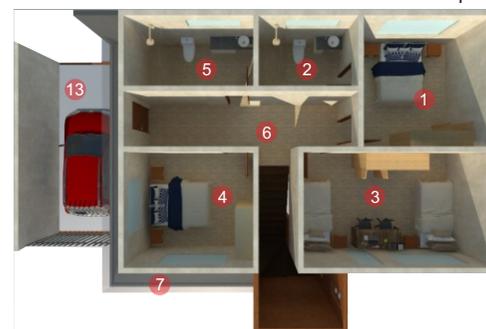
## Perspectivas y Fachadas - Prototipo 2



Cobertura



1 piso



Fachada Frontal



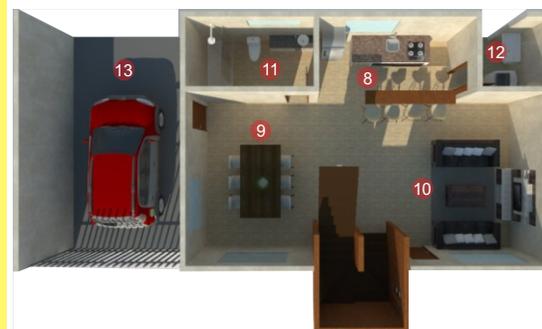
Fachada lateral izquierda



Fachada posterior



Térreo

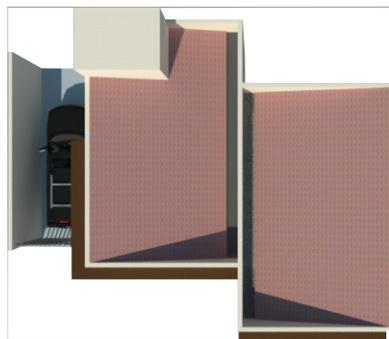


- 1 Suite
- 2 Baño Suite
- 3 Dorm. duplo
- 4 Dorm. casal
- 5 Baño
- 6 Corredor
- 7 Varanda
- 8 Cocina
- 9 Comedor
- 10 Sala
- 11 Baño social
- 12 Área de servicio
- 13 Parquadero

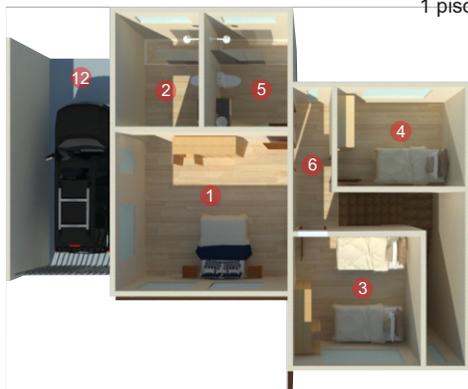
## Perspectivas y Fachadas - Prototipo 3



Cobertura



1 piso



Fachada Frontal



Fachada lateral izquierda



Térreo

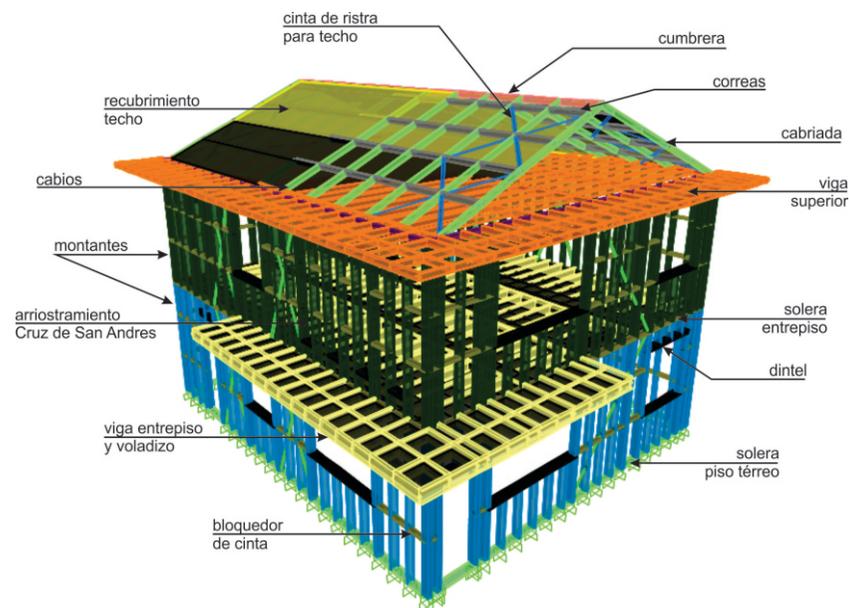


Fachada posterior



- 1 Suite
- 2 Baño Suite
- 3 Dorm. duplo
- 4 Dorm. individual
- 5 Baño
- 6 Corredor
- 7 Cocina
- 8 Comedor
- 9 Sala
- 10 Baño social
- 11 Area de servicio
- 12 Parqueadero

## TIPOS DE PERFIL PARA ESTRUCTURACIÓN DEL PRIMER PROTOTIPO



	Función	Perfil	Designación	Dimensión (mm)	Color
cubierta	cubrera	C	HxBxDxt	100x35x12x1.25	Red
	correa	C	HxBxDxt	100x35x12x1.25	Grey
	cabios y cabriada	C	HxBxDxt	100x35x12x1.25	Green
1 piso	cinta de rístra	cinta fleje	Bxt	50x0.84	Blue
	viga superior	C	HxBxDxt	100x35x12x1.25	Orange
	montante 1 piso	C	HxBxDxt	150x40x15x2	Dark Green
	dintel	C	HxBxDxt	150x40x15x2	Black
	solera entrapiso	U	HxBxt	155x35x2	Olive Green
	bloqueador	C	HxBxDxt	90x35x12x0.9	Light Green
	cinta de rístra	cinta fleje	Bxt	50x0.84	Light Green
térreo	viga entrapiso	C	HxBxDxt	200x50x15x1.6	Yellow
	montante térreo	C	HxBxDxt	150x40x15x2	Blue
	dintel	C	HxBxDxt	150x40x15x2	Black
	solera térreo	U	HxBxt	155x35x2	Olive Green
	bloqueador	C	HxBxDxt	90x35x12x0.9	Olive Green
	cinta de rístra	cinta fleje	Bxt	50x0.84	Light Green

Obs.: La fundación utilizada para este tipo de viviendas fue radier

Para la estructuración y el dimensionamiento de los perfiles de Steel Framing, se realizó un análisis sísmico con el software SAP 2000 con simulaciones reales de un terremoto considerando el peso de los materiales que componen el sistema estructural, tales como: acero galvanizado, madera para el cerramiento exterior y yeso cartón para cerramientos internos.

En un primer dimensionamiento se diseñó la estructura con perfiles de 100x35x12x1.2, sin embargo, al simular el sismo, la estructura quedó mal dimensionada, es decir, tenía un detallamiento muy pobre, por ende no soportaría un sismo.

A partir de un predimensionamiento de la estructura se colocaron perfiles de mayor tamaño, los cuales están establecidos en la tabla. Con este dimensionamiento la estructura presentó un buen comportamiento ante la simulación.

Por lo tanto para zonas de movimientos sísmicos, especialmente en el cantón de Pedernales, provincia de Manabí-Ecuador se aconseja diseñar la vivienda con los perfiles ya expuestos en la tabla.

