



UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL Y GERENCIA DE
CONSTRUCCIONES**

**Propuesta De Un Sistema Técnico De Vivienda Mínima
Modular Prefabricada.**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:
INGENIERO CIVIL CON ÉNFASIS EN GERENCIA DE
CONSTRUCCIONES**

Autores:

**BYRON ANDRÉS CHUÑIR BUENO
FRANCISCO ADOLFO RODRÍGUEZ CEDILLO**

Director:

VLADIMIR EUGENIO CARRASCO CASTRO

CUENCA, ECUADOR

2018

DEDICATORIA

Dedico este trabajo con mucho amor y cariño:

A Dios, que por su infinito amor me dio la vida y me acompaña siempre.

A mis padres, Francisco y Sandra, por darme la vida y una familia maravillosa. Su amor, su ejemplo y esfuerzo siempre serán una inspiración en mi vida. Nuestro amor es tan grande que la distancia no es una barrera entre nosotros.

A mis hermanos, Melany y Joseph. Con ustedes aprendí el maravilloso significado de compartir. Su presencia hará que cada día me esfuerce más para lograr ser un buen ejemplo para ustedes. Son mi gran bendición.

A mi abuelita Rosario. Por su inmenso amor, ternura y paciencia nunca me sentí solo. Gracias a sus consejos y enseñanzas logré culminar esta meta. Cada paso que dé en mi vida siempre la tendré presente, mamá.

A mis tías, tíos y primos. En especial a mis tías, Nelly y Silvia, por ser cada una como una madre para mí.

A mi novia Zarumita. Tu amor y apoyo incondicional lograron que cumpla mis sueños, cada día me inspiras.

Byron Andrés Chuñir Bueno.

Dedico este trabajo a mi madre Magdalena y abuelitos Adolfo y Rosario quienes han sido los pilares fundamentales en mi vida con sus enseñanzas de valores, principios perseverancia y constancia que me han permitido ser un hombre de virtud. Además, por todo el amor que me brindan que es mi motivación constante, la cual me permite alcanzar mis objetivos y metas. A mi hermano mayor Marco por compartir diversas vivencias y su apoyo constante.

Finalmente dedico este trabajo a mi familia y todas las personas que formaron parte de mi etapa formativa como profesional.

Francisco Adolfo Rodríguez Cedillo.

AGRADECIMIENTO

Queremos manifestar un agradecimiento a los docentes quienes forman parte de la Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad del Azuay por que los conocimientos y valores inculcados han colaborado de manera distintiva en nuestro proceso de formación como profesionales.

Un especial agradecimiento a nuestro director de tesis, Ing. Vladimir Carrasco Castro M.Sc., por su apoyo incondicional y su contribución significativa para la culminación de este proyecto. Su gran personalidad y profesionalismo serán aspectos que siempre resaltaremos y no olvidaremos de su persona.

A los miembros del tribunal, Arq. Alfredo Ordoñez Castro, y a la Ing. Andrea Soria Álvarez, por motivarnos y destinar su valioso tiempo para las revisiones necesarias.

Al Ing. José Vázquez Calero M.Sc., por brindarnos su tiempo y ayuda para la solución de inquietudes que se generaron en esta tesis.

Finalmente expresamos un agradecimiento sincero a nuestros compañeros que durante nuestra vida universitaria han compartido vivencias, experiencias y alegrías con nosotros.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT	xvi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1.....	2
1 GENERALIDADES	2
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Objetivos.....	2
1.2.1 Objetivo general.....	2
1.2.2 Objetivos específicos.....	3
1.3 Metodología.....	3
1.4 Estado del arte y marco teórico	4
1.4.1 Estado del arte	4
1.4.2 Marco teórico	6
CAPÍTULO 2.....	8
2 DEFINICIÓN DE LA VIVIENDA MÍNIMA MODULAR	8
2.1 Definición de vivienda modular prefabricada	8
2.1.1 Ventajas de las viviendas prefabricadas.....	8
2.1.2 Desventajas de las casas prefabricadas.....	9
2.2 Parámetros para la elección del módulo de vivienda prefabricada	10
2.3 Tipología de vivienda y especificaciones técnicas	11
2.4 Parámetros para la definición de familia tipo.....	12
2.5 Plano modelo vivienda mínima modular.....	12
2.6 Propuesta para una futura ampliación de la vivienda mínima modular	15
2.7 Criterios para la distribución interna de los espacios en la vivienda.....	16
2.8 Justificación de la normativa utilizada para la elección de parámetros aplicados en la vivienda mínima modular	18
2.9 Descripción de las áreas de la vivienda mínima modular	19
2.10 Elección del sistema estructural de la vivienda mínima modular	25
2.10.1 Método cualitativo por puntos (ventajas y desventajas).....	25
2.10.2 Factores relevantes.....	25

2.11	Presentación de sistemas constructivos y parámetros de calificación.....	26
2.11.1	Sistema semi-prefabricado con paneles de hormigón.....	26
2.11.2	Sistema steel framing	27
2.11.3	Sistema metálico y pared micro hormigón	29
2.12	Matriz de resultados del método cualitativo por puntos.....	30
2.13	Justificación de la calificación asignada.....	32
2.13.1	Sistema semi-prefabricado con paneles de hormigón.....	32
2.13.2	Sistema steel framing	34
2.13.3	Sistema metálico y pared micro hormigón	36
CAPÍTULO 3.....		39
3	MODELACIÓN Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA VIVIENDA MÍNIMA MODULAR.....	39
3.1	Pre diseño de la vivienda modular tipo	39
3.1.1	Modelo 1: Sistema estructural con paredes auto soportante de micro hormigón.....	39
3.1.2	Modelo 2: Sistema con estructura metálica y mampostería de paneles de Hormypol.....	41
3.2	Parámetros para la elección del modelo a utilizar mediante la comparación de costos de cantidad de material, transporte y montaje	43
3.2.1	Análisis del modelo 1: Sistema estructural con paredes auto soportante de micro hormigón	43
3.2.2	Análisis del modelo 2: Sistema con estructura metálica y mampostería de paneles de Hormypol	45
3.3	Elección del sistema estructural a partir del análisis de costos de cantidad de material, transporte y montaje	50
3.4	Parámetros de diseño de cargas aplicadas en la estructura.....	50
3.4.1	Carga permanentes.....	51
3.4.2	Cargas variables.....	51
3.5	Combinaciones de carga.....	58
3.5.1	Símbolos y notación	58
3.6	Modelación de la vivienda modular tipo	59
3.6.1	Sistema con estructura metálica y mampostería de paneles de hormypol	60
3.6.2	Geometría de las configuraciones estructurales	60
3.6.3	Procedimiento a seguir para la modelación de la vivienda modular prefabricada.....	62
3.7	Tabulación y análisis de los resultados obtenidos de la modelación de la vivienda en el programa comercial.....	72
3.7.1	Resultados de la modelación del escenario 1.....	74
3.7.2	Resultados de la modelación del escenario 2.....	77

3.8	Diseño de los elementos estructurales que conforman la vivienda modular mínima, basado en las especificaciones del AISI.....	79
3.8.1	Elemento estructural tipo columna	89
3.8.2	Elemento estructural tipo viga.....	97
3.8.3	Elemento estructural tipo vigueta	107
3.8.4	Mampostería vertical divisoria de espacios	115
3.8.5	Losas de entrepiso.....	115
3.8.6	Cálculo y comprobación de la deriva máxima permitida en la estructura	116
3.8.7	Comprobación de la conexión necesaria para la vivienda mínima modular	117
3.8.8	Resultados del cálculo y comprobación de la conexión necesaria para la vivienda mínima modular.....	119
CAPÍTULO IV.....		122
4	ANÁLISIS DE COSTOS Y ESPECIFICACIONES DE LA VIVIENDA MÍNIMA MODULAR	122
4.1	Análisis de producción de la vivienda mínima modular	122
4.2	Análisis de costo de la vivienda mínima modular.....	125
4.2.1	Definición de presupuesto	125
4.2.2	Definición de análisis de precios unitarios	125
4.2.3	Definición de costo directo.....	125
4.3	Análisis de precios unitarios.....	126
4.4	Incidencia del terreno en el costo total de la vivienda.....	158
4.5	Especificaciones técnicas de rubros	159
4.5.1	Panel tipo pared para mampostería vertical	159
4.5.2	Panel tipo losa para entrepiso	161
4.5.3	Perfil metálico tipo columna (150x100x4 mm).....	163
4.5.4	Perfil metálico tipo viga (150x100x3 mm).....	164
4.5.5	Perfil metálico tipo vigueta (100x100x3 mm).....	165
CONCLUSIONES		167
RECOMENDACIONES		168
ANEXOS.....		169
BIBLIOGRAFÍA.....		184

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Programa de construcción modular.	9
Figura 2.2. Distribución de áreas de la vivienda mínima modular planta baja.	12
Figura 2.3. Mobiliario de la vivienda mínima modular planta baja.	13
Figura 2.4. Dimensiones de la losa de cubierta de la vivienda mínima modular.	13
Figura 2.5. Vista y dimensionamiento de fachada frontal de la vivienda mínima modular.	14
Figura 2.6. Vista y dimensionamiento de fachada posterior de la vivienda mínima modular.	14
Figura 2.7. Vista y dimensionamiento de fachada lateral derecha de la vivienda mínima modular.	14
Figura 2.8. Vista y dimensionamiento de fachada lateral izquierda de la vivienda mínima modular.	14
Figura 2.9. Distribución de áreas de la planta alta de la vivienda mínima modular. .	15
Figura 2.10. Mobiliario de la planta alta de la vivienda mínima modular.	15
Figura 2.11. Vista en planta de la vivienda mínima modular ampliada.	16
Figura 2.12. Dimensionamiento óptimo para espacios internos de vivienda.	17
Figura 2.13. Distribución del espacio del dormitorio principal y secundario.	20
Figura 2.14. Distribución del espacio de la cocina.	21
Figura 2.15. Distribución del espacio de lavandería.	21
Figura 2.16. Distribución del espacio de la sala de estar.	22
Figura 2.17. Distribución del espacio del comedor.	23
Figura 2.18. Distribución del espacio del baño.	24
Figura 2.19. Sistema semi-prefabricado con paneles de hormigón.	27
Figura 2.20. Perfilería metálica utilizada en el sistema steel framing.	28
Figura 2.21. Sistema steel framing.	28
Figura 2.22. Panel reforzado de la empresa Hormypol.	29
Figura 2.23. Láminas que conforman el panel de reforzado de la empresa Hormypol.	29
Figura 2.24. Montaje de paneles de hormigón.	32
Figura 2.25. Costo y distribución de áreas de la vivienda de 37.20 m ²	32
Figura 2.26. Costo y distribución de áreas de la vivienda de 72.50 m ²	33
Figura 2.27. Sistema steel framing.	34

Figura 2.28. Vivienda Fénix srr-01 básica y su distribución de áreas.	37
Figura 2.29. Vivienda ampliada Fénix srr -02 y su distribución de áreas.....	37
Figura 3.1. Panel para muro estructural.	40
Figura 3.2. Panel para losa estructural.	40
Figura 3.3. Modelación en el programa comercial de la vivienda modular mínima con sistema estructural propuesto por Hormi2.	41
Figura 3.4. Pórticos metálicos de los módulos separados para la modelación.	61
Figura 3.5. Pórtico metálico de la vivienda mínima modular para la modelación.....	61
Figura 3.6. Creación de un nuevo modelo.	62
Figura 3.7. Modificación de los espaciamientos del modelo.	62
Figura 3.8. Definición del material a utilizar en la modelación.	63
Figura 3.9. Propiedades del material utilizado en la modelación.	63
Figura 3.10. Definición de las secciones a tipo utilizar para la modelación.	63
Figura 3.11. Elección del tipo de perfil y dimensionamiento de la sección.....	64
Figura 3.12. Trazado de grilla para la modelación.....	64
Figura 3.13. Trazado de elementos tipo columna para modelación.....	65
Figura 3.14. Colocar los puntos de apoyo para elementos tipo columna.....	65
Figura 3.15. Trazado de elementos tipo vigas para modelación.	65
Figura 3.16. Trazado de elementos tipo viguetas para modelación.	66
Figura 3.17. Definición de los tipos de carga para la modelación.	66
Figura 3.18. Tipos de carga utilizados en la modelación.	66
Figura 3.19. Definición del espectro de respuesta ante acciones sísmicas.	67
Figura 3.20. Espectro de respuesta ante acciones sísmicas para la modelación.	67
Figura 3.21. Definición de las combinaciones de carga para la modelación.	67
Figura 3.22. Combinaciones de carga utilizadas en la modelación.	68
Figura 3.23. Definición de distintos tipos de carga en los elementos de la estructura.	68
Figura 3.24. Colocación de los distintos tipos de carga en los elementos de la estructura.	68
Figura 3.25. Colocación de los distintos tipos de carga en los elementos de la estructura.	69
Figura 3.26. Modelación de un módulo por separado para el escenario 1.	69
Figura 3.27. Modelación de la vivienda mínima modular ampliada para el escenario 2.	69

Figura 3.28. Ejecución del modelo de la vivienda mínima modular.	70
Figura 3.29. Deformación del módulo separado para el escenario 1.	70
Figura 3.30. Deformación de la vivienda mínima modular ampliada para el escenario 2.....	70
Figura 3.31. Análisis de esfuerzos de la vivienda mínima modular para las diferentes combinaciones de carga.	71
Figura 3.32. Gráficas de esfuerzos del módulo separado para el escenario 1.....	71
Figura 3.33. Gráficas de esfuerzos de la vivienda mínima modular ampliada para el escenario 2.....	71
Figura 3.34. Desplazamientos de los nodos de la vivienda mínima modular escenario 2.....	116
Figura 4.1. Vista en planta de las secciones tipo para mampostería vertical.	123
Figura 4.2. Vista en planta de las secciones tipo para losas de entrepiso.	124

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Áreas mínimas recomendadas para dormitorios.	19
Tabla 2.2. Área mínima recomendada para cocina.	20
Tabla 2.3. Área mínima recomendada para lavandería.	21
Tabla 2.4. Área mínima recomendada para sala de estar.	22
Tabla 2.5. Área mínima recomendada para comedor.	23
Tabla 2.6. Área mínima recomendada para baños.	24
Tabla 2.7. Comprobación de las áreas de la vivienda mínima modular.	24
Tabla 2.8. Matriz de resultados del método cualitativo por puntos.	30
Tabla 2.9. Sistema estructural elegido por mayor puntuación.	30
Tabla 2.10. Calificación asignada a los diferentes sistemas estructurales por evaluación económica.	30
Tabla 2.11. Interpolación de costo aproximado para la vivienda mínima modular en los diferentes sistemas estructurales.	31
Tabla 2.12. Calificación asignada a los diferentes sistemas estructurales por evaluación de condiciones de servicio.	31
Tabla 2.13. Calificación asignada a los diferentes sistemas estructurales por evaluación de durabilidad.	31
Tabla 2.14. Calificación asignada a los diferentes sistemas estructurales por evaluación del tiempo de construcción.	31
Tabla 2.15. Calificación asignada a los diferentes sistemas estructurales por evaluación de mantenimiento y reparación.	31
Tabla 2.16. Costo de las viviendas sin acabados propuestos por la empresa Hormypol.	36
Tabla 2.17. Costo de las viviendas con acabados propuestos por la empresa Hormypol.	36
Tabla 3.1. Especificaciones técnicas de paneles producidos por Hormi2.	40
Tabla 3.2. Resultado de pre diseño para perfilería metálica.	42
Tabla 3.3. Resultado de pre diseño de panel tipo para mampostería vertical.	42
Tabla 3.4. Resultado de pre diseño de panel tipo para losa.	42
Tabla 3.5. Área de panel tipo pared y panel tipo losa requerida para el módulo de 2.80 x 7.50 m.	43

Tabla 3.6. Área de panel tipo pared y panel tipo losa requerida para el módulo de 3.00 x 7.50 m.....	43
Tabla 3.7. Costo total de la vivienda mínima modular con el sistema Hormi2.	44
Tabla 3.8. Peso total de la vivienda mínima modular con el sistema Hormi2.	44
Tabla 3.9. Costo de transporte y montaje de la vivienda mínima modular con el sistema Hormi2.	44
Tabla 3.10. Costo total del módulo de 2.80 x 7.50 m de la vivienda mínima modular con el sistema Hormi2.....	45
Tabla 3.11. Costo total del módulo de 3.00 x 7.50 m de la vivienda mínima modular con el sistema Hormi2.....	45
Tabla 3.12. Costo total de la vivienda mínima modular con el sistema Hormi2.	45
Tabla 3.13. Costo y cantidad de perfilería metálica del módulo de 3.00 x 7.50 m de la vivienda mínima modular con el sistema Hormypol.	46
Tabla 3.14. Costo y cantidad de paneles tipo pared del módulo de 3.00 x 7.50 m de la vivienda mínima modular con el sistema Hormypol.	46
Tabla 3.15. Área de paneles tipo pared del módulo de 3.00 x 7.50 m de la vivienda mínima modular con el sistema Hormypol.	46
Tabla 3.16. Costo y cantidad de paneles tipo losa del módulo de 3.00 x 7.50 m de la vivienda mínima modular con el sistema Hormypol.	47
Tabla 3.17. Área de paneles tipo losa del módulo de 3.00 x 7.50 m de la vivienda mínima modular con el sistema Hormypol.	47
Tabla 3.18. Costo del material y peso total del módulo de 3 x 7.50 m. de la vivienda mínima modular con el sistema Hormypol.	47
Tabla 3.19. Costo y cantidad de perfilería metálica del módulo de 2.80 x 7.50 m de la vivienda mínima modular con el sistema Hormypol.	47
Tabla 3.20. Costo y cantidad de paneles tipo pared del módulo de 2.80 x 7.50 m de la vivienda mínima modular con el sistema Hormypol.	48
Tabla 3.21. Área de paneles tipo pared del módulo de 2.80 x 7.50 m de la vivienda mínima modular con el sistema Hormypol.	48
Tabla 3.22. Costo y cantidad de paneles tipo losa del módulo de 2.80 x 7.50 m de la vivienda mínima modular con el sistema Hormypol.	49
Tabla 3.23. Área de paneles tipo losa del módulo de 2.80 x 7.50 m de la vivienda mínima modular con el sistema Hormypol.	49

Tabla 3.24. Costo del material y peso total del módulo de 2.80 x 7.50 m. de la vivienda mínima modular con el sistema Hormypol.	49
Tabla 3.25. Costo interpolado de transporte y montaje por tonelada.....	49
Tabla 3.26. Costo total de la vivienda mínima modular con el sistema Hormypol. ..	50
Tabla 3.27. Cargas permanentes utilizadas en la modelación del escenario 1.....	51
Tabla 3.28. Cargas permanentes utilizadas en la modelación del escenario 2.....	51
Tabla 3.29. Cargas de uso para el utilizadas en la modelación del escenario 2.....	51
Tabla 3.30. Coeficiente de entorno/altura C_e	53
Tabla 3.31. Elección del coeficiente de zona factor Z	55
Tabla 3.32. Tipo de perfil de suelo.	56
Tabla 3.33. Tipo de categoría de la estructura.	57
Tabla 3.34. Elección del coeficiente de reducción de respuesta estructural R	57
Tabla 3.35. Deriva máxima permitida en la estructura.	58
Tabla 3.36. Descripción de las secciones tipo para la modelación.	61
Tabla 3.37. Modelo de tabulación de esfuerzos para los elementos columna tipo. ...	72
Tabla 3.38. Modelo de tabulación de esfuerzos para los elementos columna tipo. ...	72
Tabla 3.39. Modelo de tabulación de esfuerzos para los elementos viga tipo.	72
Tabla 3.40. Modelo de tabulación de esfuerzos para los elementos viga tipo.	72
Tabla 3.41. Modelo de tabulación de esfuerzos para los elementos viga tipo.	73
Tabla 3.42. Modelo de tabulación de esfuerzos para los elementos vigueta tipo.	73
Tabla 3.43. Modelo de tabulación de esfuerzos para los elementos vigueta tipo.	73
Tabla 3.44. Modelo de tabulación de esfuerzos para los elementos vigueta tipo.	73
Tabla 3.45. Resultados de esfuerzos para el elemento columna tipo.....	74
Tabla 3.46. Resultados de esfuerzos para el elemento viga tipo.....	74
Tabla 3.47. Resultados de esfuerzos para el elemento vigueta tipo.....	74
Tabla 3.48. Resultados de esfuerzos máximos para el elemento columna tipo.	75
Tabla 3.49. Resultados de esfuerzos máximos para el elemento viga tipo.	75
Tabla 3.50. Resultados de esfuerzos máximos para el elemento vigueta tipo.	75
Tabla 3.51. Resultados de esfuerzos para el elemento columna tipo.....	75
Tabla 3.52. Resultados de esfuerzos para el elemento viga tipo.....	76
Tabla 3.53. Resultados de esfuerzos para el elemento vigueta tipo.....	76
Tabla 3.54. Resultados de esfuerzos máximos para el elemento columna tipo.	76
Tabla 3.55. Resultados de esfuerzos máximos para el elemento viga tipo.	76
Tabla 3.56. Resultados de esfuerzos máximos para el elemento vigueta tipo.	77

Tabla 3.57. Resultados de esfuerzos para el elemento columna tipo.....	77
Tabla 3.58. Resultados de esfuerzos para el elemento viga tipo.....	77
Tabla 3.59. Resultados de esfuerzos para el elemento vigueta tipo.....	78
Tabla 3.60. Resultados de esfuerzos máximos para el elemento columna tipo.	78
Tabla 3.61. Resultados de esfuerzos máximos para el elemento viga tipo.	78
Tabla 3.62. Resultados de esfuerzos máximos para el elemento vigueta tipo.	79
Tabla 3.63. Resultado de desplazamiento máximo en la dirección X.	116
Tabla 3.64. Cálculo de derivas.....	116
Tabla 3.65. Resultado de desplazamiento máximo en la dirección Y.	117
Tabla 3.66. Cálculo de derivas.....	117
Tabla 3.67. Resultado de desplazamiento máximo en la dirección Z.....	117
Tabla 3.68. Cálculo de derivas.....	117
Tabla 4.1. Secciones tipo para mampostería vertical.....	123
Tabla 4.2. Secciones tipo losas de entrepiso.....	123
Tabla 4.3. Secciones tipo perfilería metálica.....	124
Tabla 4.4. Presupuesto de la vivienda mínima modular.....	126
Tabla 4.5. Análisis de precios unitarios. Rubro: panel tipo pared.....	127
Tabla 4.6. Análisis de precios unitarios. Rubro: panel tipo losa.....	128
Tabla 4.7. Análisis de precios unitarios. Rubro: perfil metálico tipo columna.....	129
Tabla 4.8. Análisis de precios unitarios. Rubro: perfil metálico tipo viga.....	130
Tabla 4.9. Análisis de precios unitarios. Rubro: perfil metálico tipo vigueta.....	131
Tabla 4.10. Descripción de la cantidad de obra del rubro: panel tipo pared.....	132
Tabla 4.11. Descripción de la cantidad de obra del rubro: panel tipo losa.....	132
Tabla 4.12. Descripción de la cantidad de obra del rubro: perfil metálico tipo columna.	132
Tabla 4.13. Descripción de la cantidad de obra del rubro: perfil metálico tipo viga.	133
Tabla 4.14. Descripción de la cantidad de obra del rubro: perfil metálico tipo vigueta.	133
Tabla 4.15. Presupuesto conceptual del transporte y montaje de la vivienda mínima modular.....	134
Tabla 4.16. Presupuesto conceptual de acabados de la vivienda mínima modular..	134
Tabla 4.17. Análisis de precios unitarios. Rubro: cerámica de piso.....	135

Tabla 4.18. Análisis de precios unitarios. Rubro: cerámica de pared y mesón cocina.	136
Tabla 4.19. Análisis de precios unitarios. Rubro: piso flotante.	137
Tabla 4.20. Análisis de precios unitarios. Rubro: impermeabilización cubierta lámina asfáltica 3 mm.	138
Tabla 4.21. Análisis de precios unitarios. Rubro: pintura paredes exteriores.	139
Tabla 4.22. Análisis de precios unitarios. Rubro: pintura paredes interiores.	140
Tabla 4.23. Análisis de precios unitarios. Rubro: accesorios sanitarios y de cocina.	141
Tabla 4.24. Análisis de precios unitarios. Rubro: puerta principal de madera.	142
Tabla 4.25. Análisis de precios unitarios. Rubro: puerta corrediza de dormitorio. .	143
Tabla 4.26. Análisis de precios unitarios. Rubro: puerta de madera para baño.	144
Tabla 4.27. Análisis de precios unitarios. Rubro: rastreras de madera.	145
Tabla 4.28. Análisis de precios unitario. Rubro: closet de madera.	146
Tabla 4.29. Análisis de precios unitarios. Rubro: ventanas aluminio y vidrio 4 mm.	147
Tabla 4.30. Análisis de precios unitarios. Rubro: conexión domiciliaria A.P. 1/2" incluye caja de medidor.	148
Tabla 4.31. Análisis de precios unitarios: Rubro: punto de agua potable fría.	149
Tabla 4.32. Análisis de precios unitarios. Rubro: punto de agua servida.	150
Tabla 4.33. Análisis de precios unitarios. Rubro: bajante agua lluvia PVC 110 mm.	151
Tabla 4.34. Análisis de precios unitarios. Rubro: tablero y caja de medidor eléctrico.	152
Tabla 4.35. Análisis de precios unitarios. Rubro: acometida telefónica.	153
Tabla 4.36. Análisis de precios unitarios. Rubro: punto de luz.	154
Tabla 4.37. Análisis de precios unitarios. Rubro: punto tomacorriente 110 V.	155
Tabla 4.38. Análisis de precios unitarios. Rubro: breakers de 1 polo de 40 AMP. .	156
Tabla 4.39. Análisis de precios unitarios. Rubro: cielo raso gypsum normal.	157
Tabla 4.40. Costo total de la vivienda mínima modular.	158

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Vista exterior de la vivienda mínima modular.	169
Anexo 2. Vista del interior de la vivienda mínima modular.	170
Anexo 3. Vista en corte del interior del módulo 1 de la vivienda mínima modular.	171
Anexo 4. Vista en corte del interior del módulo 2 de la vivienda mínima modular.	172
Anexo 5. Plano: Dimensionamiento y vistas de los perfiles de la vivienda mínima modular.	173
Anexo 6. Plano: Dimensionamiento, distribución de espacios y mobiliario de la planta baja de la vivienda mínima modular.	174
Anexo 7. Plano: Dimensionamiento y vista en planta de la losa de cubierta nivel 2.50 m de la vivienda mínima modular.	175
Anexo 8. Plano: Dimensionamiento, distribución de espacios y mobiliario de la planta alta de la vivienda mínima modular.	176
Anexo 9. Plano: Acceso a la planta alta de la vivienda mínima modular.	177
Anexo 10. Plano: Dimensionamiento, mobiliario y vista de los perfiles de la planta alta de la vivienda mínima modular.	178
Anexo 11. Plano: Vista arquitectónica de los perfiles de la vivienda mínima modular.	179
Anexo 12. Plano: Detalle estructural de los elementos que conforman la vivienda mínima modular.	180
Anexo 13. Plano: Detalle del cordón de soldadura entre los módulos de la vivienda mínima modular.	181
Anexo 14. Plano: Detalle del cordón de soldadura de los elementos que conforman la estructura metálica de la vivienda mínima modular.	182
Anexo 15. Plano: Instalaciones eléctricas, hidrosanitarias, distribución de cerámica y piso flotante.	183

PROPUESTA DE UN SISTEMA TÉCNICO DE VIVIENDA MÍNIMA MODULAR PREFABRICADA.

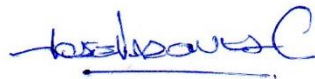
RESUMEN

Las condiciones de vida en el país han provocado que la construcción de las viviendas sea destinada al sector informal, el mismo que cuenta con conocimientos empíricos y no técnicos sobre la construcción. Esto ocasiona el incumplimiento de las normas de construcción y genera riesgos a la vida de la población frente a fenómenos naturales. La presente propuesta tiene la finalidad de desarrollar un sistema de construcción de viviendas modulares que garantice el cumplimiento de las normas de construcción, logrando brindar seguridad y generando costos accesibles para la población. Este sistema está fundamentado en las investigaciones en el campo de la Ingeniería Civil y la Gerencia en Construcciones.

Palabras clave: vivienda mínima, modular, prefabricada, estructuras, programa comercial.



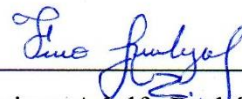
Vladimir Eugenio Carrasco Castro
Director del Trabajo de Titulación



José Fernando Vázquez Calero
Coordinador de Escuela



Byron Andrés Chuñir Bueno
Autor



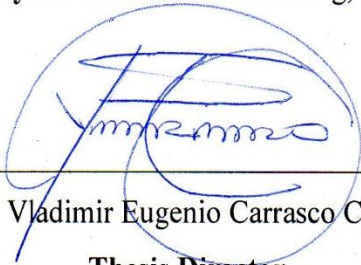
Francisco Adolfo Rodríguez Cedillo
Autor

PROPOSAL OF A PREFABRICATED MODULAR MINIMUM HOUSING TECHNICAL SYSTEM.

ABSTRACT

Life conditions in the country caused that the construction of houses was destined to the informal sector. This sector had only empirical and non-technical knowledge about construction and caused non-compliance with the construction norms. This generated risks to the life of the population in case of a natural phenomenon. The purpose of this proposal was to develop a modular housing construction system to guarantee compliance with construction standards, to provide security and to generate affordable costs for the population. This system was based on research in the field of Civil Engineering and Construction Management.

Keywords: Minimum housing, modular, prefabricated, structures, commercial program.



Vladimir Eugenio Carrasco Castro
Thesis Director



José Fernando Vázquez Calero
Faculty Coordinador



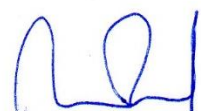
Byron Andrés Chuñir Bueno
Author



Francisco Adolfo Rodríguez Cedillo
Author



Magdalena
UNIVERSIDAD DEL
AZUAY
Dpto. Idiomas



Ing. Paúl Arpi
Traductor

Trabajo de titulación

Chuñir Bueno Byron Andrés, Rodríguez Cedillo Francisco Adolfo

Ing. Vladimir Eugenio Carrasco Castro M.Sc.

Junio, 2018

PROPUESTA DE UN SISTEMA TÉCNICO DE VIVIENDA MÍNIMA MODULAR PREFABRICADA.

INTRODUCCIÓN

Debido a la difícil situación económica actual del Ecuador, menos de la mitad de la población del país posee vivienda propia o totalmente pagada. Además, el continuo crecimiento poblacional que según datos del INEN incrementará un 62 % aproximadamente para el año 2050, ocasiona que se genere una gran demanda de viviendas a satisfacer. Esta demanda actualmente está destinada al sector informal de la construcción. El método de construcción empleado por este sector crea riesgos a la vida de la población del país frente a fenómenos naturales, debido a su falta de conocimiento técnico e incumplimiento de las normas establecidas en el país en el ámbito de la construcción.

A causa de esta necesidad surge el desarrollo de sistemas que cuentan con nuevos materiales y técnicas constructivas, las cuales deben garantizar la innovación, seguridad y accesibilidad económica para la población del país.

Estos sistemas deben estar fundamentados en las investigaciones en el campo de la Ingeniería Civil y la Gerencia en Construcciones.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

El aumento de la población en el país ha provocado la necesidad de crear una vivienda segura, confortable y con costos que sean accesibles para el sector más vulnerable del país. Gran parte de la población ha cubierto esta demanda encargando la construcción de sus viviendas al sector informal, debido a que presenta la mejor alternativa en costos.

El Ecuador al estar ubicado en una zona de alta peligrosidad sísmica, y estar expuesto a varios fenómenos naturales obliga a que las viviendas cumplan con las normas de construcción, para garantizar así la vida de sus usuarios presentando costos accesibles. En toda obra de construcción existe una relación entre calidad, costo y tiempo, razón por la que se debe garantizar la calidad sin descuidar el costo. Esto permitirá a la gran mayoría de ecuatorianos obtener una vivienda.

La dificultad del mercado inmobiliario para generar viviendas que cumplan con las normas de construcción y posean un bajo costo, origina que la población ecuatoriana opte por un sistema de construcción informal. Las viviendas generadas por un sistema informal crean inseguridad a la población dado que incumplen las normas de construcción y proponen costos más bajos. Éste costo se logra afectando a la calidad de los materiales que se emplean en la construcción para competir en el mercado inmobiliario.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Desarrollar un sistema constructivo prefabricado eficiente y de calidad enfocado a la vivienda mínima para la zona de la sierra sur del Ecuador.

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar los materiales (producción o provisión nacional) que por sus características técnicas sean adecuados para su aplicación en el sistema constructivo prefabricado.
- Partir de un módulo existente, establecer un pre dimensionamiento estructural que permita la movilidad y puesta en obra de la estructura, con los materiales investigados y los requerimientos arquitectónicos de los espacios.
- Realizar el cálculo del diseño estructural mediante la modelación matemática del comportamiento del módulo prefabricado ante las distintas combinaciones de carga, dando cumplimiento a la normativa de construcción vigente en el país.
- Evaluar los resultados del cálculo estructural obtenido con la modelación matemática del comportamiento ante distintas cargas. También se considerará la forma de fabricación y el peso del módulo para analizar la maquinaria requerida para el transporte e instalación.
- Realizar un análisis de costos, tiempos de ejecución y calidad del sistema constructivo para vivienda mínima modular prefabricada y establecer conclusiones que permitan ofertarse en el mercado nacional.

1.3 Metodología

Para el desarrollo del sistema de construcción de viviendas modulares prefabricadas se efectuarán los siguientes pasos:

- Recolectar información sobre los sistemas prefabricados y tipos de materiales que se emplearán en los módulos. La selección de los materiales óptimos se realizará basados en criterios de costo, calidad, resistencia y disponibilidad local; mediante el uso de una matriz que contenga toda la información recopilada. Esta información será obtenida de libros, documentos científicos y consultas a profesionales de la construcción e industria del sur del Ecuador.
- Análisis y pre diseño estructural de las secciones de un módulo prefabricado existente que cumpla con los criterios arquitectónicos, el cual será

utilizado como modelo de vivienda tipo. El pre dimensionamiento del módulo tomará en consideración el peso aproximado del mismo, con el fin de conocer la maquinaria disponible en el medio para su transporte e instalación.

- Cálculo del diseño estructural mediante la modelación matemática de comportamiento del módulo prefabricado ante las distintas combinaciones de carga (Carga muerta, viva, sismo, viento y transporte). El cálculo se realizará con la ayuda del método de los elementos finitos utilizando un programa comercial. Las distintas combinaciones de carga se tomarán de la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC) vigente.
- Análisis de los resultados obtenidos en el cálculo del diseño estructural. Se examinará el comportamiento de los materiales utilizados en el módulo prefabricado frente a las distintas solicitaciones, y se verificará que estos cumplan con la NEC. Conjuntamente se evaluará el peso de la sección modular obtenida de la modelación para seleccionar el tipo de transporte y maquinaria de instalación disponible en el medio.
- Análisis del módulo prefabricado: costo del módulo, especificaciones técnicas de los materiales, forma de producción, tiempo de ejecución, tipo de transporte y montaje del módulo. Asimismo, se evaluará la calidad y efectividad del sistema de viviendas modulares prefabricadas para realizar la oferta al mercado existente.
- Evaluación de los resultados obtenidos en los diferentes análisis. Esta evaluación determinará si la propuesta se ajusta a los objetivos de estudio y se evaluará si esta puede competir en el mercado.

1.4 Estado del arte y marco teórico

1.4.1 Estado del arte

La creciente población a lo largo de la historia ha provocado que la industria de la construcción busque innovarse constantemente. Los sistemas prefabricados tuvieron sus inicios en Estados Unidos en 1810, época de la conquista y usando como material la madera, puesto que era el único material disponible en el lugar. Luego de la primera guerra mundial, la escasez de materiales y mano de obra causó que los constructores

de la época reflexionaran acerca del por qué realizar dos estructuras diferentes tanto en madera como en hormigón, cuando se busca construir una sola. Esta inquietud permitió que surjan los elementos pre esforzados de hormigón como una nueva solución. La industria de la construcción empezó su industrialización luego de la Segunda Guerra Mundial, puesto a que se impulsó la prefabricación en masa. Esto se dio gracias al desarrollo de la grúa, las técnicas y equipos de soldadura (Nieto Cardenas, 2014). Al referirnos a una construcción industrializada según Novas hablamos de: “un esquema de construcción que, mediante la adecuada planeación de las tareas y presupuesto, y una selección de equipos y materiales puede generar elevados rendimientos en obra y optimizar recursos” (Novas Cabrera, 2010). En un inicio los sistemas prefabricados fueron rechazados por los países en donde se buscaba implementar, manifestando que eran pequeñas, de mala calidad y con poco aspecto arquitectónico. Este mito permanece latente en Latinoamérica, causado principalmente por el desconocimiento de los beneficios económicos que puede brindar una casa prefabricada (Nieto Cardenas, 2014).

El desarrollo dentro de la industria del diseño y la construcción permite ser más eficientes y generar nuevas posibilidades de construcciones generadas fuera de sitio. Algunos de estos sistemas son:

Sistema Indagsa se basa en la producción en taller, de forma racionalizada y con sistemas industriales, de paneles de hormigón armado y pre tensado, agrupados en seis clases fundamentales que conforman el sistema de prefabricación completo.

Set Home es un procedimiento que permite la industrialización de ciertos elementos del edificio basado en la utilización de módulos tridimensionales que constituyen la parte esencial de estructura e instalaciones.

El sistema Transloko está basado en módulos tridimensionales ligeros, realizados totalmente en fábrica. Desde allí se trasladan a cada obra, en donde, a través de unas operaciones muy sencillas de montaje y de conexión de instalaciones, se colocan en su posición definitiva.

Estos sistemas han sido implementados en países desarrollados. Además, permiten un uso apropiado de los recursos, generando el mínimo de desechos, eficiencia en tiempos de ejecución y costos bajos (Del Águila, 1996).

En el último censo de población y vivienda realizado en el año 2010, el Ecuador contaba con 4'654.054 viviendas, de las cuales el 46.90 % de los hogares poseían viviendas propias o totalmente pagas (INEC, 2010).

En la actualidad muchas de estas familias habitan en viviendas construidas por el sector informal, el mismo que no brindan ninguna garantía de seguridad. Lo alarmante de este sector es que representa el 70 % de la construcción total del país (Vizuet Víctor, 2014). Según las proyecciones realizadas por el INEC en el año 2010, estiman que la población de nuestro país llegará a los 23.4 millones de habitantes aproximadamente para el 2050. Al conocer esta información es innegable deducir que la creciente población en los próximos años tendrá gran necesidad de una vivienda cómoda, segura y accesible. Motivados por el intento de brindar una solución a esta problemática social se plantea un sistema de construcción industrializada (Terrados-Cepeda, Baco-Castro, Moreno-Rangel, & Moreno-Rangel, 2015), este proyecto busca proponer un sistema de vivienda modular prefabricada accesible al sector más vulnerable del país.

1.4.2 Marco teórico

Habitabilidad: es una de las necesidades más importantes para los usuarios, que requieren de una vivienda que les proporcione un espacio vital de funciones múltiples. Los factores que determinan una buena habitabilidad son los siguientes: sensación térmica, aislación acústica, impermeabilidad, humedad, condensación, etc. Estos factores tienen una relación directa con el tipo de material y el diseño arquitectónico que involucra aspectos tales como: dimensiones de los recintos, iluminación y ventilación (Modular Home, 2016).

Sistemas de construcción prefabricados: es un sistema constructivo basado en el diseño y producción de componentes y subsistemas elaborados en serie en una fábrica fuera de ubicación final y que en su posición definitiva es una fase de montaje simple, precisa y no laboriosa, conforma el todo o una parte del edificio o construcción (Sistemas de Información Ejecutiva, 2013). Estableciendo el único modo industrial de acelerar masivamente la construcción y resolver un problema acumulado desde hace algunos años (Novas Cabrera, 2010).

Vivienda modular: es un sistema de edificación, basado en el ensamblaje de unidades modulares prefabricadas permitiendo crear desde pequeños espacios para múltiples

usos y aplicaciones. La utilidad de la construcción modular es muy amplia, pudiendo dar respuesta a requerimientos de habitabilidad y uso de todo tipo (Panelais Producciones, 2016).

Vivienda de interés social o mínima: es aquella propuesta considerada por el sector público o privado que tenga como objetivo básico la oferta de soluciones tendientes a disminuir el déficit habitacional de sectores populares (Concejo Metropolitano de Quito, 2003).

Calidad: se define como el grado en el que un conjunto de características inherentes cumple con los requisitos, para que un producto sea adecuado y satisfaga al cliente. El cual genera valor para el cliente (Gutierrez Pulido, 2010).

Análisis estructural: es el proceso de cálculo y la determinación de los efectos de las cargas y fuerzas en una estructura. Con el fin de entender por completo las vías de carga y los impactos a tener en cuenta en su diseño de ingeniería. Además, asegura que una pieza de equipo o estructura sea segura para su uso bajo las cargas estimadas que se espera para soportar. El análisis estructural se puede realizar durante el diseño, prueba o posterior a la construcción y en general representarán los materiales utilizados, la geometría de la estructura y las cargas aplicadas (Carigliano, 2015).

Método de elementos finitos: es un método que permite obtener una solución numérica aproximada sobre un medio continuo en el que están definidas en las ecuaciones del movimiento que caracterizan el comportamiento físico del problema. Esto mediante una formulación variacional o débil para las ecuaciones del movimiento y la construcción de una solución aproximada basado en coordenadas nodales y funciones de formas de elementos (Bermejo, Santos, Goicolea, Pérez, & Pérez, 2015).

Oferta de una estructura: Se deberá ofertar un sistema estructural que cumpla con las normas de construcción y sismo resistencia y cuente con las certificaciones necesarias emitidas por el INEN establecidas en la Norma Ecuatoriana de Construcción. Conjuntamente se debe entregar las especificaciones técnicas que señalen con detalle de los procedimientos constructivos que deben seguirse para garantizar una estructura sólida y resistente.

CAPÍTULO 2

DEFINICIÓN DE LA VIVIENDA MÍNIMA MODULAR

2.1 Definición de vivienda modular prefabricada

Se define como vivienda modular prefabricada aquella que es “construida bajo techo en fábrica”. Este sistema constructivo también es conocido como construcción modular industrializada puesto que la fabricación del módulo sigue una línea de producción. El producto resultante de esta cadena de producción se lo puede llamar “contenedor”. Para finalizar la obra se transporta el contenedor, o los contenedores dependiendo de la cantidad que sea necesaria para conformar la vivienda, al lugar de la obra en donde serán ensamblados e instalados. Cabe enfatizar que una vivienda modular no es una vivienda móvil, sencillamente se trata de una vivienda construida “ex situ” (fuera del sitio de obra).

El aumento de la población ha provocado que se requiera de soluciones rápidas y efectivas para afrontar la necesidad que tiene la población de tener una vivienda digna. El desarrollo de nuevos materiales y técnicas constructivas han logrado que la vivienda modular incursione como respuesta a una demanda cada vez más exigente en aspectos como: precios, seguridad, calidad constructiva, plazos de ejecución, sostenibilidad e impacto ambiental (ALQUIMODUL sac, 2015).

2.1.1 Ventajas de las viviendas prefabricadas

- **Óptimas condiciones de trabajo:** El realizar el trabajo en un ambiente controlado (bajo techo) permite tener un mayor control de la producción ante condiciones climáticas. El acceso a herramientas se facilita, se necesita menos entregas de materiales en tiempo, la supervisión del trabajo mejora, de modo que, se logra un mejor control de calidad.
- **Reduce el impacto ambiental:** Disminuyen los desperdicios de materiales y energía. Se reduce la contaminación del agua, polvo y ruido.
- **Planificación estratégica de actividades:** Un trabajo mejor programado permite que se reduzcan los conflictos entre los operarios de la construcción.
- **Control de calidad:** Los materiales que son usados en este tipo de construcción son de mejor calidad al momento de ser ensamblados, así como en su

almacenamiento. Inclusive se reducen las pérdidas, desperdicios y espacios de almacenamiento de los mismos.

- **La seguridad laboral:** Se mejoran significativamente las condiciones de trabajo para el personal obrero, debido a que no está expuesto a la intemperie, climas extremos o actividades peligrosas.
- **Reducción en los tiempos de ejecución:** La producción en fábrica nos brinda la posibilidad de realizar actividades en paralelo (cambio en la secuencia de construcción), es decir se reduce el costo debido a que existe un ahorro en tiempo y mejora del flujo de trabajo.

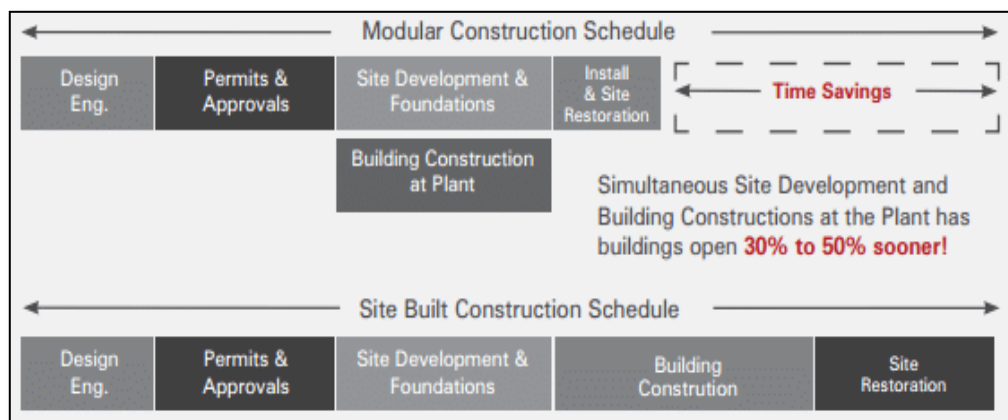


Figura 2.1. Programa de construcción modular.

Fuente: (Modular Building Institute, 2018).

2.1.2 Desventajas de las casas prefabricadas

- Comúnmente este tipo de casas poseen un diseño pre establecido, por lo que el cliente no siempre puede encontrar la casa de sus sueños.
- Para efectuar el transporte e instalación del inmueble es fundamental conocer su ubicación final, debido a que es importante considerar varios factores que podrían encarecer significativamente el costo del inmueble. Algunos de estos factores son: la distancia de transporte, accesibilidad del equipo a la zona de instalación, etc.
- La legislación del país no regula de manera adecuada al tipo de estas viviendas, debido a lo cual el obtener permisos de construcción y circulación pueden ser una tarea compleja.
- La vivienda debe tener una tipología de acuerdo a las condiciones climáticas del lugar de emplazamiento planificado.

- Las dimensiones de las casas prefabricadas generalmente son estandarizadas y más reducidas que las viviendas comunes. Por esta razón el precio de fabricar una vivienda con dimensiones mayores se puede incrementar (ALQUIMODUL sac, 2015).

2.2 Parámetros para la elección del módulo de vivienda prefabricada

Definición de vivienda de interés social

Art.85.- Vivienda de interés social

La vivienda de interés social es la vivienda adecuada y digna destinada a los grupos de atención prioritaria y a la población en situación de pobreza o vulnerabilidad, en especial la que pertenece a los pueblos indígenas, afro ecuatorianos y montubios.

La definición de la población beneficiaria de vivienda de interés social, así como los parámetros y procedimientos que regulen su acceso, financiamiento y construcción serán determinados en base a lo establecido por el órgano rector nacional en materia de hábitat y vivienda en coordinación con el ente rector de inclusión económica y social.

Los programas de vivienda de interés social se implementarán en suelo urbano dotado de infraestructura y servicios necesarios para servir a la edificación, primordialmente los sistemas públicos de soporte necesarios, con acceso a transporte público, y promoverán la integración socio espacial de la población mediante su localización preferente en áreas consolidadas de las ciudades.

Art. 86.- Procedimientos administrativos para la implementación de vivienda de interés social

Los Gobiernos Autónomos Descentralizados municipales y metropolitanos expedirán ordenanzas de normas para los diseños urbanísticos y arquitectónicos y para el procedimiento abreviado específico y expedito de recepción de obras en programas especiales de vivienda, que incluyan el otorgamiento de permisos únicos para la habilitación del suelo, edificación y habitabilidad en un proyecto de vivienda social.

Art. 87.- Acceso al suelo para vivienda de interés social

Los Gobiernos Autónomos Descentralizados municipales y metropolitanos gestionarán el suelo urbano requerido para el desarrollo de los programas de vivienda

de interés social necesarios para satisfacer la demanda existente en su territorio de conformidad con su planificación. Para ello, harán uso de los mecanismos y las herramientas de gestión del suelo contempladas en la legislación vigente.

En los distritos metropolitanos y en los cantones de más de 20000 habitantes o en los que se observen o se prevean problemas para el acceso a la vivienda de la población, el plan de uso y gestión de suelo establecerá a las actuaciones privadas de urbanización de suelo para uso residencial, el destino a vivienda social de no más del diez por ciento de dichas actuaciones.

Art. 88.- Producción social del hábitat

La producción social del hábitat es el proceso de gestión y construcción de hábitat y vivienda, liderado por organizaciones de la economía popular y solidaria o grupos de población organizada sin fines de lucro, ya sea de manera autónoma o con el apoyo del sector público o privado.

El Gobierno Central y los Gobiernos Autónomos Descentralizados, dentro del marco de sus competencias, apoyarán e incentivarán la producción social del hábitat para facilitar el acceso a suelo, financiación, crédito y asistencia técnica, además de incentivos tributarios. Para ello, elaborarán normas que contemplen y favorezcan este sistema de producción.

Art. 89.- Valoración catastral en suelos destinados a vivienda de interés social

En el suelo público destinado para vivienda de interés social se aplicarán metodologías de valoración catastral que reflejen el valor real de los inmuebles, para lo cual se descontarán aquellos valores que se forman como consecuencia de distorsiones del mercado (Asamblea Nacional, 2016).

2.3 Tipología de vivienda y especificaciones técnicas

El tipo de vivienda a utilizar será definido según lo que indica el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda en el acuerdo ministerial No. 220. En el cual para las viviendas tipo 2 deberá cumplir las especificaciones técnicas establecida tanto en departamentos como en casas y su área oscilará ente 42.01 m² como mínimo y como área recomendable 54.00 m². Tendrán como mínimo dos dormitorios, área social (sala, comedor), cocina y baño completo cumpliendo con las áreas mínimas por ambientes

establecidas por la municipalidad. El precio estará en el rango de \$20,000.00 a \$25,000.00 (Ministerio de Desarrollo Urbano y de Vivienda, 2011).

2.4 Parámetros para la definición de familia tipo

Para la definición de la familia tipo que habitará la vivienda mínima planteada, se tomará en consideración el número de habitantes promedio que conforma una familia ecuatoriana.

Según el último censo de vivienda y población realizado por el INEC en el año 2010 se conoce que la familia ecuatoriana promedio está conformada por 3.78 habitantes. Tomando como base esta información para la elección de la familia tipo que ocupará la vivienda modular mínima, el diseño estará enfocado para una familia conformada por cuatro integrantes (padre, madre y dos hijos).

2.5 Plano modelo vivienda mínima modular

Área: 44.25 m²

Vista en planta de piso

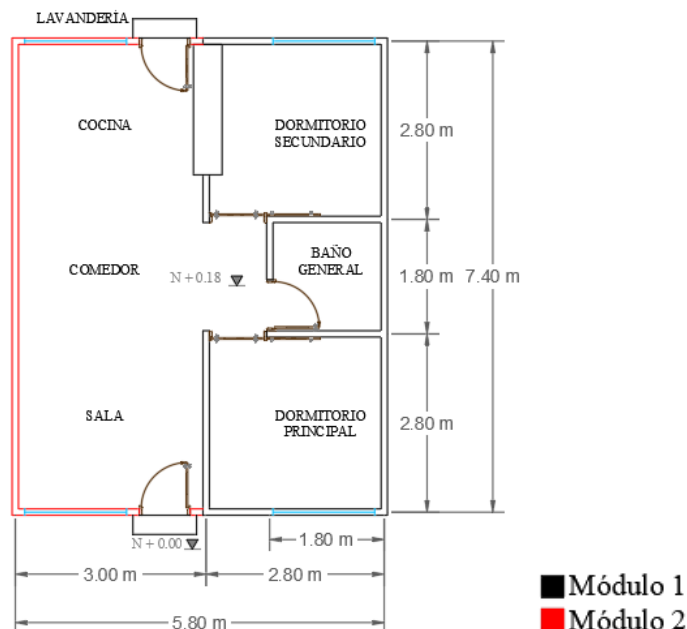


Figura 2.2. Distribución de áreas de la vivienda mínima modular planta baja.

Fuente: Autores.

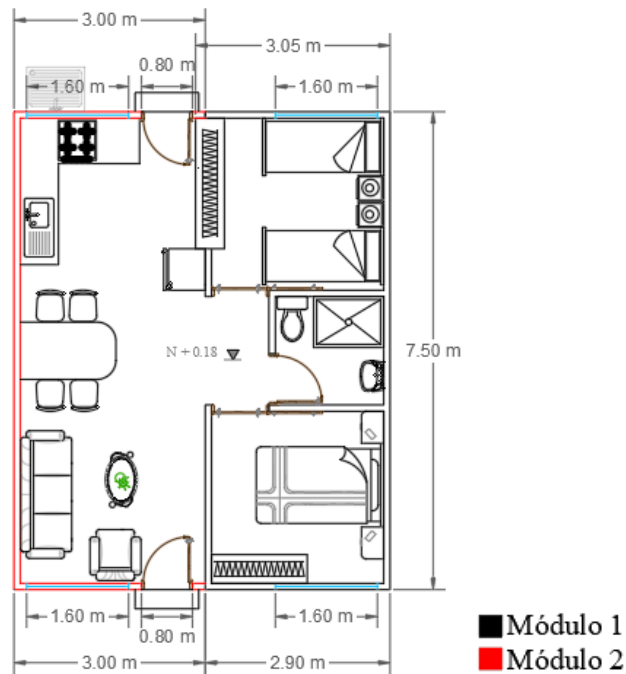


Figura 2.3. Mobiliario de la vivienda mínima modular planta baja.

Fuente: Autores.

Referirse a los anexos:

Anexo 2. Vista interior de la vivienda mínima modular.

Anexo 6. Dimensionamiento, distribución de espacios y mobiliario de la planta baja de la vivienda mínima modular.

Vista en planta de la losa de cubierta

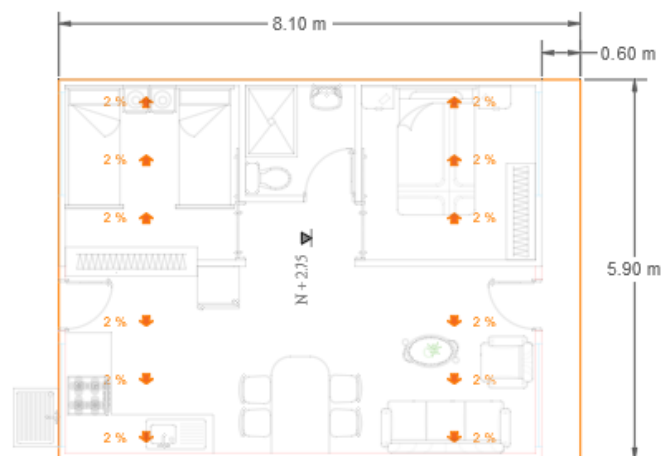


Figura 2.4. Dimensiones de la losa de cubierta de la vivienda mínima modular.

Fuente: Autores.

Referirse al anexo 7. Dimensionamiento y vista en planta de la losa de cubierta nivel: 2.50 m de la vivienda mínima modular.

Vistas de fachadas de la vivienda mínima modular

Fachada frontal

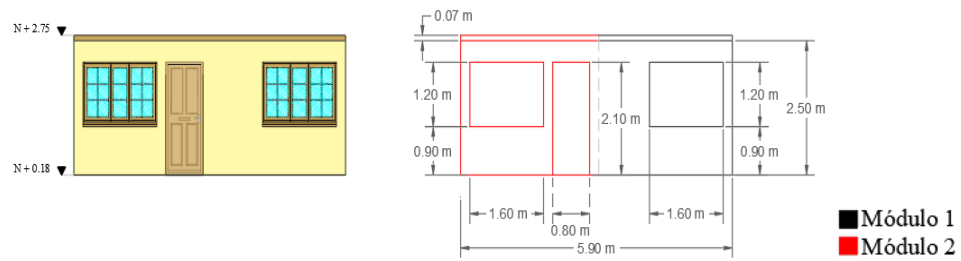


Figura 2.5. Vista y dimensionamiento de fachada frontal de la vivienda mínima modular.

Fuente: Autores.

Fachada posterior

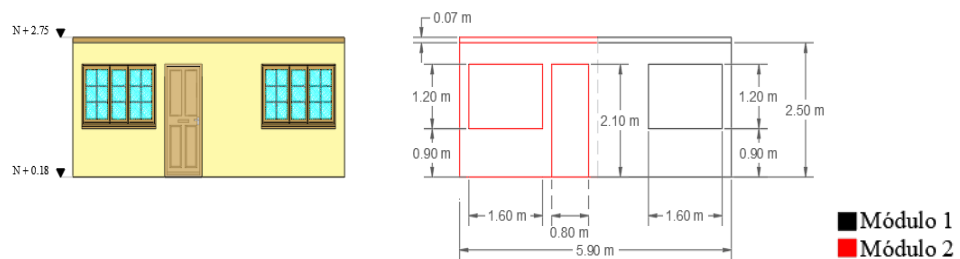


Figura 2.6. Vista y dimensionamiento de fachada posterior de la vivienda mínima modular.

Fuente: Autores.

Fachada lateral derecha

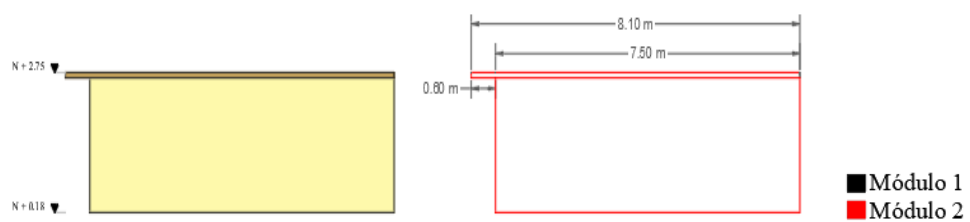


Figura 2.7. Vista y dimensionamiento de fachada lateral derecha de la vivienda mínima modular.

Fuente: Autores.

Fachada lateral izquierda

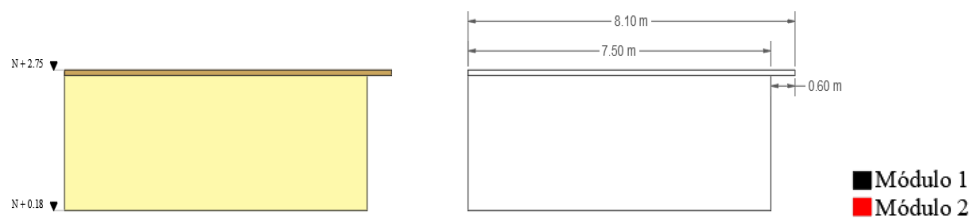


Figura 2.8. Vista y dimensionamiento de fachada lateral izquierda de la vivienda mínima modular.

Fuente: Autores.

Referirse a los anexos:

Anexo 1. Vista exterior de la vivienda mínima modular.

Anexo 5. Dimensionamiento y vistas de los perfiles de la vivienda mínima modular.

Anexo 11. Vista arquitectónica de los perfiles de la vivienda mínima modular.

2.6 Propuesta para una futura ampliación de la vivienda mínima modular

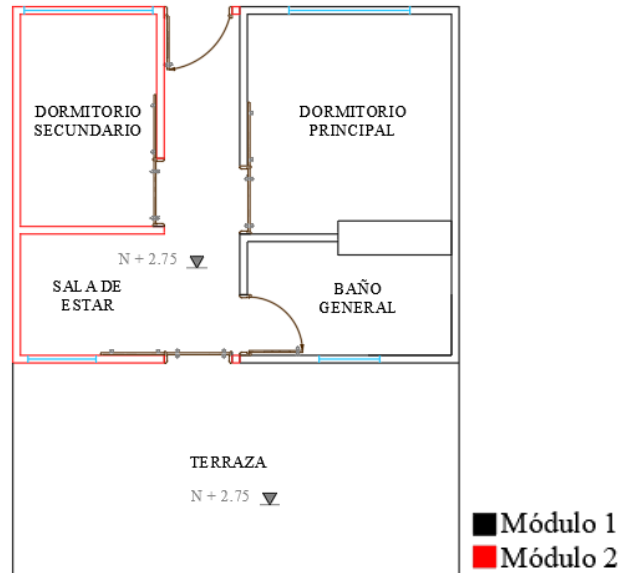


Figura 2.9. Distribución de áreas de la planta alta de la vivienda mínima modular.

Fuente: Autores.

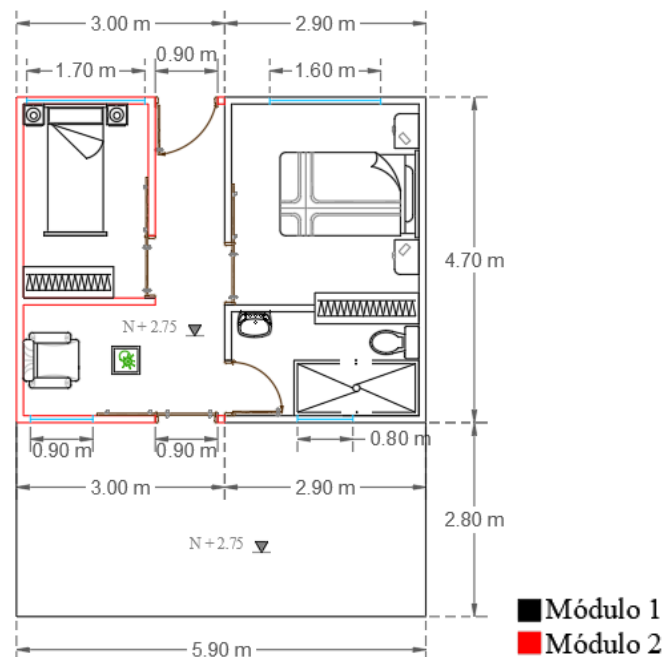


Figura 2.10. Mobiliario de la planta alta de la vivienda mínima modular.

Fuente: Autores.

Referirse a los anexos:

Anexo 8. Dimensionamiento, distribución de espacios y mobiliario de la proyección de la planta alta de la vivienda mínima modular.

Anexo 10. Dimensionamiento, mobiliario y vista de los perfiles de la planta alta de la vivienda mínima modular.

Vista de la vivienda ampliada en planta

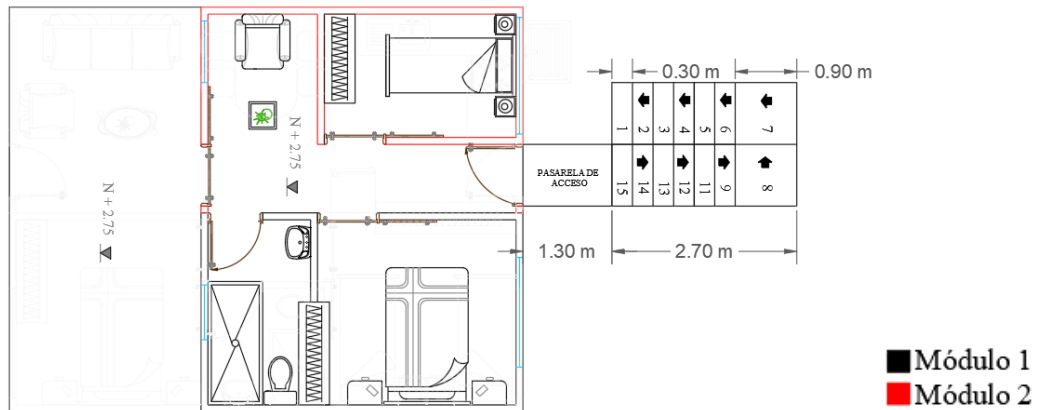


Figura 2.11. Vista en planta de la vivienda mínima modular ampliada.

Fuente: Autores.

Referirse al anexo 9. Acceso a la planta alta de la vivienda mínima modular.

2.7 Criterios para la distribución interna de los espacios en la vivienda

El concepto tradicional de vivienda con el pasar de los años ha cambiado. La vivienda moderna debe satisfacer las necesidades de sus habitantes en términos físicos, psicológicos, sociales y ambientales. Esto lo ratifica la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en su programa Hábitat, en donde menciona que una vivienda adecuada debe ser saludable, segura, accesible y asequible, con los servicios básicos. Para conseguir esto la vivienda propuesta debe tener las siguientes características: privacidad, espacios adecuados, accesibilidad física, seguridad, estabilidad y durabilidad estructural, iluminación, calefacción y/o ventilación), incluir infraestructura de servicios básicos (agua potable, servicios sanitarios, disposición de residuos).

El ser humano para poder realizar cada una de sus actividades necesita de zonas determinadas en las que pueda moverse libremente y realizar sus actividades con comodidad. Inclusive es importante considerar que el hombre para realizar muchas actividades hace uso de utensilios, y esto un factor importante a considerar para el dimensionamiento óptimo y confortable de los espacios al interior de la vivienda.

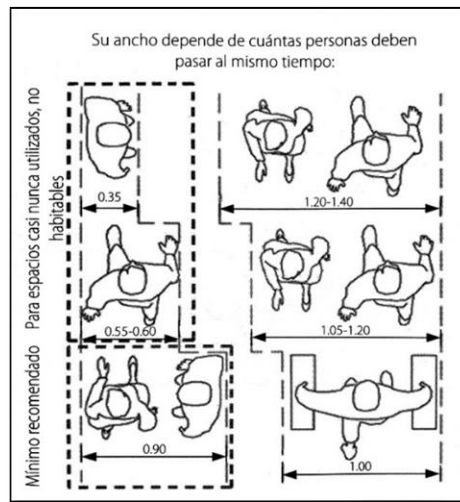


Figura 2.12. Dimensionamiento óptimo para espacios internos de vivienda.

Fuente: (Arredondo Zambrano & Reyes Bernal, 2013).

Un factor importante a considerar dentro de la distribución de los espacios interiores de la vivienda es el ambiente que tienen éstos, puesto que tienen implicaciones psicológicas en los habitantes. Este problema se lo puede enfrentar creando espacios que no sean opresivos y que permitan preciar la luz del día, la radiación solar, la oscuridad en la noche, etc. Con estas consideraciones se garantiza ambientes estimulantes y equilibrados para vivir.

Para empezar con la distribución interior de los espacios de la vivienda debemos elegir qué tipo de espacios queremos incluir en la vivienda. La vivienda propuesta contara con los siguientes espacios:

Privados

- Dormitorio principal.
- Dormitorio secundario.

Social

- Sala.
- Comedor.

Servicio

- Baño general.
- Cocina y lavandería.

Referirse a los anexos:

Anexo 3. Vista en corte del interior del módulo 1 de la vivienda mínima modular.

Anexo 4. Vista en corte del interior del módulo 2 de la vivienda mínima modular.

2.8 Justificación de la normativa utilizada para la elección de parámetros aplicados en la vivienda mínima modular

Consideraciones generales

Se considera una altura de 2.50 m desde el piso terminado hasta el cielo raso de la vivienda, siendo la altura mínima para locales habitables de 2.20 m.

Se considera el área mínima de ventanas será del 20 % de la superficie del área en particular. Excepto en piezas de baño y las otras dependencias secundarias podrán ventilarse mediante ductos de áreas no menores a 0.32 m².

Se toma en cuenta que el baño no se podrá comunicar directamente con la cocina.

Para la dimensión mínima de puertas se toma en cuenta los siguientes criterios:

- Puerta de entrada: 2.10 m de alto y 0.90 m de ancho.
- Puerta de dormitorios y cocina: 2.10 m de alto y 0.80 m de ancho.
- Puertas para baño: 2.10 m de alto y 0.70 m de ancho (Municipalidad de Cuenca, 2002).

Se considera para el área de dormitorio un cubicaje de aire mínimo de 9.00 m³ por persona. En el dormitorio de la vivienda propuesta, el cubicaje de aire es de 18.23 m³ considerando que en el mismo existe dos personas. Además, este espacio destinado a dormitorio será ventilado e iluminado en forma natural, es decir que recibirá luz y aire desde el exterior.

Se considera que el área de cocina disponga de mesa de trabajo, de ancho útil no menor a 0.60 m con fregadero de vajilla incorporado. Se preverá de sitios para ubicar un artefacto de cocina y un refrigerador como equipamiento mínimo.

Se considera que la vivienda dispondrá como mínimo de un cuarto de baño que cuente con inodoro, lavabo y ducha.

El área de la ducha elegida es de 0.88 m², con un lado de dimensión libre de 1.10 m. De esta manera se cumple con los requerimientos mínimos de una superficie mínima

de 0.56 m² y con un lado de dimensión mínima libre de 0.70 m. Además, esta será independiente de las demás piezas sanitarias.

El lavabo puede ubicarse de manera anexa o contigua al cuarto de inodoro y ducha.

Se considera una altura no menor a 0.90 m medida desde el piso terminado para toda abertura, vano o entrepiso que dé al vacío, que dispondrá de un elemento estable y seguro tipo antepecho, balaustrada, barandilla, cortina de cristal o similares (Concejo Metropolitano de Quito, 2003).

2.9 Descripción de las áreas de la vivienda mínima modular

Dormitorio principal y secundario

La función primordial de un dormitorio es brindar la comodidad a sus habitantes para descansar. En consecuencia, el tamaño y ubicación de la cama rigen la dimensión del dormitorio.

A su vez se considera la funcionalidad que tendrá este espacio, las cuales contemplan otras funciones como leer, vestirse, estudiar, etc. Por lo cual, se ha incluido nuevo mobiliario dentro del mismo. Los dormitorios deberán estar alejados del área social y de servicio, y estar estrechamente comunicados con los baños familiares.

Otro factor es el número de miembros de la familia, el cual determina el número de camas, y por lo tanto el número de dormitorios. Generalmente se determina que los padres deberán tener un dormitorio principal, siendo más grande y muchas de las veces acompañados con un baño (Arias & Malo, 2013).

Tabla 2.1. Áreas mínimas recomendadas para dormitorios.

Tipo de área	Área mínima (m ²)	Lado mínimo (m)	Altura mínima (m)
D. Principal	7	2.4	2.3
D. Secundario	6	2.2	2.3

Fuente: (Arredondo Zambrano & Reyes Bernal, 2013).

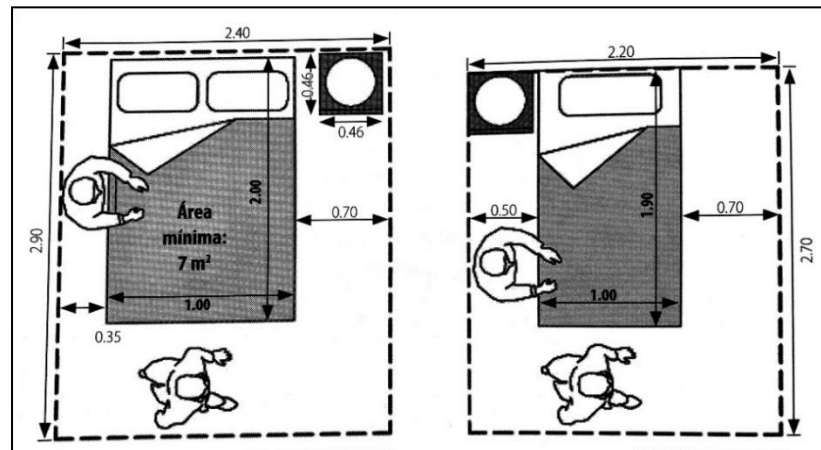


Figura 2.13. Distribución del espacio del dormitorio principal y secundario.

Fuente: (Arredondo Zambrano & Reyes Bernal, 2013).

Cocina y lavandería

La cocina es el área en donde se preparan los alimentos. Su tamaño y distribución responde a la secuencia de dicha actividad, con espacios para almacén, preparación, refrigeración y servicio, etc.

Es importante que los espacios sean compactos en la distribución de los muebles, sobre todo para el trabajo básico. La distribución de la misma varía según las necesidades individuales, sin embargo, es necesario conservar las relaciones entre las diferentes áreas de trabajo. Se debe reducir en lo posible la circulación dentro de la cocina; las interferencias al funcionamiento deben eliminarse.

Se considerará un diseño que sea funcional y optimice los movimientos del usuario, evitando los estiramientos forzados y las frecuentes e incómodas agachadas (Arias & Malo, 2013).

Tabla 2.2. Área mínima recomendada para cocina.

Tipo de área	Área mínima (m ²)	Lado mínimo (m)	Altura mínima (m)
Cocina	4.7	1.95	2.3

Fuente: (Arredondo Zambrano & Reyes Bernal, 2013).

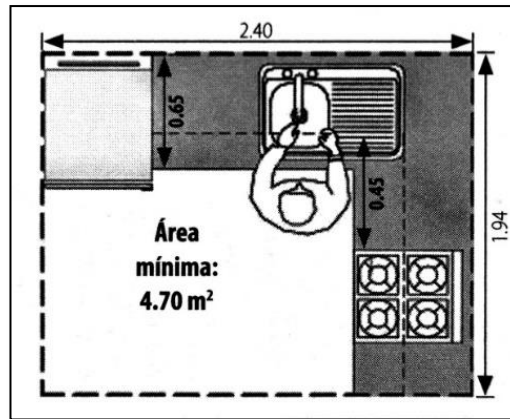


Figura 2.14. Distribución del espacio de la cocina.

Fuente: (Arredondo Zambrano & Reyes Bernal, 2013).

La lavandería es el área destinada para lavar la ropa. Su diseño depende la secuencia funcional de las actividades, así como del mobiliario a usarse dentro de la misma y de los closets de almacenamiento.

Frecuentemente, este local se encuentra anexo a la cocina o a uno de los baños de la vivienda (Arias & Malo, 2013).

Tabla 2.3. Área mínima recomendada para lavandería.

Tipo de área	Área mínima (m²)	Lado mínimo (m)	Altura mínima (m)
Lavandería	2.3	1.4	2.3

Fuente: (Arredondo Zambrano & Reyes Bernal, 2013).

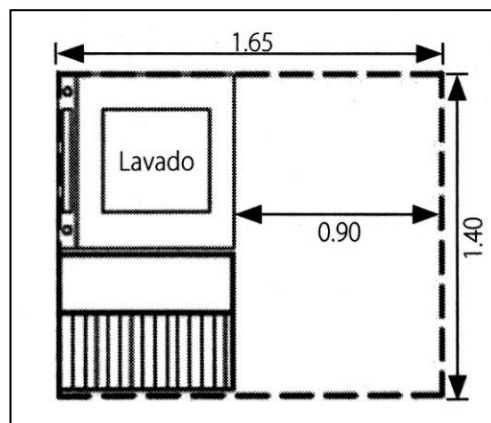


Figura 2.15. Distribución del espacio de lavandería.

Fuente: (Arredondo Zambrano & Reyes Bernal, 2013).

Sala y comedor

La sala es usualmente concebida como el espacio principal de la vivienda, siendo el lugar de encuentro social y familiar. Las actividades principales que se realizan dentro de este espacio son leer, conversar, escuchar música, estar, ver televisión y descansar.

Su diseño de la sala gira en torno a la agrupación y disposición del mobiliario, que deberá permitir la conversación y reunión. Los grupos de conversación se aglutinan en forma centrífuga siempre en torno a un foco de atracción visual, que puede ser una mesa de centro, una chimenea, una ventana, etc. Ésta área debe crear espacios agradables (Arias & Malo, 2013).

Tabla 2.4. Área mínima recomendada para sala de estar.

Tipo de área	Área mínima (m ²)	Lado mínimo (m)	Altura mínima (m)
Sala	7.3	2.6	2.3

Fuente: (Arredondo Zambrano & Reyes Bernal, 2013).

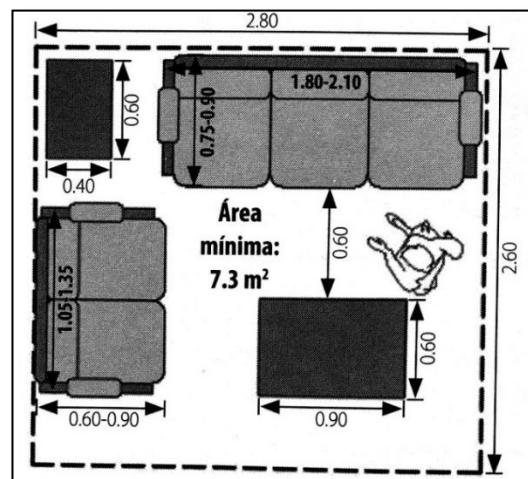


Figura 2.16. Distribución del espacio de la sala de estar.

Fuente: (Arredondo Zambrano & Reyes Bernal, 2013).

El comedor se considera un lugar familiar importante porque aquí se reúne la familia a tomar los alimentos, pero también es aprovechado para otras funciones como estudio, lectura, conversar, etc.

Su diseño depende de: número de personas que lo van a ocupar, el espacio que ocupan estas personas sobre la mesa, el espacio para las sillas y la circulación entre ellas, la distribución de los asientos y el tamaño y tipo de mobiliario (Arias & Malo, 2013).

Tabla 2.6. Área mínima recomendada para baños.

Tipo de área	Área mínima (m ²)	Lado mínimo (m)	Altura mínima (m)
Baño	2.56	1.7	2.2

Fuente: (Arredondo Zambrano & Reyes Bernal, 2013).

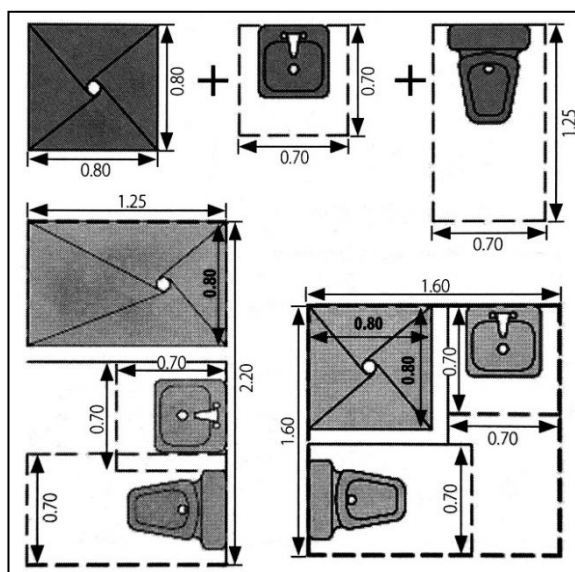


Figura 2.18. Distribución del espacio del baño.

Fuente: (Arredondo Zambrano & Reyes Bernal, 2013).

Distribución de áreas de la vivienda mínima modular

Tabla 2.7. Comprobación de las áreas de la vivienda mínima modular.

Habitación	Dimensiones (m)		Área mínima (m ²)	Área real (m ²)
Dormitorio principal	Largo	2.70	7	7.29
	Ancho	2.70		
Dormitorio secundario	Largo	2.70	6	6.88
	Ancho	2.70		
Cocina	Largo	2.75	4.7	7.81
	Ancho	2.70		
Sala y comedor	Largo	4.55	7.3 – 8.4	14.75
	Ancho	2.70		
Baño general	Largo	1.70	2.56	2.89
	Ancho	1.70		

Fuente: Autores.

2.10 Elección del sistema estructural de la vivienda mínima modular

2.10.1 Método cualitativo por puntos (ventajas y desventajas)

Consiste en asignar valores a una serie de factores que se consideran relevantes. Esto facilita la comparación cuantitativa de los distintos sistemas estructurales. El método permite ponderar factores de preferencia para el investigador con el fin de tomar una decisión.

El procedimiento que emplea este método es el siguiente:

1. Desarrollar una lista de factores relevantes
2. Asignar un peso a cada factor dependiendo de su relevancia. La sumatoria de los pesos deben sumar 1.00. Cada peso establecido depende únicamente del criterio del investigador.
3. Asignar una escala común a los distintos factores.
4. Calificar a cada sistema estructural de acuerdo con la escala designada y multiplicar el peso por la calificación asignada.
5. Sumar la puntuación de cada sistema estructural y elegir el de máxima puntuación (Baca Urbina, 2001).

2.10.2 Factores relevantes

Factor económico

Se considera primordial en la vivienda mínima la fijación de un costo accesible para que la población de bajos recursos la adquiera. Como consecuencia se requiere de un monto inferior de dinero que permite al comprador optar de manera fácil por un crédito hipotecario para obtener su vivienda.

Para este factor se le asigna un peso de: 0.25.

Factor condición de servicio

Es fundamental garantizar la calidad y confort para las personas que habiten la vivienda. Se toma en consideración el comportamiento de la vivienda ante distintas solicitudes de cargas y la comodidad que brinde a sus ocupantes.

Para este factor se le asigna un peso de: 0.25.

Factor durabilidad

Es clave asegurar la durabilidad de la vivienda mínima por medio del cumplimiento de un control de calidad de materiales y procesos constructivos ejecutados para maximizar la vida útil de la estructura.

Para este factor se le asigna un peso de: 0.20.

Factor tiempo de construcción

Es de vital importancia el tiempo de construcción de la vivienda mínima, por lo que intervine directamente con los costos de la misma. Por lo cual se optará por reducir al máximo el mismo con el fin de disminuir el precio de la vivienda.

Para este factor se le asigna un peso de: 0.15.

Mantenimiento y reparación

Se considera un aspecto importante la facilidad con la que se puede realizar el mantenimiento y reparaciones de la edificación, además los costos que implican estos, y los periodos de tiempo en los cuales se deben realizar.

Para este factor se le asigna un peso de: 0.15.

Elección de escala de calificaciones

La escala que se aplicará en este método será de 0 a 10. Siendo 0 la puntuación mínima y 10 la puntuación máxima.

2.11 Presentación de sistemas constructivos y parámetros de calificación

2.11.1 Sistema semi-prefabricado con paneles de hormigón

La construcción semi-prefabricada con paneles de hormigón consiste en la elaboración en fábrica de cada uno de los componentes de una estructura. Cada elemento es transportado al sitio de emplazamiento y son colocados con la ayuda de una grúa. Lo que caracteriza a este sistema es la calidad, puesto que los elementos se los fabrican en un entorno controlado y protegido de las condiciones ambientales adversas. Además, la mano de obra que participa en cada etapa del proceso es calificada, lo que representa una gran ventaja con respecto a la construcción “in situ”.

Aunque el costo final de la obra no sea muy inferior a la construcción tradicional, este sistema logra generar un ahorro en la mano de obra debido a que no necesita de mucho personal para el ensamble de los elementos. Pero si podemos decir que la gran ventaja que este sistema nos ofrece es la alta resistencia a sismos y al fuego, inclusive superando a otros sistemas como el steel framing.

Las obras construidas con este tipo de sistema dejan una huella ambiental mucho menos comparada con los sistemas tradicionales. El hormigón pre moldeado es para los países en vías de desarrollo es muy conveniente puesto que la velocidad en los procesos permite que se genere un ahorro económico.



Figura 2.19. Sistema semi-prefabricado con paneles de hormigón.

Fuente: (Arquitectura de casas, 2018).

Los beneficios que nos presenta este tipo sistema son las siguientes:

- Velocidad en la construcción.
- Control de calidad en planta.
- Control acústico y térmico.
- Construcción en cualquier condición climática.
- Economía por procesos repetitivos.
- Mayor vida útil.

2.11.2 Sistema steel framing

Este sistema constructivo se caracteriza por usar como materiales primordiales perfiles ligeros de acero galvanizado y planchas de fibrocemento o gypsum. La estructura se forma a partir de colocar sobre rieles a parantes de acero cada cierta distancia, según lo especificado en el diseño, con el fin de colocar las planchas antes mencionadas. Una

vez colocadas las planchas, se coloca una cinta de fibra de vidrio o papel en las uniones para que se pueda dar el respectivo acabado a las paredes.

El nombre de este sistema se debe a que cuando se realiza el proceso de ensamblaje no se usa agua, por lo que es considerado un tipo de trabajo en seco. Esta característica hace que tengamos obras más ágiles y limpias. A este tipo de sistema se le podría considerar como la versión de acero del sistema de entramado de madera de las típicas casas norteamericanas (Arias & Malo, 2013).

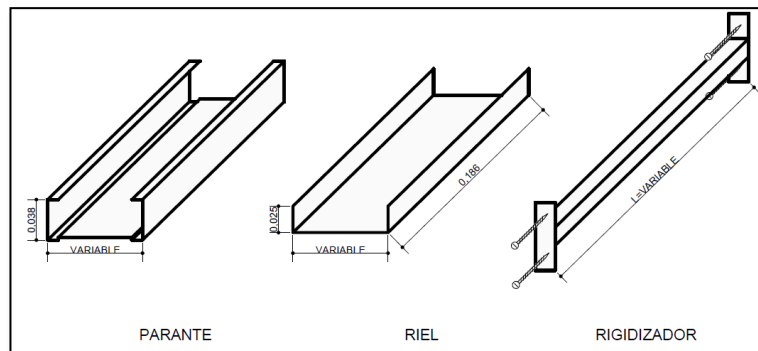


Figura 2.20. Perfilera metálica utilizada en el sistema steel framing.

Fuente: (Arias & Malo, 2013).



Figura 2.21. Sistema steel framing.

Fuente: (American designe construction, 2018).

Los beneficios que nos presenta este tipo sistema son las siguientes:

- Aislamiento térmico y acústico.
- Incorporación de las instalaciones eléctricas y de plomería en el interior de los muros y techo.
- Rapidez en su montaje.
- Ligereza estructural.
- Facilidad de tener diseños versátiles.

- Obras limpias, no desprende desperdicios como un muro de ladrillos.
- Estructuras sostenibles.
- Poca mano de obra calificada.
- Fácil modificación a futuro.

2.11.3 Sistema metálico y pared micro hormigón

Es un sistema que combina el sistema de paneles de micro hormigón vibro prensado con alma de poliestireno y estructura metálica galvanizada. Este sistema permite reducir el peso total de la estructura significativamente, en un 66 % en lo que refiere a mampostería convencional y 22 % a estructura metálica.

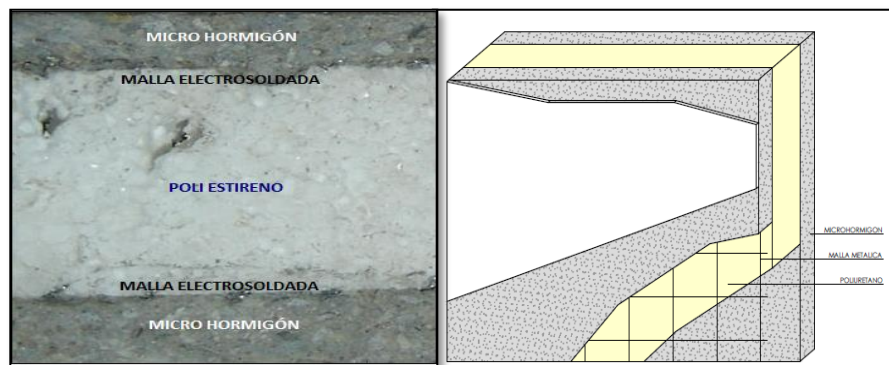


Figura 2.22. Panel reforzado de la empresa Hormypol.

Fuente: (Hormypol, 2018).

Las paredes están constituidas por una capa de poliestireno expandido que cuenta con malla hexagonal en las dos caras del poliestireno expandido y están embebidas a las capas de micro hormigón generadas en cada lado, con grosor promedio de 7.40 cm. Además, se produce un efecto de blindaje frente a posibles intentos de atravesarla, o de ser destruida por golpes muy fuertes.

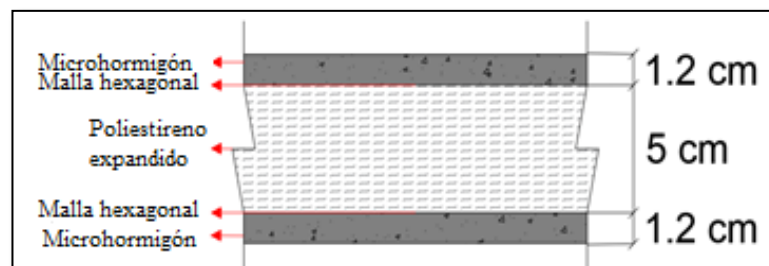


Figura 2.23. Láminas que conforman el panel de reforzado de la empresa HORMYPOL.

Fuente: Autores.

Ventajas:

- Es un aislante térmico ya que utiliza poli estireno expandido en sus paneles lo cual mantiene las temperaturas confortables y estables.
- Aísla el sonido ya que contiene un material que absorbe frecuencias altas, medias y bajas, proporcionando un ambiente sin molestias.
- Debido a que se convierten en paredes de hormigón armado no podrán ser destruidas en caso de vandalismo, robo o incendios.
- Permite reducir el área y la carga producto de la tabiquería, la misma que no se pudre y es liviana por su alma de poli estireno.
- Sistema alternativo de construcción son fáciles y menor tiempo de ejecución con menor mano de obra (Carpio Rodríguez, 2016).

2.12 Matriz de resultados del método cualitativo por puntos

Tabla 2.8. Matriz de resultados del método cualitativo por puntos.

Método cualitativo por puntos (ventajas y desventajas)				
Factores críticos	Peso	S. semi-prefabricado panel hormigón	S. steel framing	S. metálico y pared micro hormigón
Economía	0.25	7.32	7.63	9.77
Condiciones de servicio	0.25	10.00	10.00	10.00
Durabilidad	0.20	10.00	8.00	9.00
Tiempo de construcción	0.15	8.46	10.00	9.23
Mantenimiento y reparación	0.15	8.00	10.00	9.00
Sumatoria	1	8.80	9.01	9.48

Fuente: Autores.

Tabla 2.9. Sistema estructural elegido por mayor puntuación.

Elección máxima calificación	9.48
Sistema estructural	S. metálico y pared micro hormigón

Fuente: Autores.

Tabla 2.10. Calificación asignada a los diferentes sistemas estructurales por evaluación económica.

Evaluación de economía	Costo	Calificación	Peso kg/m ²	Calificación	C. total
S. semi-prefabricado panel hormigón	16114.81	5.73	240	1.59	7.32
S. steel framing	25443.75	3.63	95.54	4.00	7.63
S. metálico y pared micro hormigón	15394.81	6.00	101.5	3.77	9.77

Fuente: Autores.

Tabla 2.11. Interpolación de costo aproximado para la vivienda mínima modular en los diferentes sistemas estructurales.

Área vivienda propuesta	44.25	m²	
Interpolación precio viviendas			
Vivienda s. semi-prefabricado panel hormigón			
Costo \$	13695.18	16990	16114.81
Area m²	37.2	46.8	44.25
Vivienda sistema steel framing			
Costo m²	500	650	575
Costo \$	22125	28762.5	25443.75
Vivienda S. metálico y pared micro hormigón			
Costo \$	13647.05	17902.47	15394.81
Area m²	38.04	53.16	44.25

Fuente: Autores.

Tabla 2.12. Calificación asignada a los diferentes sistemas estructurales por evaluación de condiciones de servicio.

Evaluación de c. servicio	Calificación	Observación
S. semi-prefabricado panel hormigón	10.00	
S. steel framing	10.00	
S. metálico y pared micro hormigón	10.00	

Fuente: Autores.

Tabla 2.13. Calificación asignada a los diferentes sistemas estructurales por evaluación de durabilidad.

Evaluación de durabilidad	Calificación	Observación
S. semi-prefabricado panel hormigón	10.00	
S. steel framing	8.00	Corrosión en estructura y paredes
S. metálico y pared micro hormigón	9.00	Corrosión en estructura

Fuente: Autores.

Tabla 2.14. Calificación asignada a los diferentes sistemas estructurales por evaluación del tiempo de construcción.

Evaluación de t. construcción	Calificación	Reduccion %	Observación
S. semi-prefabricado panel hormigón	8.46	55%	Reduce 55 % el tiempo de construcción
S. steel framing	10.00	65%	Reduce 65 % el tiempo de construcción
S. metálico y pared micro hormigón	9.23	60%	Reduce 60 % el tiempo de construcción

Fuente: Autores.

Tabla 2.15. Calificación asignada a los diferentes sistemas estructurales por evaluación de mantenimiento y reparación.

Evaluación de r. y mantenimiento	Calificación	Observación
S. semi-prefabricado panel hormigón	8.00	Compromete el sistema estructural y difícil reemplazo
S. steel framing	10.00	
S. metálico y pared micro hormigón	9.00	Disminuida capacidad de forma en reemplazo de piezas

Fuente: Autores.

2.13 Justificación de la calificación asignada

2.13.1 Sistema semi-prefabricado con paneles de hormigón

Calificación asignada en los factores relevantes

Economía: 7.32 / 10.00

En Ecuador no existe mucha oferta en lo que respecta a viviendas prefabricadas de hormigón. Casa Mía una empresa quiteña que se dedica a la investigación y desarrollo de la vivienda de interés social. Su sistema constructivo está constituido básicamente por paredes de 10.00 cm de espesor auto soportantes formadas a partir de eco bloques modulares tipo T.

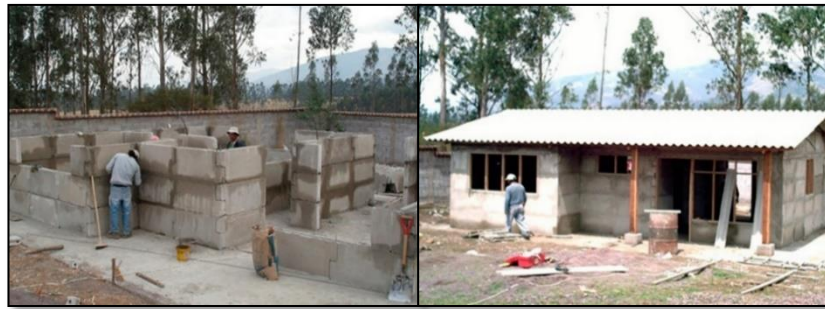


Figura 2.24. Montaje de paneles de hormigón.

Fuente: (Casa Mía, 2015).

Casa Mía nos ofrece una gran variedad de diseños pre establecido, así mismo nos da la posibilidad de construir un diseño que proponga el cliente.

La vivienda que tiene el precio más barato cuenta con un área de 37.20 m². Cuenta con 2 dormitorios, 1 baño, sala, comedor y cocina a un precio de \$13,695.18 + IVA.

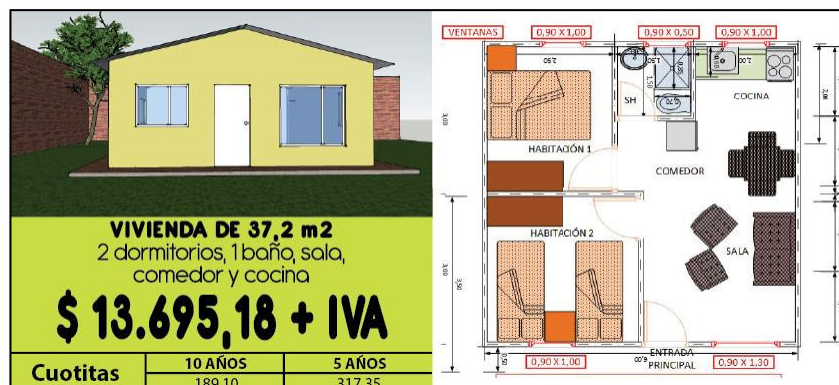


Figura 2.25. Costo y distribución de áreas de la vivienda de 37.20 m².

Fuente: (Casa Mía, 2015).

La vivienda que tiene el precio más alto cuenta con un área de 72.50 m². Cuenta con 3 dormitorios, 2 baños, sala, comedor, cocina y porsche a un precio de \$26,322.72 + IVA.

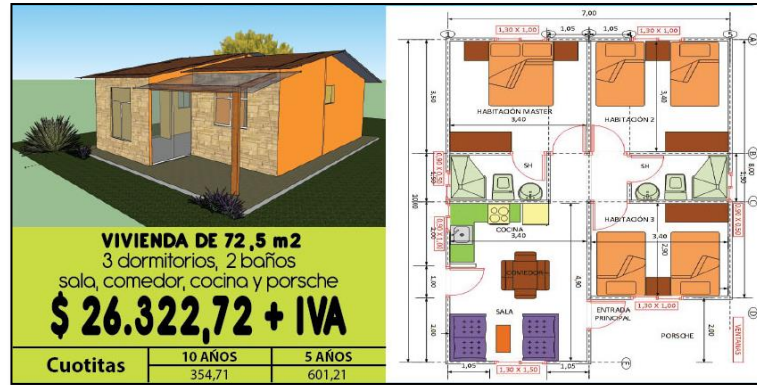


Figura 2.26. Costo y distribución de áreas de la vivienda de 72.50 m².

Fuente: (Casa Mía, 2015).

La vivienda propuesta cuenta con un área de 44.25 m² y un costo aproximado de \$ 16,114.81.

Condiciones de servicio: 10.00 / 10.00

Conforme a información proporcionada por la empresa Casa Mía, los materiales constructivos empleados son adecuados y de calidad. Siendo elementos que garanticen sus propiedades térmicas, acústicas, resistencia a la compresión y sismo atenuantes. Obteniendo como resultado una vivienda económica sismo resistente bajo las normas NEC.

Durabilidad: 10.00 / 10.00

La empresa Casa Mía considera que los elementos empleados en el sistema constructivo poseen una vida útil de 200 años. Además, estos son impermeables y aislantes termo acústicos, con poca degradación y resistente a esfuerzos.

Tiempo de construcción: 8.46 / 10.00

La empresa Casa Mía ofrece un tiempo de construcción en obra gris de 50.00 m² en 20 días laborables. Debido a ser un sistema que necesita un proceso de fraguado se tomara una reducción del 55 % en su tiempo de construcción.

Mantenimiento y reparación: 8.00 / 10.00

Según la información de la empresa Casa Mía, éste sistema constructivo reduce el mantenimiento por la alta estabilidad de los materiales al paso del tiempo. Siendo la estructura principal de acero y paredes compactas de hormigón armado de 10.00 cm (Casa Mía, 2015).

2.13.2 Sistema steel framing

Calificación asignada en los factores relevantes

Economía: 7.63 / 10.00

En Ecuador existen varias empresas que nos ofrecen viviendas prefabricadas producidas con este sistema. Algunos ejemplos de estas son: Acerotec, CayoPalm beach, Prometal y Ecoliving. Es importante mencionar que estas tres primeras empresas ofrecen tipos de viviendas accesibles y transportables. Ecoliving está enfocada más en la producción de casas destinadas para la clase media alta.

La economía juega un papel importante para decidir qué sistema constructivo es el más apropiado para nuestro medio y para dar solución a la problemática planteada. Se realizó una cotización a Prometal que mediante su jefe de producción Ing. Geovanny Simbaña, el cual nos supo informar que el costo de una vivienda oscila entre los \$500.00 y \$650.00 dólares por m², es decir que la vivienda propuesta costaría entre los \$ 22,125.00 y \$ 28,762.50. Los costos de la vivienda incluyen acabados en una línea media e instalación, no cubre costos de transporte ni de logística de instalación.



Figura 2.27. Sistema steel framing.

Fuente: (Ecoliving, 2018).

La vivienda propuesta cuenta con un área de 44.25 m² y un costo aproximado de \$ 25,443.75.

Condiciones de servicio: 10.00 / 10.00

Según Acerotec este sistema cuenta con paredes tipo sándwich las cuales permiten incorporar en el espacio vacío elementos como el poliestireno o la lana de vidrio, entre otros, con el fin de alcanzar los niveles de desempeño térmico y acústico que se desean. Esto genera edificaciones con un excelente desempeño tanto térmico como acústico. Estas construcciones con estructuras livianas de acero de alta resistencia tienen una excelente respuesta a los sismos. Los diseños son realizados con estricto cumplimiento de las principales normas internacionales de construcción en lo que respecta a la resistencia a los sismos, ofreciendo a sus clientes los servicios de ingeniería para realizar los diseños estructurales garantizando su condición de ser sismo resistente.

Durabilidad: 8.00 / 10.00

De acuerdo a los datos de Acerotec, las normas internacionales de construcción con el sistema LSFD establecen la calidad del acero a utilizarse, el mismo que para asegurar su durabilidad debe cumplir con los requerimientos de protección galvánica de norma Z275 como mínimo. Las pruebas realizadas por los organismos que emiten las normas aseguran períodos de vida útil de la estructura de más de 200 años, lo cual constituye una garantía de durabilidad.

El steel framing se caracteriza por ofrecer estructuras ligeras, pero esto sin comprometer ni su seguridad ni duración. Prometal indica que todos sus marcos de acero galvanizado Ecoframe son certificados y garantizados bajo norma ASTM A653 SS (Structural Steel), además se rigen bajo las Normas Ecuatoriana de Construcción (NEC) y el AISI S100 de EEUU. Así mismo las estructuras ofrecen una relación peso-resistencia mucho mayor que la construcción convencional con mampostería. De la misma manera el acero posee la relación más alta resistencia-peso que cualquier otro material, pues Ecoframe al tener un peso menor reduce el impacto sísmico sobre la estructura. Estas bondades permiten que este sistema presente un excelente desempeño sísmico.

Tiempo de construcción: 10.00 / 10.00

Según Acerotec este sistema se beneficia de la precisión que se alcanza en los procesos industriales. Con modernos sistemas, equipos y maquinarias computarizados permiten construir todos los elementos sin posibilidad de error humano en las dimensiones y

formas. Cada una de las piezas es fabricada exactamente como fueron diseñadas y eso facilita su perfecto ensamble hasta formar los paneles portantes con máxima velocidad. Esto permite reducir los tiempos de construcción en un 65 % y disminuir el personal requerido en obra aproximadamente en un 45 %, siendo un sistema de construcción que no necesita fraguado del hormigón.

Mantenimiento y reparación: 10.00 / 10.00

Según datos de la empresa Acerotec, éste sistema constructivo reduce el mantenimiento por la alta duración de los materiales al paso del tiempo, además de ser inmune a plagas en general (AceroTEC, 2016).

Calificación asignada en los factores relevantes

2.13.3 Sistema metálico y pared micro hormigón

Economía: 9.77 / 10.00

Análisis del parámetro costo del sistema metálico y pared micro hormigón:

Costo de la vivienda modular mínima de 44.25 m².

Según la empresa Hormypol presenta dos presupuestos en este tipo de vivienda:

Tabla 2.16. Costo de las viviendas sin acabados propuestos por la empresa Hormypol.

Tipo de vivienda	Área (m ²)	Costo \$ (sin acabados - no incluye IVA, transporte)
Fénix srr-01 básica	38.04	11632.74
Ampliada Fénix srr-02 básica	53.16	15169.27

Fuente: (Hormypol, 2018).

Con la ayuda de una interpolación podemos conocer que el costo de la vivienda mínima estaría estimado en \$13,085.24. Se asume las condiciones impuestas por la empresa Hormypol.

Tabla 2.17. Costo de las viviendas con acabados propuestos por la empresa Hormypol.

Tipo de vivienda	Área (m ²)	Costo \$ (con acabados - no incluye IVA, transporte)
Fénix srr-01 básica	38.04	13647.05
Ampliada Fénix srr-02 básica	53.16	17902.47

Fuente: (Hormypol, 2018).



Figura 2.28. Vivienda Fénix srr-01 básica y su distribución de áreas.

Fuente: (Hormypol, 2018).

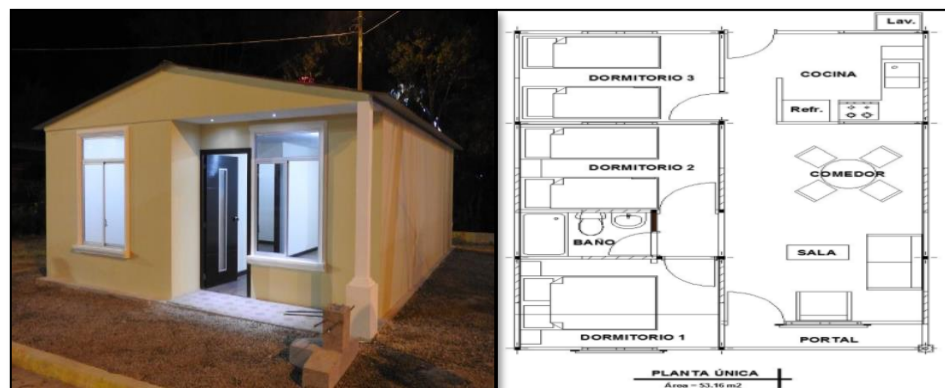


Figura 2.29. Vivienda ampliada Fénix srr -02 y su distribución de áreas.

Fuente: (Hormypol, 2018).

Mediante el proceso de interpolación el valor de la vivienda mínima estaría en un estimado de \$ 15,394.81 con un área de 44.25 m². Se asume las condiciones impuestas por la empresa Hormypol.

Según datos de la empresa Hormypol el tipo de vivienda Fénix srr-01 cuenta con un peso total de la vivienda de 11.50 ton.

Condiciones de servicio: 10.00 / 10.00

Conforme a información proporcionada por la empresa Hormypol, los materiales constructivos empleados son adecuados y de calidad. Estos elementos son los que garantizan la rigidez, durabilidad y economía de la vivienda. Además, poseen propiedades sismo atenuantes, lo que da como resultado una vivienda económica sismo resistente bajo las normas ACI y NEC. Conjuntamente el sistema constructivo permite reutilizar todas sus partes para su movilización o readecuación.

Durabilidad: 9.00 / 10.00

La empresa Hormypol considera a los elementos empleados en el sistema constructivo impermeables y aislantes termo acústicos, con poca degradación y resistente a esfuerzos.

Tiempo de construcción: 9.23 / 10.00

Conforme la empresa Hormypol la relación alcanzada en tiempo de construcción con la aplicación de éste sistema constructivo es de cinco a uno frente al sistema tradicional, lo que implicaría grandes beneficios económicos y logísticos. Debido a ser un sistema que necesita un proceso de fraguado se tomara una reducción del 65 % en su tiempo de construcción.

Mantenimiento y reparación: 9.00 / 10.00

Según datos de la empresa Hormypol, éste sistema constructivo reduce el mantenimiento por la alta estabilidad de los materiales al paso del tiempo. Considera la utilización de elementos de mantenimiento mínimo como perfilería galvanizada, cubierta de galvalúmen y paneles de micro hormigón con poliestireno expandido EPS (Hormypol, 2018).

CAPÍTULO 3

MODELACIÓN Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA VIVIENDA MÍNIMA MODULAR

3.1 Pre diseño de la vivienda modular tipo

Esta es la etapa de la definición del sistema estructural y dimensiones tentativas para evaluar preliminarmente las diferentes solicitaciones tales como: las cargas permanentes y las cargas variables. Para esta etapa en el dimensionamiento preliminar se coordina con los otros profesionales que participan en el diseño (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

3.1.1 Modelo 1: Sistema estructural con paredes auto soportante de micro hormigón

PANECONS es una empresa ecuatoriana que se dedica a la producción y comercialización del sistema constructivo Hormi2. La propuesta de un sistema estructural con paredes auto soportantes surgió al conocer sobre los beneficios que ofrece el sistema Hormi2 y que serán descritos a continuación:

- Resistencia a Sismos.
- Ligereza y fácil manipulación.
- Corto tiempo de Instalación.
- Resistencia a explosiones.
- Reducción de Costos.
- Aislamiento térmico.
- Capacidad Portante.
- Compatibilidad con otros sistemas.
- Variedad de Acabados (Casa Pronta, 2011).

Tabla 3.1. Especificaciones técnicas de paneles producidos por Hormi2.

Tipo	Aplicación	Φ del alambre (mm)	Tramado	Resistencia del mortero requerida
Panel simple estructural	Construcción integral	Longitudinal: 2.4	Longitudinal: 7.5	210 kg/cm ² o según recomendación estructural
		Transversal: 2.4	Transversal: 7.5	
Panel simple de cerramiento	Construcción mixto	Longitudinal: 2.4	Longitudinal: 7.5	Según recomendación del especialista
		Transversal: 2.4	Transversal: 7.5	
Panel simple reforzado	Losas gradas	Longitudinal: 2.9	Longitudinal: 7.5	210 kg/cm ² para la carpeta superior de compresión o la que recomiende el
		Transversal: 2.4	Transversal: 7.5	
Panel simple doblemente	Losas gradas	Longitudinal: 2.9	Longitudinal: 7.5	210 kg/cm ² para la carpeta superior o la que recomiende el cálculo
		Transversal: 2.4	Transversal: 7.5	

Fuente: (Hormi2, 2001).

Para estructurar la vivienda que se propone se hará uso únicamente del panel PSE (Panel Simple Estructural):

1. Paredes

- Diámetro del alambre malla (Φ): 2.40 mm.
- Espesor de capa microhormigón: 2 capas de 3.00 cm por capa.
- Espesor de poliestireno expandido: 6.00 cm.

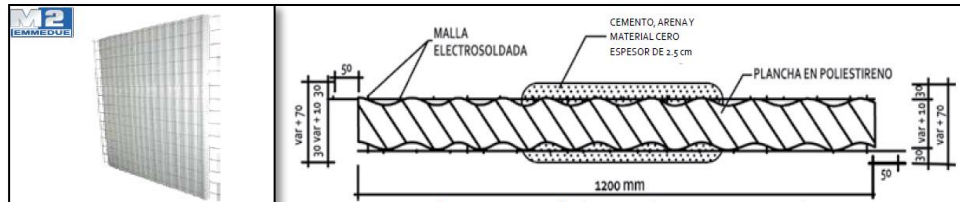


Figura 3.1. Panel para muro estructural.

Fuente: (Candiracci, Lacayo, & Maltez, 2014).

2. Entre piso

- Diámetro del alambre malla (Φ): 2.40 mm.
- Espesor de capa microhormigón: 2 capas. Capa superior de 5.00 cm, capa inferior de 3cm.
- Espesor de poliestireno expandido: 12.00 cm.

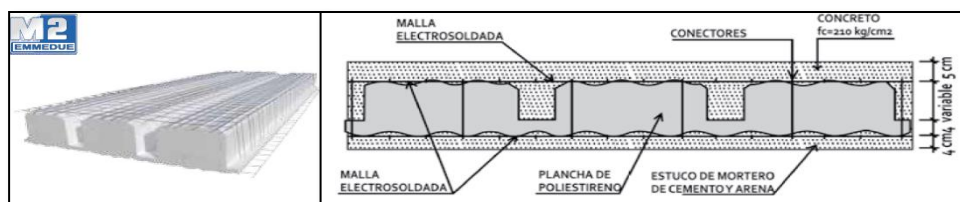


Figura 3.2. Panel para losa estructural.

Fuente: (Candiracci et al., 2014)

La vivienda estructurada con los elementos antes mencionados se muestra en la siguiente figura:

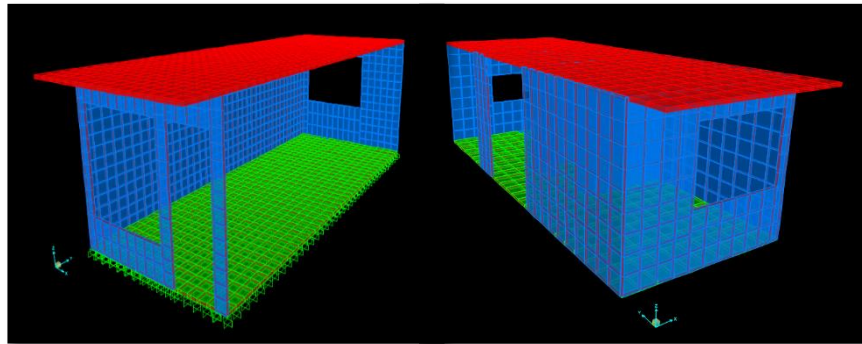


Figura 3.3. Modelación en el programa comercial de la vivienda modular mínima con sistema estructural propuesto por Hormi2.

Fuente: Autores.

3.1.2 Modelo 2: Sistema con estructura metálica y mampostería de paneles de Hormypol

Para el pre dimensionamiento de la estructura se considera el criterio del Ing. José Vásquez en base a la experiencia como consultor, se asume las siguientes expresiones:

Pre dimensionamiento de la perfilería metálica

$$\text{Relación } A/H^\circ = \frac{1}{12} H^\circ \text{ ó } \frac{1}{16} H^\circ \quad (\text{Ecuación 1})$$

H° : Altura de entrepiso.

A: Ancho columna

$$\text{Relación } L/A = A \text{ ó } \frac{1}{2} A \quad (\text{Ecuación 2})$$

L: Largo columna

Pre dimensionamiento vigas:

$$\text{Relación } H/L^\circ = \frac{1}{15} L^\circ \text{ ó } \frac{1}{20} L^\circ \quad (\text{Ecuación 3})$$

L° : Luz libre entre columnas.

H: Altura viga

$$\text{Relación } L/H = \frac{1}{2} H \text{ ó } \frac{1}{3} H \quad (\text{Ecuación 4})$$

L: Largo columna

Obteniendo los siguientes perfiles tipo para la modelación de los pórticos metálicos de la vivienda modular tipo:

Tabla 3.2. Resultado de pre diseño para perfilería metálica.

Elemento	Tipo de perfil	Dimensión (mm)	Espesor (mm)	Dimensión elemento (m)
Columna	Tubo estructural rectangular	150 x 100	4	0.15 x 0.10
Viga	Tubo estructural rectangular	150 x 100	3	0.15 x 0.10
Vigueta	Tubo estructural cuadrado	100 x 100	3	0.10 x 0.10

Fuente: Autores.

Pre dimensionamiento paredes

Se considera que las paredes son muros no estructurales, los que son elementos dispuestos para separar espacios, que soporta cargas únicamente debido a su propio peso. Se considera el panel con malla hexagonal a las dos caras de la lámina de poliestireno expandido.

Tabla 3.3. Resultado de pre diseño de panel tipo para mampostería vertical.

Elemento	Tipo de panel	Espesor de micro hormigón (cm)	Espesor de poliestireno expandido (cm)	Dimensión elemento (cm)
Pared	Panel de micro hormigón no estructural	2.4	5	7.4

Fuente: Autores.

Pre dimensionamiento losas

Se considera la utilización de paneles prefabricados de poliestireno, estos son elementos fabricados en una planta mediante procesos industriales. Está compuesto por un núcleo de poliestireno expandido (EPS) y dos mallas de acero galvanizado electrosoldadas, malla hexagonal y conectadas entre sí por conectores de acero igualmente galvanizados y electrosoldados. Con un recubrimiento de micro hormigón a las dos caras de 1.20 cm.

Tabla 3.4. Resultado de pre diseño de panel tipo para losa.

Elemento	Tipo de panel	Espesor de micro hormigón (cm)	Espesor de poliestireno expandido (cm)	Dimensión elemento (cm)
Losa	Panel de micro hormigón estructural	2.4	5	7.4

Fuente: Autores.

3.2 Parámetros para la elección del modelo a utilizar mediante la comparación de costos de cantidad de material, transporte y montaje

3.2.1 Análisis del modelo 1: Sistema estructural con paredes auto soportante de micro hormigón

Para estimar el costo de los diferentes parámetros que se analizará, primero se procederá a calcular la cantidad de material que compone a cada módulo. Las cantidades de material tanto para paredes y entrepiso se detallan en las siguientes tablas.

Tabla 3.5. Área de panel tipo pared y panel tipo losa requerida para el módulo de 2.80 x 7.50 m.

Módulo (2.80 x 7.50 m)						
Descripción	Eje	Cantidad	Largo	Alto	Área	Observación
Pared	A1-E1	1	2.9	2.5	5.33	Descuento ventana C1-D1
Ventana	C1-D1	1	1.6	1.2	1.92	
Pared	E1-E6	1	7.3	2.5	18.25	
Pared	A6-E6	1	2.9	2.5	5.33	Descuento ventana C6-D6
Ventana	C6-D6	1	1.6	1.2	1.92	
Pared	A5-A6	1	2.8	2.5	7.00	
Pared	A2-A3	1	0.75	2.5	1.88	
Pared	A3-E3	1	2.7	2.5	4.86	Descuento puerta A3-B3
Puerta	A3-B3	1	0.9	2.1	1.89	
Pared	B3-B5	1	1.7	2.5	2.57	Descuento puerta A3-B3
Puerta	B4-B5	1	0.8	2.1	1.68	
Pared	A5-E5	1	2.7	2.5	4.86	Descuento puerta A5-B5
Puerta	A5-B5	1	0.9	2.1	1.89	
Área total paredes					50.08	m²
Techo	A1-E1_A7-E7	1	8.1	2.9	23.49	
Techo	A1-E1_A6-E6	1	7.5	2.9	21.75	
Área total entrepiso					45.24	m²

Fuente: Autores.

Tabla 3.6. Área de panel tipo pared y panel tipo losa requerida para el módulo de 3.00 x 7.50 m.

Módulo (3.00 x 7.50 m)						
Descripción	Eje	Cantidad	Largo	Alto	Área	Observación
Pared	A1-G1	1	3	2.5	5.46	Descuento ventana A1-E1
Ventana	B1-D1	1	1.7	1.2	2.04	
Pared	A1-A2	1	7.3	2.5	18.25	
Pared	A2-G2	1	3	2.5	3.26	Descuento ventana B2-C2 y puerta E2-C2
Ventana	B2-C2	1	1.6	1.6	2.56	
Puerta	E2-F2	1	0.8	2.1	1.68	
Área total paredes					26.97	m²
Techo	A1-E1_A7-E7	1	8.1	3	24.3	
Techo	A1-E1_A6-E6	1	7.5	3	22.5	
Área total entrepiso					46.8	m²

Fuente: Autores.

Para determinar el costo total del material se consultó a la empresa PANECONS el costo por m² de los paneles, los cuales se pueden apreciar en la siguiente tabla.

Tabla 3.7. Costo total de la vivienda mínima modular con el sistema Hormi2.

Módulo	Tipo de panel	Área total (m ²)	Espesor (m)		Costo (\$/m ²)	Costo total (\$)
			Micro hormigón	Poliestireno		
Módulo 2.80 x 7.50 m	Paredes	50.08	0.06	0.04	14.98	750.12
	Losa	45.24	0.08	0.12	24.73	1118.79
Módulo 3.00 x 7.50 m	Paredes	26.97	0.06	0.04	14.98	404.01
	Losa	46.8	0.08	0.12	24.73	1157.36
Costo total vivienda \$ 3,430.28						

Fuente: Autores.

Para determinar el peso total de vivienda se tomó en consideración el peso específico del microhormigón y del poliestireno. El peso se obtiene mediante la multiplicación de la cantidad de material por el peso específico y espesor correspondiente a cada material. Los resultados se pueden apreciar en la siguiente tabla.

Tabla 3.8. Peso total de la vivienda mínima modular con el sistema Hormi2.

Módulo	Tipo de panel	Área total (m²)	Peso específico (kg/m³)		Peso (kg)	
			Micro hormigón	Poliestireno	Micro hormigón	Poliestireno
Módulo 2.80 x 7.50 m	Paredes	50.08	2400	13	7210.8	26.04
	Losa	45.24			8686.08	70.57
Peso módulo 2.80						15993.49
Módulo 3.00 x 7.50 m	Paredes	26.97	2400	13	3883.68	14.02
	Losa	46.8			8985.6	73.01
Peso módulo 3.00						12956.31
			Peso total vivienda 28.95 Tn			

Fuente: Autores.

El costo de transporte e instalación se calcula multiplicando el peso de cada módulo por el costo de transporte e instalación con grúa. El costo de transporte e instalación fue facilitado por el ingeniero Vladimir Carrasco, los valores son referenciales y para el caso de análisis se realizó una interpolación lineal para establecer el costo aproximado para el peso exacto de cada módulo.

Tabla 3.9. Costo de transporte y montaje de la vivienda mínima modular con el sistema Hormi2.

Módulo	Peso (Tn)	Costo trans. (\$/Tn)	Costo grúa (\$/Tn)
Módulo 2.80 x 7.50 m	15.99	13.20	187.98
Costo total módulo 2.80		\$ 211.09	\$ 3,006.46
Módulo 3.00 x 7.50 m	12.96	12.59	178.87
Costo total módulo 3.00		\$ 163.14	\$ 2,317.48
		Costo total transporte	\$ 374.23
		Costo total grúa	\$ 5,323.95

Fuente: Autores.

Los resultados del análisis de costos de cantidad de material, transporte y montaje se pueden apreciar en la siguiente tabla.

Tabla 3.10. Costo total del módulo de 2.80 x 7.50 m de la vivienda mínima modular con el sistema Hormi2.

Costo total módulo (2.80 x 7.50 m)	
Materiales	\$ 1,868.99
Montaje	\$ 211.09
Transporte	\$ 3,006.46
Costo total	\$ 5,086.54

Fuente: Autores.

Tabla 3.11. Costo total del módulo de 3.00 x 7.50 m de la vivienda mínima modular con el sistema Hormi2.

Costo total módulo (3.00 x 7.50 m)	
Materiales	\$ 1,561.37
Montaje	\$ 163.14
Transporte	\$ 2,317.48
Costo total	\$ 4,041.99

Fuente: Autores.

Tabla 3.12. Costo total de la vivienda mínima modular con el sistema Hormi2.

Costo total vivienda modular
\$ 9,128.53

Fuente: Autores.

3.2.2 Análisis del modelo 2: Sistema con estructura metálica y mampostería de paneles de Hormypol

Para evaluar el costo de los diferentes parámetros que se analizará, primero se procederá a calcular la cantidad de material que compone a cada módulo. Las cantidades de material de perfiles metálicos, paredes y entrepiso de micro hormigón se detallará a continuación. Además, para determinación el costo total del material se consultó a la empresa Hormypol costo por metro cuadrado de los paneles y a la empresa IPAC S.A. el costo lineal de los perfiles metálicos utilizados en cada módulo. Adicionalmente se determina el peso total de vivienda, tomando en consideración el peso específico del micro hormigón, del poliestireno y peso de los perfiles metálicos de las especificaciones técnicas del catálogo de la perfilería de acero de la empresa IPAC S.A. El peso se obtiene mediante la multiplicación de la cantidad de material por el peso específico y espesor correspondiente a cada material.

Los resultados se pueden apreciar en las siguientes tablas.

Módulo de 3.00 x 7.50 m

Tabla 3.13. Costo y cantidad de perfilera metálica del módulo de 3.00 x 7.50 m de la vivienda mínima modular con el sistema Hormypol.

Perfilería de acero								
Elemento	Descripción material	Tipo	Cantidad	Peso kg/m	Longitud	Peso total	Costo ml	Precio total
Columna	Perfil acero (mm)	150x100x4	8	14.87	20.00	297.40	18.32	366.33
Viga perpendicular	Perfil acero (mm)	150x100x3	2	11.31	14.00	158.34	13.71	191.92
Viga perpendicular	Perfil acero (mm)	150x100x3	2	11.31	15.40	174.17	13.71	211.11
Viga paralela	Perfil acero (mm)	150x100x3	8	11.31	22.00	248.82	13.71	301.58
Viga paralela	Perfil acero (mm)	150x100x3	7	11.31	19.20	217.15	13.71	263.20
Viga perpendicular	Perfil acero (mm)	100x100x3	3	8.96	20.10	180.10	10.25	206.03
Viga perpendicular	Perfil acero (mm)	100x100x3	3	8.96	21.90	196.22	10.25	224.48

Fuente: Autores.

Tabla 3.14. Costo y cantidad de paneles tipo pared del módulo de 3.00 x 7.50 m de la vivienda mínima modular con el sistema Hormypol.

Paneles tipo pared								
Elemento	Descripción material	Eje	Cantidad	Peso kg/m²	Área	Peso total	Costo panel	Precio total
Pared paralela	1.2 cm M°H° y 5 cm poliestireno	A4-B4	1	57.6	1.85	106.56	13.27	24.55
Pared paralela	1.2 cm M°H° y 5 cm poliestireno	A1-B1	1	57.6	4.05	233.28	13.27	53.74
Pared perpendicular	1.2 cm M°H° y 5 cm poliestireno	A4-A4	1	57.6	15.56	896.26	13.27	206.47

Fuente: Autores.

Detalle del cálculo de las áreas de paredes de micro hormigón

Tabla 3.15. Área de paneles tipo pared del módulo de 3.00 x 7.50 m de la vivienda mínima modular con el sistema Hormypol.

Paneles tipo pared						
Elemento	Eje	Cantidad	Ancho	Alto	Área	Observación
Pared paralela	A4-B4	1	3	2.5	1.85	
Descuento puerta	A4-B4	1	0.8	2.1	1.68	
Descuento ventana	A4-B4	1	1.6	1.6	2.56	
Descuento columnas	A4-B4	2	0.15	2.5	0.75	
Descuento viga	A4-B4	2	2.2	0.15	0.66	
Pared paralela	A1-B1	1	3	2.5	4.05	
Descuento ventana	A1-B1	1	1.7	1.2	2.04	
Descuento columnas	A1-B1	2	0.15	2.5	0.75	
Descuento viga	A1-B1	2	2.2	0.15	0.66	
Pared perpendicular	A4-A4	1	7.5	2.5	15.56	
Descuento columnas	A4-A4	4	0.1	2.35	0.94	
Descuento viga	A4-A4	2	7.5	0.15	2.25	

Fuente: Autores.

Tabla 3.16. Costo y cantidad de paneles tipo losa del módulo de 3.00 x 7.50 m de la vivienda mínima modular con el sistema Hormypol.

Paneles tipo losa							
Elemento	Descripción material	Cantidad	Peso kg/m²	Área	Peso total	Costo panel	Precio total
Losa de base	1.2 cm M°H° y 5 cm poliestireno	1	68.75	22.50	1546.88	24.62	553.85
Losa de cubierta	1.2 cm M°H° y 5 cm poliestireno	1	68.75	24.30	1670.63	24.62	598.15

Fuente: Autores.

Detalle del cálculo del área de losas de micro hormigón

Tabla 3.17. Área de paneles tipo losa del módulo de 3.00 x 7.50 m de la vivienda mínima modular con el sistema Hormypol.

Paneles tipo losa					
Elemento	Cantidad	Ancho	Largo	Área	Observación
Losa de base	1	3	7.5	22.5	
Losa de cubierta	1	3	8.1	24.3	

Fuente: Autor.

Se obtiene como resultado de peso y costo de material para el módulo de 3.00 x 7.50 m los valores indicados en la siguiente tabla.

Tabla 3.18. Costo del material y peso total del módulo de 3 x 7.50 m. de la vivienda mínima modular con el sistema Hormypol.

Peso módulo	5.73	Tn
Costo módulo	3201.41	\$

Fuente: Autores.

Módulo de 2.80 x 7.50 m

Tabla 3.19. Costo y cantidad de perfilería metálica del módulo de 2.80 x 7.50 m de la vivienda mínima modular con el sistema Hormypol.

Perfilería de acero								
Elemento	Descripción material	Tipo	Cantidad	Peso kg/m	Longitud	Peso total	Costo ml	Precio total
Columna	Perfil acero (mm)	150x100x4	8	14.87	20.00	297.40	18.32	366.33
Viga perpendicular	Perfil acero (mm)	150x100x3	2	11.31	14.00	158.34	13.71	191.92
Viga perpendicular	Perfil acero (mm)	150x100x3	2	11.31	15.40	174.17	13.71	211.11
Viga paralela	Perfil acero (mm)	150x100x3	8	11.31	20.40	230.72	13.71	279.65
Viga paralela	Perfil acero (mm)	150x100x3	7	11.31	17.80	201.32	13.71	244.01
Vigueta perpendicular	Perfil acero (mm)	100x100x3	3	8.96	20.10	180.10	10.25	206.03
Vigueta perpendicular	Perfil acero (mm)	100x100x3	3	8.96	21.90	196.22	10.25	224.48

Fuente: Autores.

Tabla 3.20. Costo y cantidad de paneles tipo pared del módulo de 2.80 x 7.50 m de la vivienda mínima modular con el sistema Hormypol.

Paneles tipo pared								
Elemento	Descripción material	Eje	Cantidad	Peso kg/m²	Área	Peso total	Costo panel	Precio total
Pared paralela	1.2 cm M°H° y 5 cm poliestireno	A4-B4	1	57.6	3.67	211.39	13.27	48.70
Pared paralela	1.2 cm M°H° y 5 cm poliestireno	A1-B1	1	57.6	3.67	211.39	13.27	48.70
Pared paralela	1.2 cm M°H° y 5 cm poliestireno	A2-B2	1	57.6	3.70	213.12	13.27	49.10
Pared paralela	1.2 cm M°H° y 5 cm poliestireno	A3-B3	1	57.6	3.70	213.12	13.27	49.10
Pared perpendicular	1.2 cm M°H° y 5 cm poliestireno	B1-B4	1	57.6	7.12	410.11	13.27	94.48
Pared perpendicular	1.2 cm M°H° y 5 cm poliestireno	C2-C3	1	57.6	2.36	135.94	13.27	31.32
Pared perpendicular	1.2 cm M°H° y 5 cm poliestireno	D1-D4	1	57.6	15.62	899.71	13.27	207.27

Fuente: Autores.

Detalle del cálculo de las áreas de paredes de micro hormigón

Tabla 3.21. Área de paneles tipo pared del módulo de 2.80 x 7.50 m de la vivienda mínima modular con el sistema Hormypol.

Paneles tipo pared						
Elemento	Eje	Cantidad	Ancho	Alto	Área	Observación
Pared paralela	A4-B4	1	2.8	2.5	3.67	
Descuento ventana	A4-B4	1	1.2	1.6	1.92	
Descuento columnas	A4-B4	2	0.15	2.5	0.75	
Descuento viga	A4-B4	2	2.2	0.15	0.66	
Pared paralela	A1-B1	1	2.8	2.5	3.67	
Descuento ventana	A1-B1	1	1.2	1.6	1.92	
Descuento columnas	A1-B1	2	0.15	2.5	0.75	
Descuento viga	A1-B1	2	2.2	0.15	0.66	
Pared paralela	A2-B2	1	2.8	2.5	3.70	
Descuento puerta	A2-B2	1	0.9	2.1	1.89	
Descuento columnas	A2-B2	2	0.15	2.5	0.75	
Descuento viga	A2-B2	2	2.2	0.15	0.66	
Pared paralela	A3-B3	1	2.8	2.5	3.70	
Descuento puerta	A3-B3	1	0.9	2.1	1.89	
Descuento columnas	A3-B3	2	0.15	2.5	0.75	
Descuento viga	A3-B3	2	2.2	0.15	0.66	
Pared perpendicular	B1-B4	1	3.65	2.5	7.12	
Descuento columnas	B1-B4	4	0.1	2.5	1.00	
Descuento viga	B1-B4	2	3.35	0.15	1.01	
Pared perpendicular	C2-C3	1	1.7	2.5	2.36	
Descuento puerta	C2-C3	1	0.9	2.1	1.89	
Pared perpendicular	D1-D4	1	7.5	2.5	15.62	
Descuento columnas	D1-D4	4	0.1	2.5	1.00	
Descuento viga	D1-D4	2	7.1	0.15	2.13	

Fuente: Autores.

Tabla 3.22. Costo y cantidad de paneles tipo losa del módulo de 2.80 x 7.50 m de la vivienda mínima modular con el sistema Hormypol.

Paneles tipo losa							
Elemento	Descripción material	Cantidad	Peso kg/m²	Área	Peso total	Costo panel	Precio total
Losa de base	1.2 cm M ^o H ^o y 5 cm Poliestireno	1	68.75	21.00	1443.75	24.62	516.92
Losa de cubierta	1.2 cm M ^o H ^o y 5 cm Poliestireno	1	68.75	22.68	1559.25	24.62	558.28

Fuente: Autores.

Detalle del cálculo del área de losa de micro hormigón

Tabla 3.23. Área de paneles tipo losa del módulo de 2.80 x 7.50 m de la vivienda mínima modular con el sistema Hormypol.

Losas de Hormypol					
Elemento	Cantidad	Ancho	Largo	Área	Observación
Losa de base	1	2.8	7.5	21	
Losa de cubierta	1	2.8	8.1	22.68	

Fuente: Autores.

Se obtiene como resultado de peso y costo de material para el módulo de 2.80 x 7.50 m los valores indicados en la siguiente tabla.

Tabla 3.24. Costo del material y peso total del módulo de 2.80 x 7.50 m. de la vivienda mínima modular con el sistema Hormypol.

Peso módulo	6.74	Ton
Costo módulo	3327.40	\$

Fuente: Autores.

El costo de transporte e instalación se calcula multiplicando el peso de cada módulo por el costo de transporte e instalación con grúa. El costo de transporte e instalación fue facilitado por el Ing. Vladimir Carrasco, los valores son referenciales y para el caso de análisis se realizó una interpolación lineal para establecer el costo aproximado al peso exacto de cada módulo.

Tabla 3.25. Costo interpolado de transporte y montaje por tonelada.

Valores de costos \$ interpolados por tonelada	
Transp. módulo 2.8 x 7.50 m	9.39
Mont. módulo 2.8 x 7.50 m	156.94
Transp. módulo 3 x 7.50 m	8.58
Mont. módulo 3 x 7.50 m	152.92

Fuente: Autores.

Resultados del análisis de costos de cantidad de material, transporte y montaje:

Tabla 3.26. Costo total de la vivienda mínima modular con el sistema Hormypol.

Costo total módulo 2.80 x 7.50 m	
Materiales	\$3,327.40
Montaje	\$1,057.16
Transporte	\$63.25
Costo total	\$4,447.81

Costo total módulo 3 x 7.50 m	
Materiales	\$3,201.41
Montaje	\$876.17
Transporte	\$49.16
Costo total	\$4,126.74

Costo vivienda modular total	
\$8,574.55	

Fuente: Autores.

3.3 Elección del sistema estructural a partir del análisis de costos de cantidad de material, transporte y montaje

Puesto que el objetivo primordial de esta tesis es encontrar un costo mínimo para una vivienda que cumpla con los estándares de seguridad, confort y economía, se opta por la elección del modelo 2: Sistema con estructura metálica y mampostería de paneles de Hormypol. Este modelo fue elegido debido a que presenta los costos más bajos en el análisis ejecutado.

3.4 Parámetros de diseño de cargas aplicadas en la estructura

En nuestro país la Norma Ecuatoriana de la Construcción define para el diseño de una estructura las cargas permanentes debidas al peso propio y las cargas variables producto de cargas vivas, cargas accidentales y cargas climáticas.

Además, propone diversas combinaciones de carga para verificar el escenario más desfavorable para la estructura.

La NEC especifica que las autoridades competentes como fiscalizadoras y superintendentes de obra, tienen la obligación de ordenar la realización de los ensayos que determinen las propiedades físicas y mecánicas de los materiales y verificar que estos cumplan con las especificaciones y normas correspondientes.

3.4.1 Carga permanentes

Las cargas permanentes (cargas muertas) están constituidas por los pesos de todos los elementos estructurales, tales como: muros, paredes, recubrimientos, instalaciones sanitarias, eléctricas, mecánicas, máquinas y todo artefacto integrado permanentemente a la estructura.

Descripción de cargas permanente:

Tabla 3.27. Cargas permanentes utilizadas en la modelación del escenario 1.

Tipo de carga	Carga (Ton/m ²)
Cubierta plana	0.03
Total de carga permanente	0.03

Fuente: Autores.

Tabla 3.28. Cargas permanentes utilizadas en la modelación del escenario 2.

Tipo de carga	Carga (Ton/m ²)
Materiales	
Paredes	0.15
Acabados	0.01
Instalaciones	0.02
Total de carga permanente	0.18

Fuente: Autores.

3.4.2 Cargas variables

3.4.2.1 Carga viva (sobrecargas de uso)

Las sobrecargas que se utilicen en el cálculo dependen de la ocupación a la que está destinada la edificación y están conformadas por los pesos de personas, muebles, equipos y accesorios móviles o temporales, mercadería en transición, y otras.

Se presentan valores de carga uniforme (Ton/m²) y de carga concentrada (Ton). Los valores presentados son de la NEC SE CG sección Cargas (no sísmicas).

Tabla 3.29. Cargas de uso para el utilizadas en la modelación del escenario 2.

Tipo de carga	Carga (Ton/m ²)
Residencial	0.2
Cubiertas planas, inclinadas y curvas	0.07

Fuente: Autores.

3.4.2.2 Cargas por viento

Para las cargas por viento se considera los siguientes parámetros expuestos en la NEC SE CG sección Cargas (no sísmicas).

- **Velocidad instantánea máxima del viento**

La velocidad de diseño para viento hasta 10.00 m de altura será la adecuada a la velocidad máxima para la zona de ubicación de la edificación, pero no será menor a 21.00 m/s (75.00 km/h).

- **Velocidad corregida del viento**

La velocidad instantánea máxima del viento se multiplicará por un coeficiente de corrección σ que depende de la altura y de las características topográficas y de edificación del entorno (nivel de exposición al viento).

$$Vb = V \times \sigma \quad (\text{Ecuación 5})$$

Vb: Velocidad corregida del viento en m/s.

V: Velocidad instantánea máxima del viento en m/s.

σ : Coeficiente de corrección.

Elección de coeficiente de corrección

Para la vivienda modular tipo se considera la Categoría B (obstrucción baja): edificios en zonas suburbanas con edificación de baja altura, promedio hasta 10.00 m y una altura de 5.00 m.

Valor del coeficiente de corrección: 0.86.

Valor de la velocidad corregida del viento = $25.00 \times 0.86 = 21.00$ m/s.

- **Cálculo de la presión del viento**

Se considera que la acción del viento actúa como presión sobre los elementos de fachada. Para determinar la resistencia del elemento frente al empuje del viento, se establece una presión de cálculo P, cuyo valor se determinará mediante la siguiente expresión:

$$P = \frac{1}{2} \rho \times Vb^2 \times Ce \times Cf \quad (\text{Ecuación 6})$$

P: Presión de cálculo expresada en N/m².

ρ : Densidad del aire expresada en Kg/m³, valor adoptado 1.25 Kg/m³.

Ce: Coeficiente de entorno/altura.

Cf: Coeficiente de forma.

Elección de coeficiente de entorno/altura

Tabla 3.30. Coeficiente de entorno/altura Ce.

Entorno del edificio	Altura elemento sobre nivel de suelo exterior (m)					
	3	5	10	20	30	50
Centro de grandes ciudades	1.63	1.63	1.63	1.63	1.68	2.15
Zonas urbanas	1.63	1.63	1.63	1.96	2.32	2.82
Zonas rurales	1.63	1.63	1.89	2.42	2.75	3.2
Terreno abierto sin obstáculos	1.64	1.93	2.35	2.81	3.09	3.27

Fuente: (Rodríguez Reinoso, 2015).

Según la tabla 3.30 el valor del coeficiente de entorno/altura es= 1.63, considerando una zona urbana y la altura de 5.00 m.

Elección de coeficiente de forma

Se considera el tipo de construcción con superficies verticales de edificios con un valor de + 0.80 por barlovento y 0.00 de sotavento.

Valor de la presión del viento = $(1/2) * 1.25 * (21)^2 * 1.63 * 0.8 = 265.82 \text{ N/m}^2$.

Valor de la presión del viento = 0.0265 Ton/m².

3.4.2.3 Cargas de granizo

Debido que la vivienda modular tipo esta propuesta para la zona sierra sur del país que se encuentra entre los 2000 a 2500 msnm, la NEC plantea tomar en cuenta este tipo de carga para regiones del país con más de 1500 msnm. Por lo cual se considerará una acumulación del granizo en corto tiempo en cubiertas con pendientes menores del 5.00 %. Se debe considerar una carga de granizo mínima de 0.10 Ton/m².

En los sitios donde sea necesario considerar la carga de granizo, se adicionará una sobrecarga de 0.10 Ton/m² en las áreas de los aleros, en un ancho del 10.00 % de la luz libre, medido desde el borde hacia el apoyo y no menor a 1000.00 mm.

Valor de la carga de granizo= 0.10 Ton/m² (Ministerio de Desarrollo Urbano y de Vivienda, 2015a).

3.4.2.4 Cargas sísmicas

En este apartado se presentan los requerimientos y metodologías que deben ser aplicados al diseño sismo resistente de estructuras basado en la NEC y normas extranjeras que la complementen. Por esto el diseñador se referirá al capítulo: peligro sísmico y requisitos de diseño sismo resistente de la NEC.

Bases del diseño

Se considera que la respuesta de una edificación a solicitaciones sísmica del suelo se caracteriza por aceleraciones, velocidades y desplazamientos de sus elementos, en particular de los pisos en el caso de edificios.

Los requisitos presentados se basan en el comportamiento elástico lineal y no lineal de estructuras de edificación.

Los procedimientos y requisitos descritos se determinan considerando:

- La zona sísmica del Ecuador donde se va a construir la estructura: el factor de zona Z y las curvas de peligro sísmico.
- Las características del suelo del sitio de emplazamiento.
- El tipo de uso, destino e importancia de la estructura.
- Las estructuras de uso normal deberán diseñarse para una resistencia tal que puedan soportar los desplazamientos laterales inducidos por el sismo de diseño, considerando la respuesta inelástica, la redundancia, la sobre resistencia estructural inherente y la ductilidad de la estructura.
- La resistencia mínima de diseño para todas las estructuras deberá basarse en las fuerzas sísmicas de diseño establecidas en el presente capítulo:
 - El nivel de desempeño sísmico.
 - El tipo de sistema y configuración estructural a utilizarse.
 - Los métodos de análisis a ser empleados.

El objetivo de la filosofía del diseño basada en desempeño busca evitar la pérdida de vidas a través de impedir el colapso de todo tipo de estructura. Se añade el objetivo de protección en mayor medida y de garantía de funcionalidad luego de un evento sísmico extremo para las estructuras de ocupación especial y esencial.

Sin embargo, las actuales tendencias en el mundo se dirigen no sólo a la protección de la vida, sino también a la protección de la propiedad y a la búsqueda del cumplimiento de diversos niveles de desempeño sísmico, para cualquier tipo de estructura.

Se considerarán los siguientes niveles de frecuencia y amenaza sísmica:

- Frecuente (menor).
- Ocasional (moderado).
- Raro (severo): sismo de diseño (período de retorno de 475 años).
- Muy raro (extremo): período de retorno de 2500 años.

Espectro de respuesta ante acciones sísmicas para diseño

El espectro de diseño puede representarse mediante un espectro de respuesta basado en las condiciones geológicas, tectónicas, sismológicas y del tipo de suelo asociadas con el sitio de emplazamiento de la estructura.

Es un espectro de tipo elástico para una fracción de amortiguamiento respecto al crítico del 5 %, utilizado con fines de diseño para representar los efectos dinámicos del sismo de diseño.

Descripción de parámetros empleados en el programa comercial para la elaboración del espectro sísmico

Valor por coeficiente de zona factor Z: 0.25

Tabla 3.31. Elección del coeficiente de zona factor Z.

Parroquia	Cantón	Provincia	Factor Z
Cuenca	Cuenca	Azuay	0.25

Fuente: Autores.

Caracterización del peligro sísmico: Alta

Coeficiente η : es la razón entre la aceleración espectral S_a ($T = 0.1$ s) y el PGA para el período de retorno seleccionado.

El valor del coeficiente $\eta = 2.48$ para las provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos.

Curvas de peligro sísmico

El periodo de retorno correspondiente es el inverso de la probabilidad anual de excedencia. Las curvas de aceleraciones máximas espectrales para edificaciones son los períodos estructurales de 0.1, 0.2, 0.5 y 1.0 segundos.

Valor del periodo de retorno asumido: 0.5.

Geología local

La elección de este parámetro está basada en la recomendación del Ing. José Vázquez Calero, quien manifiesta que los suelos presentes en la ciudad de Cuenca mayoritariamente son tipo C.

Tabla 3.32. Tipo de perfil de suelo.

Tipo de perfil	Descripción	Definición
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de onda de cortante.	$760 \text{ m/s} > V_c \geq 360 \text{ m/s}$
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios.	$N \geq 50$ $S_u \geq 100 \text{ KPa}$

Fuente: Autores.

Coeficientes de perfil de suelo F_a , F_d y F_s .

- **F_a : Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto**

Los parámetros de tipo de perfil de subsuelo C y zona sísmica tipo II con factor Z de 0.25 dan como resultado de factor de perfil de suelo F_a : 1.3.

- **F_d : Amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca**

Los parámetros de tipo de perfil de subsuelo C y zona sísmica tipo II con factor Z de 0.25 dan como resultado de factor de perfil de suelo F_b : 1.28.

- **F_s : comportamiento no lineal de los suelos**

Los parámetros de tipo de perfil de subsuelo C y zona sísmica tipo II con factor Z de 0.25 dan como resultado de factor de perfil de suelo F_b : 0.94.

Categoría de edificio y coeficiente de importancia I: 1

El propósito del factor I es incrementar la demanda sísmica de diseño para estructuras, que por sus características de utilización o de importancia deben permanecer operativas o sufrir menores daños durante y después de la ocurrencia del sismo de diseño.

Tabla 3.33. Tipo de categoría de la estructura.

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Coeficiente I
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifiquen dentro de las categorías anteriores.	1

Fuente: Autores.

El diseño de las estructuras con factor de importancia 1.0 cumplirá con todos los requisitos establecidos en el presente capítulo de la norma.

Factor de reducción de respuesta para estructuras diferentes a las de edificación

Las fuerzas sísmicas mínimas de diseño se han establecido a un nivel tal, necesario para producir desplazamientos sobre modelos elásticos de estructuras empotradas en su base, comparables con los desplazamientos esperados en estructuras reales sometidas al sismo de diseño.

Se permite una reducción de fuerzas sísmicas mínimas de diseño mediante el factor R cuando el diseño de este tipo de estructuras provea de suficiente resistencia y ductilidad a las mismas, de manera consistente con la filosofía de diseño y las especificaciones de la presente norma.

Tabla 3.34. Elección del coeficiente de reducción de respuesta estructural R.

Valores del coeficiente de reducción de respuesta estructural R	
Estructuras de acero conformado en frío, aluminio, madera, limitados a 2 pisos.	3

Fuente: Autores.

Límites permisibles de las derivas de los pisos

La deriva máxima para cualquier piso no excederá los límites de deriva inelástica establecidos en la siguiente tabla, en la cual la deriva máxima se expresa como un porcentaje de la altura de piso:

Tabla 3.35. Deriva máxima permitida en la estructura.

Estructuras de:	ΔM máxima (sin unidad)
Hormigón armado, estructuras metálicas y de madera	0.02

Fuente: Autores.

(Ministerio de Desarrollo Urbano y de Vivienda, 2015b)

3.5 Combinaciones de carga

Estas tienen el propósito de investigar cada estado límite de resistencia de los elementos que conforman la estructura y los efectos más desfavorables provocados por las diferentes cargas a la que está expuesta la estructura. Tomando como consideración que el efecto de viento como de sismo, no necesitan ser considerados simultáneamente.

3.5.1 Símbolos y notación

Conforme a lo expuesto en la NEC, se utilizan los siguientes símbolos en la expresión de las combinaciones de cargas que deberán tomarse en cuenta:

D: Carga permanente.

E: Carga de sismo.

L: Sobrecarga (carga viva).

S: Carga de granizo.

W: Carga de viento.

Las siguientes combinaciones básicas son expuestas en la NEC. La misma que expone que las estructuras, componentes y cimentaciones, deberán ser diseñadas de tal manera que la resistencia de diseño iguale o exceda los efectos de las cargas incrementadas, de acuerdo a las siguientes combinaciones:

- Combinación 1

$$C1 = 1.4 D \quad (\text{Ecuación 7})$$

- Combinación 2

$$C2 = 1.2 D + 1.6 L + 0.5 S \quad (\text{Ecuación 8})$$

- Combinación 3

$$C3 = 1.2 D + 1.6 S + L \quad (\text{Ecuación 9})$$

- Combinación 4

$$C4 = 1.2 D + W + L + 0.5 S \quad (\text{Ecuación 10})$$

- Combinación 5

$$C5 = 1.2 D + E + L + 0.2 S \quad (\text{Ecuación 11})$$

- Combinación 6

$$C6 = 0.9 D + W \quad (\text{Ecuación 12})$$

- Combinación 7

$$C7 = 0.9 D + E \quad (\text{Ecuación 13})$$

(Ministerio de Desarrollo Urbano y de Vivienda, 2015a)

3.6 Modelación de la vivienda modular tipo

La modelación de la vivienda modular tipo se realizará en el programa comercial.

Se considera para la modelación de la vivienda modular tipo dos escenarios distintos, con lo cual se espera pronosticar el comportamiento de la estructura ante las diferentes solicitaciones a las cuales estará expuesta, evitando un futuro fallo o daño de la estructura.

En el escenario 1 se modelará el comportamiento de la estructura durante el transporte desde fábrica hacia el sitio de destino (emplazamiento). Para este escenario se considera las cargas de viento, sismo y una carga permanente para garantizar la etapa del transporte. La misma que será afectada por un factor de seguridad como consecuencia del transporte.

En el escenario 2 se modelará el comportamiento de la estructura en el sitio de emplazamiento, en este modelo se considera las cargas establecidas por la NEC (Carga viva, permanente, viento, sismo y granizo.), además, de considerar las cargas producto de la futura ampliación de la planta alta de la vivienda. Con el propósito de garantizar la estabilidad y condiciones de servicio de la vivienda.

3.6.1 Sistema con estructura metálica y mampostería de paneles de hormypol

Sistema de pórtico: es un sistema estructural compuesto por un pórtico espacial, resistente a momentos, esencialmente completo, sin diagonales, que resiste todas las cargas verticales y fuerzas horizontales (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

Para la modelación se aplicará la normativa AISI al diseño de miembros estructurales conformados en frío a partir de láminas, planchas, planchuelas, o barras de acero al carbono o de baja aleación de no más de una pulgada (25.40 mm) de espesor, laminadas a temperatura ambiente y utilizadas para soportar cargas en un edificio.

Está permitido utilizarla para estructuras que no sean edificios, siempre que los efectos dinámicos se consideren adecuadamente.

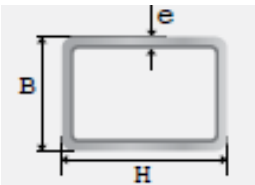
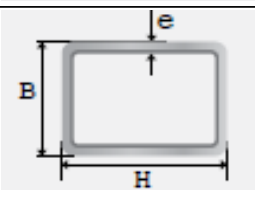
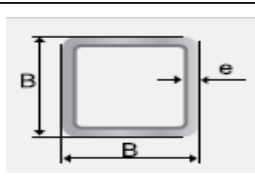
Para este tipo de estructuras se permite un diseño de acuerdo con los requisitos para el Diseño por Factores de Carga y Resistencia (LRFD), o de acuerdo con los requisitos para el Diseño por Tensiones Admisibles (ASD). Al diseñar los diferentes componentes de acero conformado en frío de una estructura no se deben mezclar estos dos métodos (AISI, 1996).

3.6.2 Geometría de las configuraciones estructurales

La configuración estructural se analiza con respecto a la ciudad de Cuenca en la provincia de Azuay, las viviendas modulares constan con una variación de luces de 3.00 m a 1.80 m para vigas y 2.50 m para columnas.

Las secciones de las columnas, vigas y viguetas tipo se detallan a continuación, las cuales son iguales en los dos módulos de la vivienda:

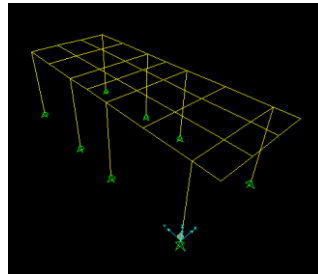
Tabla 3.36. Descripción de las secciones tipo para la modelación.

	Las columnas se diseñaron de la siguiente manera: Dimensiones: 150 x 100 mm. Espesor del elemento: 4 mm. Límite de fluencia: 2548.42 kg/cm² Área: 18.95 cm² Peso: 14.87 kg/m
	Las vigas se diseñaron de la siguiente manera: Dimensiones: 150 x 100 mm. Espesor del elemento: 3 mm. Límite de fluencia: 2548.42 kg/cm² Área: 14.41 cm² Peso: 11.31 kg/m
	Las viguetas se diseñaron de la siguiente manera: Dimensiones: 100 x 100 mm. Espesor del elemento: 3 mm. Límite de fluencia: 2548.42 kg/cm² Área: 11.41 cm² Peso: 8.96 kg/m

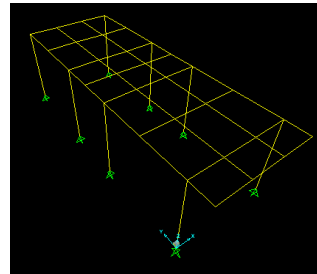
Fuente: Autores

Modelación vivienda modular escenario 1

La vivienda cuenta con una planta baja.



Módulo 3.00 m



Módulo 2.80 m.

Figura 3.4. Pórticos metálicos de los módulos separados para la modelación.

Fuente: Autores.

Modelación vivienda modular escenario 2

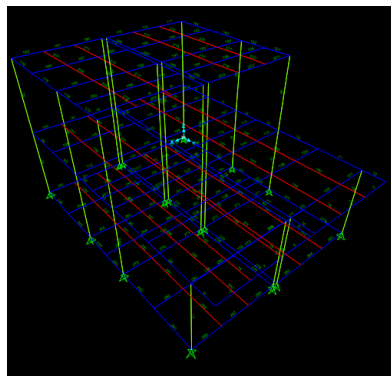


Figura 3.5. Pórtico metálico de la vivienda mínima modular para la modelación.

Fuente: Autores.

3.6.3 Procedimiento a seguir para la modelación de la vivienda modular prefabricada

Este procedimiento se aplicará para la modelación de los módulos de la vivienda modular, el mismo que se describe a continuación:

1. Crear un nuevo modelo, seleccionando una plantilla de grilla. La misma que será modificada para alcanzar los espaciamientos planeados en el plano arquitectónico.

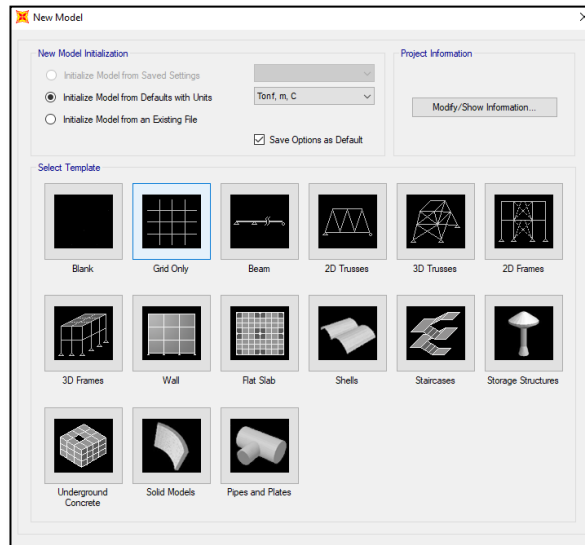


Figura 3.6. Creación de un nuevo modelo.

Fuente: Autores.

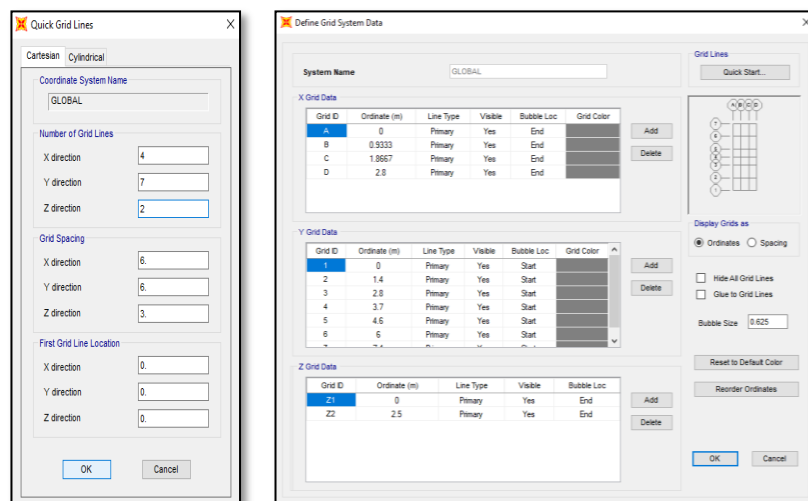


Figura 3.7. Modificación de los espaciamientos del modelo.

Fuente: Autores.

2. Definir el nuevo material que utilizará en la modelación. Además, se comprobará las propiedades mecánicas cumplan con las especificaciones del medio.

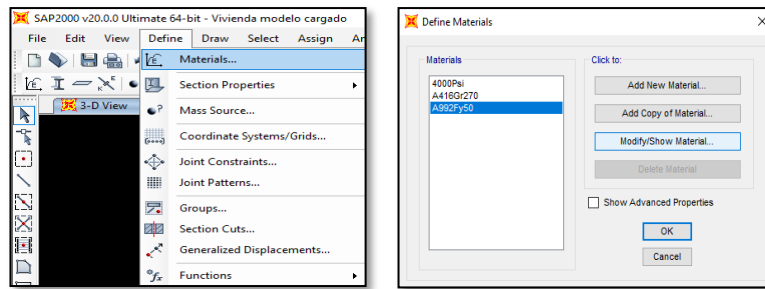


Figura 3.8. Definición del material a utilizar en la modelación.

Fuente: Autores.

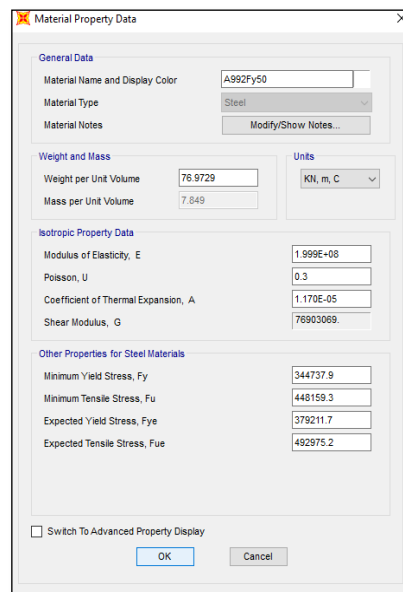


Figura 3.9. Propiedades del material utilizado en la modelación.

Fuente: Autores.

- Definir las secciones (columnas, vigas y viguetas) que se utilizarán para la modelación. Las dimensiones de las secciones a utilizar fueron definidas anteriormente en el pre diseño que se realizó.

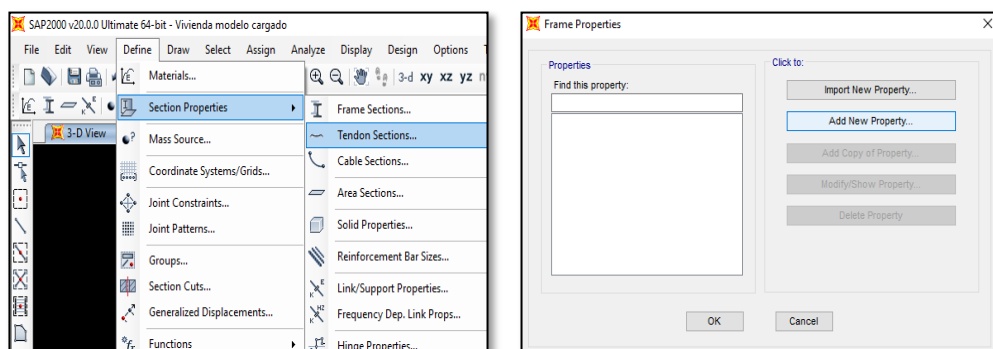


Figura 3.10. Definición de las secciones a tipo utilizar para la modelación.

Fuente: Autores.

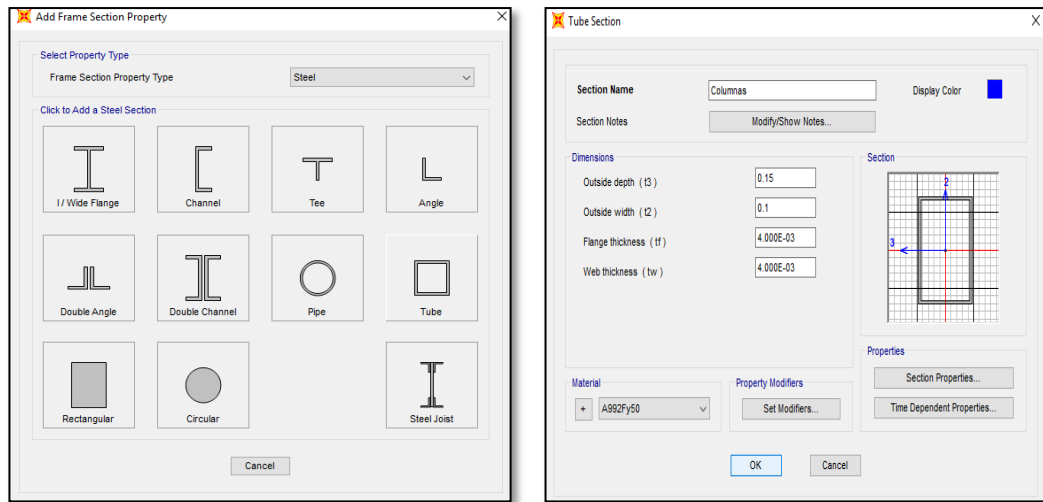


Figura 3.11. Elección del tipo de perfil y dimensionamiento de la sección.

Fuente: Autores.

4. Trazar los elementos estructurales empezado por columnas, continuando con vigas y finalizando con viguetas. Para las columnas se coloca los puntos de apoyo, puesto que es un pórtico metálico se utiliza una articulación como restricción en la base de los elementos verticales. Una vez terminado el trazado se realiza la división de los elementos estructurales, para evitar la sobrecarga en los elementos.

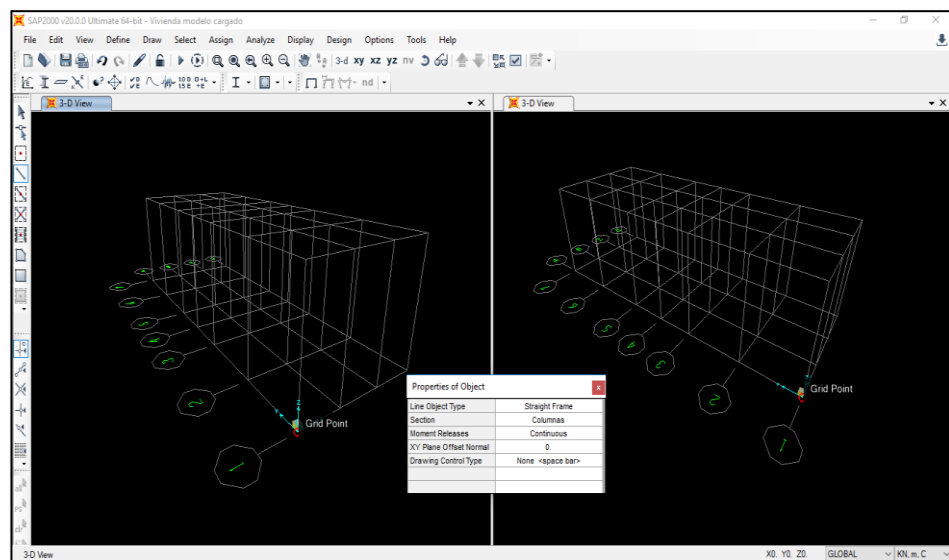


Figura 3.12. Trazado de grilla para la modelación.

Fuente: Autores.

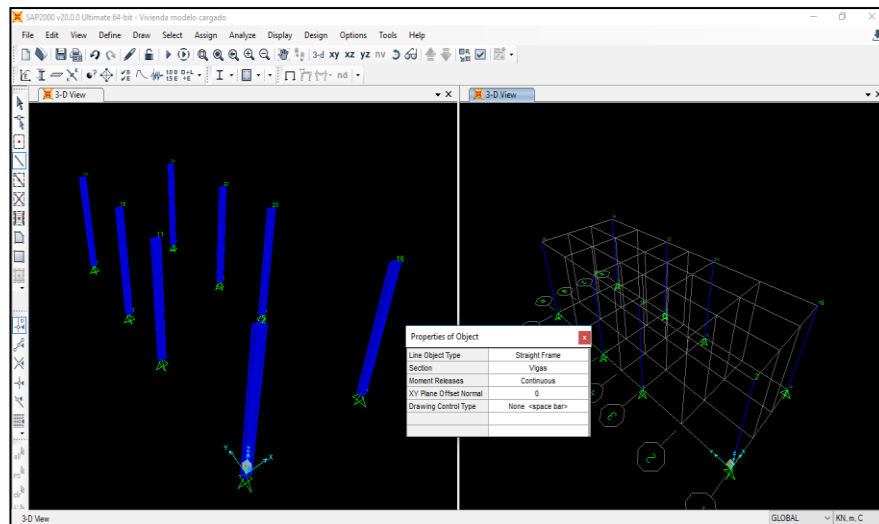


Figura 3.13. Trazado de elementos tipo columna para modelación.

Fuente: Autores.

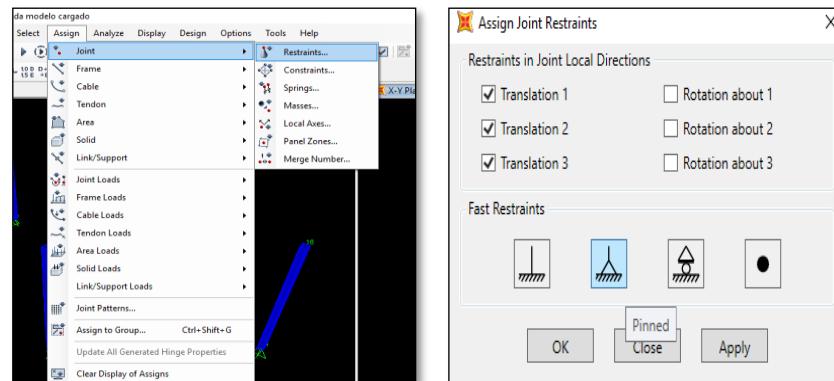


Figura 3.14. Colocar los puntos de apoyo para elementos tipo columna.

Fuente: Autores.

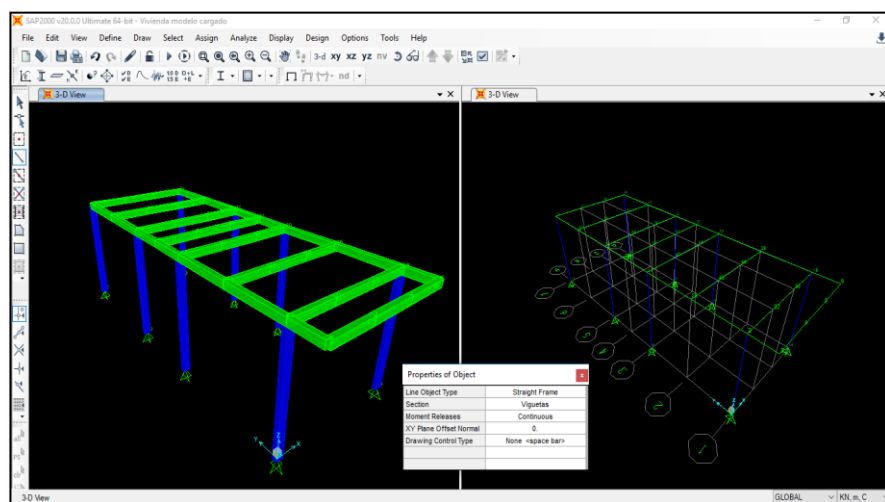


Figura 3.15. Trazado de elementos tipo vigas para modelación.

Fuente: Autores.

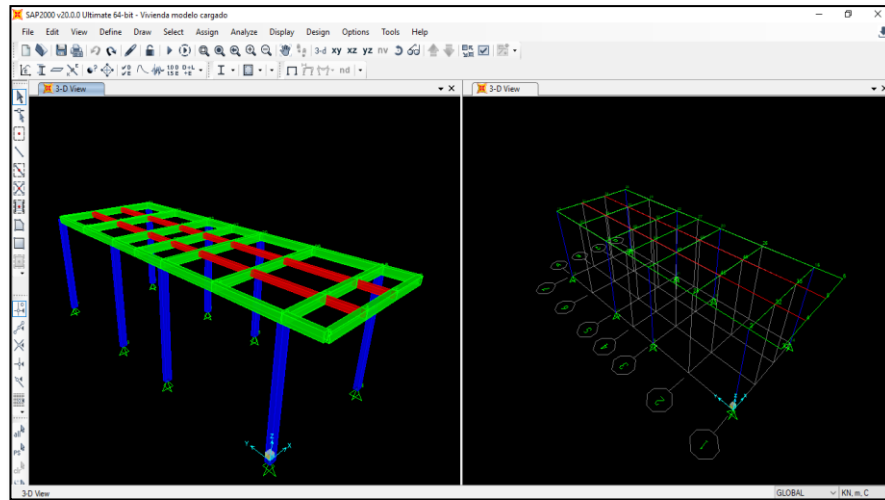


Figura 3.16. Trazado de elementos tipo viguetas para modelación.

Fuente: Autores.

5. Definir los tipos carga que se consideraran en la modelación de acuerdo lo especificado en la NEC. Esto esta previamente especificado en los parámetros de carga a utilizarse en el modelo.

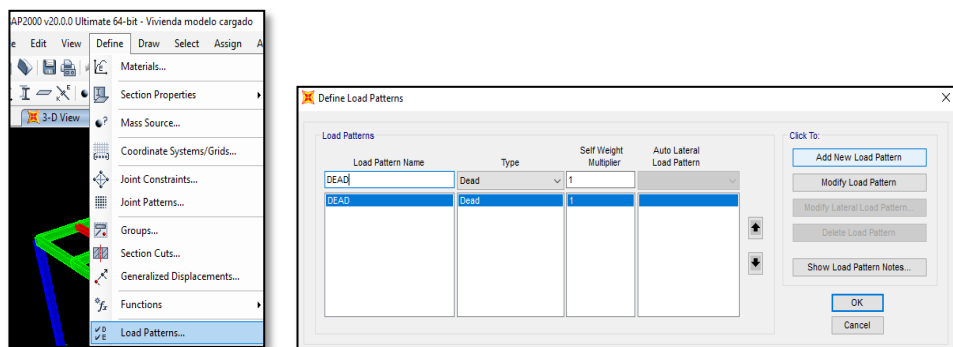


Figura 3.17. Definición de los tipos de carga para la modelación.

Fuente: Autores.

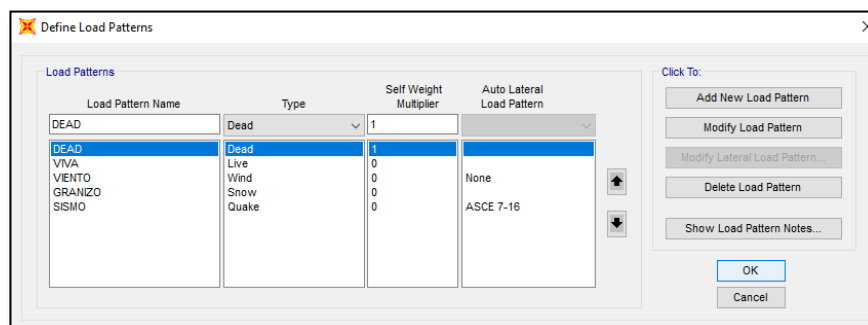


Figura 3.18. Tipos de carga utilizados en la modelación.

Fuente: Autores.

- Definir el espectro de respuesta ante acciones sísmicas, de acuerdo a los parámetros de carga considerados anteriormente.

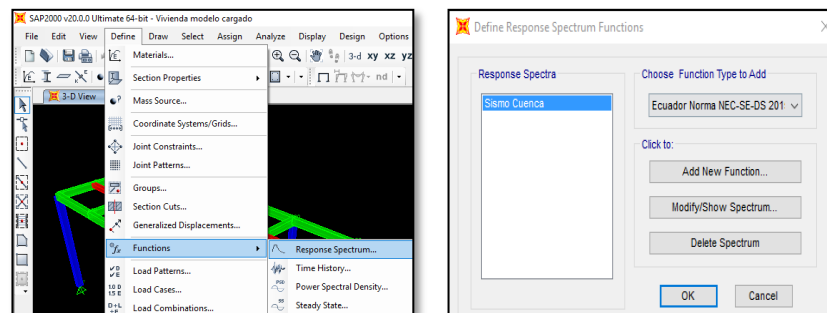


Figura 3.19. Definición del espectro de respuesta ante acciones sísmicas.

Fuente: Autores.

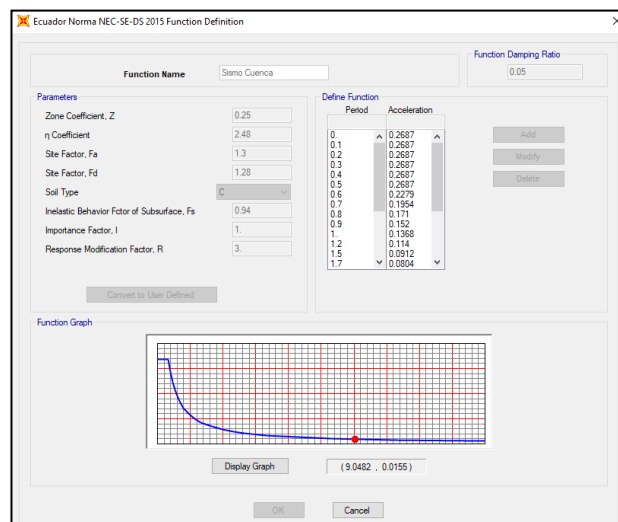


Figura 3.20. Espectro de respuesta ante acciones sísmicas para la modelación.

Fuente: Autores.

- Crear las diferentes combinaciones exige en la NEC. Esto esta previamente especificado en los parámetros de carga a utilizarse en el modelo.

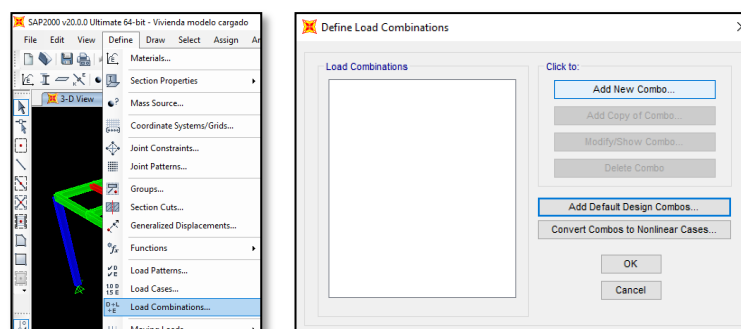


Figura 3.21. Definición de las combinaciones de carga para la modelación.

Fuente: Autores.

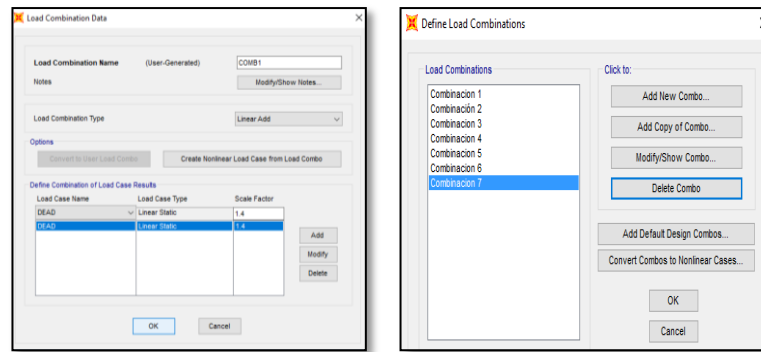


Figura 3.22. Combinaciones de carga utilizadas en la modelación.

Fuente: Autores.

8. Distribuir los distintos tipos de cargas en los elementos que conforman la estructura. Para los elementos horizontales se colocará las siguientes cargas en sentido y dirección de la gravedad: viva, muerta y granizo. Para los elementos verticales se colocará en dirección del eje cartesiano.

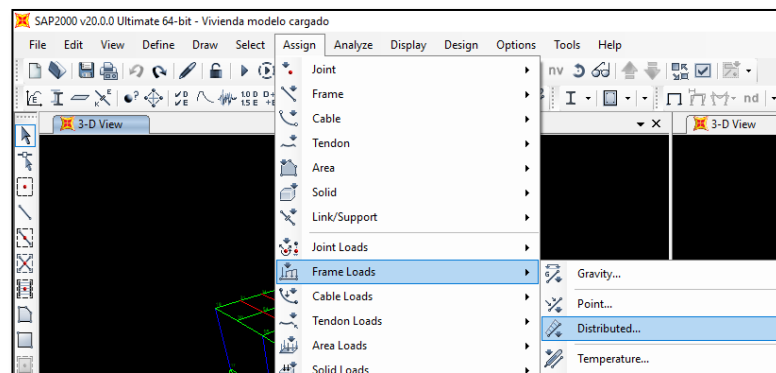


Figura 3.23. Definición de distintos tipos de carga en los elementos de la estructura.

Fuente: Autores.

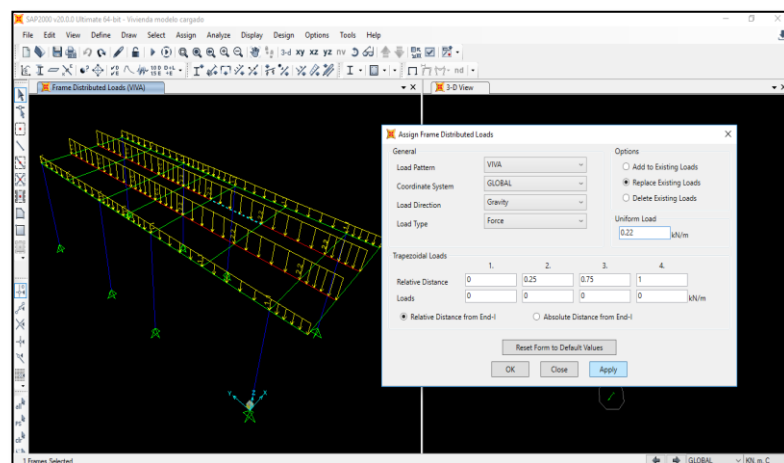


Figura 3.24. Colocación de los distintos tipos de carga en los elementos de la estructura.

Fuente: Autores.

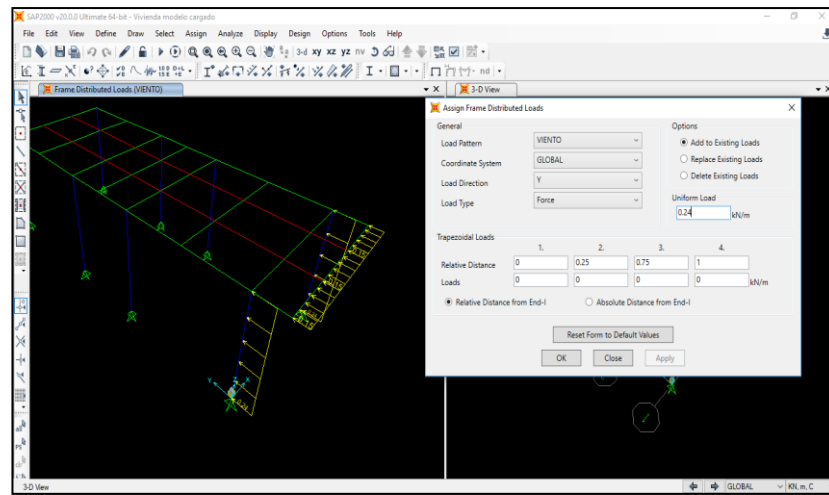


Figura 3.25. Colocación de los distintos tipos de carga en los elementos de la estructura.

Fuente: Autores.

9. Ejecutar el análisis del modelo, con los tipos de carga que se indican en la imagen.

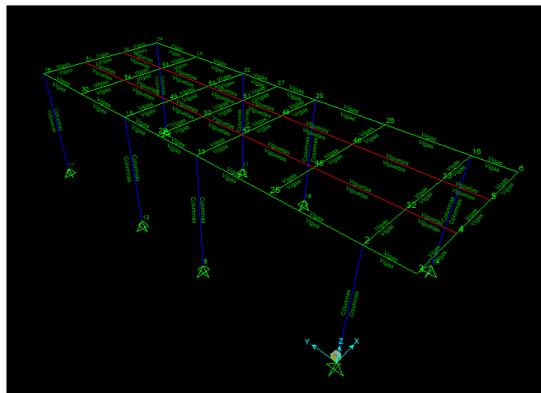


Figura 3.26. Modelación de un módulo por separado para el escenario 1.

Fuente: Autores.

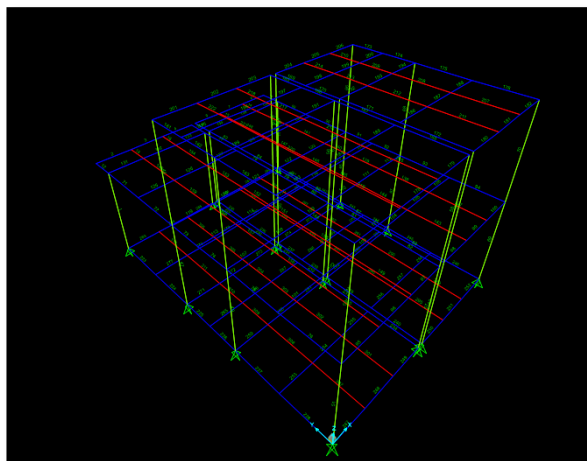


Figura 3.27. Modelación de la vivienda mínima modular ampliada para el escenario 2.

Fuente: Autores.

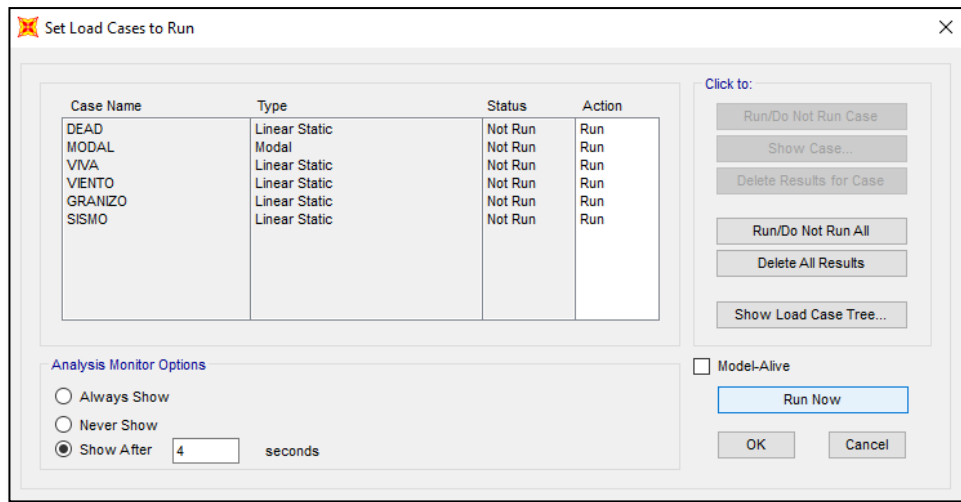


Figura 3.28. Ejecución del modelo de la vivienda mínima modular.

Fuente: Autores.

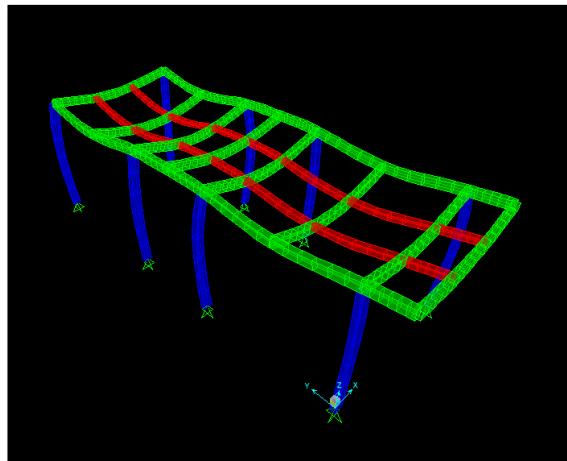


Figura 3.29. Deformación del módulo separado para el escenario 1.

Fuente: Autores.

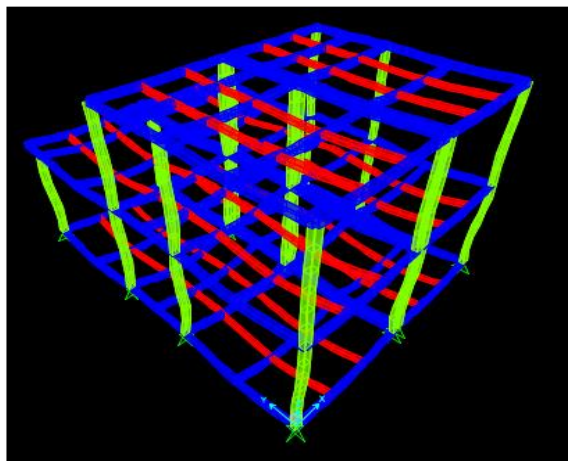


Figura 3.30. Deformación de la vivienda mínima modular ampliada para el escenario 2.

Fuente: Autores.

10. Comprobar los resultados, producto de la ejecución del análisis del modelo

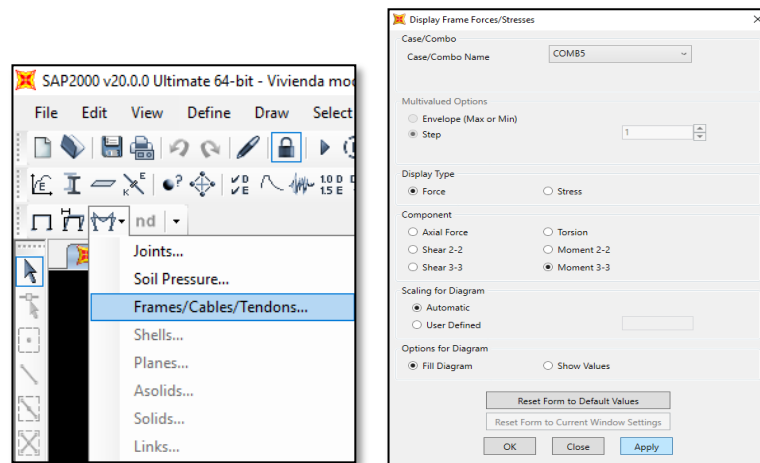


Figura 3.31. Análisis de esfuerzos de la vivienda mínima modular para las diferentes combinaciones de carga.

Fuente: Autores.

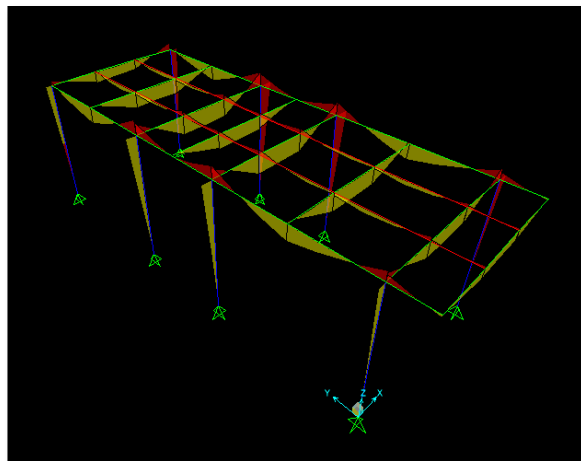


Figura 3.32. Gráficas de esfuerzos del módulo separado para el escenario 1.

Fuente: Autores.

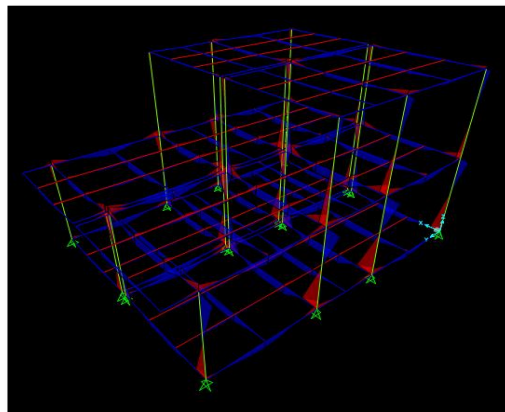


Figura 3.33. Gráficas de esfuerzos de la vivienda mínima modular ampliada para el escenario 2.

Fuente: Autores.

3.7 Tabulación y análisis de los resultados obtenidos de la modelación de la vivienda en el programa comercial

Se procede con la tabulación de los resultados obtenidos de la modelación con el programa comercial. Se consideró separar los resultados por el tipo de elemento estructural y el nivel al que pertenecen. A continuación, se muestra un ejemplo de la tabla utilizada en la tabulación:

Tabla 3.37. Modelo de tabulación de esfuerzos para los elementos columna tipo.

Fuerza en los elementos- columnas (niveles: 0.00 - 2.50 m)									
Elemento	Estación	Combinación	P	V2	V3	T	M2	M3	N° elemento
Texto	m	Texto	Ton	Ton	Ton	Ton.m	Ton.m	Ton.m	Texto
1	0	Combinación 1	-0.900	-0.149	0.088	0.000	0.122	-0.172	1-1
1	1.25	Combinación 1	-0.873	-0.149	0.088	0.000	0.012	0.015	1-1
1	2.5	Combinación 1	-0.847	-0.149	0.088	0.000	-0.097	0.202	1-1

Fuente: Autores.

Tabla 3.38. Modelo de tabulación de esfuerzos para los elementos columna tipo.

Fuerza en los elementos- columnas (niveles: 2.50 - 5.00 m)									
Elemento	Estación	Combinación	P	V2	V3	T	M2	M3	N° elemento
Texto	m	Texto	Ton	Ton	Ton	Ton.m	Ton.m	Ton.m	Texto
48	0	Combinación 2	-0.297	-0.132	0.007	0.000	-0.014	-0.212	48-1
48	1.25	Combinación 2	-0.274	-0.132	0.007	0.000	-0.022	-0.047	48-1
48	2.5	Combinación 2	-0.251	-0.132	0.007	0.000	-0.031	0.118	48-1

Fuente: Autores.

Tabla 3.39. Modelo de tabulación de esfuerzos para los elementos viga tipo.

Fuerza en los Elementos - Vigas (Nivel: 0.00 m)									
Elemento	Estación	Combinación	P	V2	V3	T	M2	M3	N. Elemento
Texto	m	Texto	Ton	Ton	Ton	Ton.m	Ton.m	Ton.m	Texto
223	0.00	Combinacion 3	0.000	-0.433	0.000	-0.055	0.000	-0.126	223-1
223	0.47	Combinacion 3	0.000	-0.333	0.000	-0.055	0.000	0.053	223-1
223	0.93	Combinacion 3	0.000	-0.232	0.000	-0.055	0.000	0.184	223-1
223	1.40	Combinacion 3	0.000	-0.131	0.000	-0.055	0.000	0.269	223-1

Fuente: Autores.

Tabla 3.40. Modelo de tabulación de esfuerzos para los elementos viga tipo.

Fuerza en los elementos - vigas (nivel: 2.50 m)									
Elemento	Estación	Combinación	P	V2	V3	T	M2	M3	N° elemento
Texto	m	Texto	Ton	Ton	Ton	Ton.m	Ton.m	Ton.m	Texto
2	0.00	Combinación 4	-0.008	-0.143	0.011	0.033	0.002	-0.008	2-1
2	0.49	Combinación 4	-0.008	-0.136	0.001	0.033	0.000	0.059	2-1
2	0.97	Combinación 4	-0.008	-0.130	-0.009	0.033	0.001	0.124	2-1

Fuente: Autores.

Tabla 3.41. Modelo de tabulación de esfuerzos para los elementos viga tipo.

Fuerza en los elementos - vigas (nivel: 5.00 m)									
Elemento	Estación	Combinación	P	V2	V3	T	M2	M3	N° elemento
Texto	m	Texto	Ton	Ton	Ton	Ton.m	Ton.m	Ton.m	Texto
161	0.00	Combinación 5	-0.002	-0.074	0.003	-0.021	0.001	-0.009	161-1
161	0.45	Combinación 5	-0.002	-0.040	0.003	-0.021	0.000	0.017	161-1
161	0.90	Combinación 5	-0.002	-0.006	0.003	-0.021	-0.002	0.027	161-1

Fuente: Autores.

Tabla 3.42. Modelo de tabulación de esfuerzos para los elementos vigueta tipo.

Fuerza en los elementos - viguetas (nivel: 0.00 m)									
Elemento	Estación	Combinación	P	V2	V3	T	M2	M3	N° elemento
Texto	m	Texto	Ton	Ton	Ton	Ton.m	Ton.m	Ton.m	Texto
289	0.00	Combinación 6	0.000	-0.143	0.000	-0.003	0.000	-0.028	289-1
289	0.47	Combinación 6	0.000	-0.071	0.000	-0.003	0.000	0.022	289-1
289	0.93	Combinación 6	0.000	0.001	0.000	-0.003	0.000	0.039	289-1

Fuente: Autores.

Tabla 3.43. Modelo de tabulación de esfuerzos para los elementos vigueta tipo.

Fuerza en los elementos - viguetas (nivel: 2.50 m)									
Elemento	Estación	Combinación	P	V2	V3	T	M2	M3	N° elemento
Texto	m	Texto	Ton	Ton	Ton	Ton.m	Ton.m	Ton.m	Texto
14	0.00	Combinación 7	0.000	-0.059	0.000	0.007	0.000	-0.018	14-1
14	0.33	Combinación 7	0.000	-0.009	0.000	0.007	0.000	-0.007	14-1
14	0.65	Combinación 7	0.000	0.041	0.000	0.007	0.000	-0.012	14-1

Fuente: Autores.

Tabla 3.44. Modelo de tabulación de esfuerzos para los elementos vigueta tipo.

Fuerza en los elementos - viguetas (nivel: 5.00 m)									
Elemento	Estación	Combinación	P	V2	V3	T	M2	M3	N° elemento
Texto	m	Texto	Ton	Ton	Ton	Ton.m	Ton.m	Ton.m	Texto
207	0.00	Combinación 1	-0.001	-0.049	0.000	-0.001	0.000	-0.009	207-1
207	0.47	Combinación 1	-0.001	-0.025	0.000	-0.001	0.000	0.009	207-1
207	0.93	Combinación 1	-0.001	-0.002	0.000	-0.001	0.000	0.015	207-1
207	1.40	Combinación 1	-0.001	0.022	0.000	-0.001	0.000	0.010	207-1

Fuente: Autores.

A través de la filtración de datos se obtuvo los máximos esfuerzos en los elementos estructurales los cuales se mostrarán a continuación:

3.7.1 Resultados de la modelación del escenario 1

Módulo 3.00 x 7.50 m

- Esfuerzos obtenidos en elementos columna**

Tabla 3.45. Resultados de esfuerzos para el elemento columna tipo.

Niveles: 0.00 - 2.50 m			
Momento	Trac.	0.218	Ton.m
	Com.	-0.216	Ton.m
Cortante	+	0.610	Ton
	-	-0.174	Ton
Torsión	+	0.000	Ton.m
	-	-0.001	Ton.m
Carga axial	Com.	0.285	Ton
	Com.	0.948	Ton

Fuente: Autores.

- Esfuerzos obtenidos en elementos viga**

Tabla 3.46. Resultados de esfuerzos para el elemento viga tipo.

Nivel: 0.00 m			
Momento	Trac.	0.179	Ton.m
	Com.	-0.187	Ton.m
Cortante	+	0.377	Ton
	-	-0.377	Ton
Torsión	+	0.032	Ton.m
	-	-0.032	Ton.m
Carga axial	Com.	0.003	Ton
	Com.	0.020	Ton

Nivel: 2.50 m			
Momento	Trac.	0.179	Ton.m
	Com.	-0.184	Ton.m
Cortante	+	0.378	Ton
	-	-0.378	Ton
Torsión	+	0.032	Ton.m
	-	-0.032	Ton.m
Carga axial	Com.	0.002	Ton
	Com.	0.165	Ton

Fuente: Autores.

- Esfuerzos obtenidos en elementos vigueta**

Tabla 3.47. Resultados de esfuerzos para el elemento vigueta tipo.

Nivel: 0.00 m			
Momento	Trac.	0.146	Ton.m
	Com.	-0.161	Ton.m
Cortante	+	0.538	Ton
	-	-0.538	Ton
Torsión	+	0.014	Ton.m
	-	-0.014	Ton.m
Carga axial	Com.	0.000	Ton
	Com.	0.000	Ton

Nivel: 2.50 m			
Momento	Trac.	0.136	Ton.m
	Com.	-0.171	Ton.m
Cortante	+	0.544	Ton
	-	-0.539	Ton
Torsión	+	0.027	Ton.m
	-	-0.027	Ton.m
Carga axial	Com.	0.000	Ton
	Com.	0.019	Ton

Fuente: Autores.

Mediante el análisis realizado en el procesamiento de los datos se obtienen los siguientes valores máximos de esfuerzo con los cuales se procederá a realizar el diseño:

Tabla 3.48. Resultados de esfuerzos máximos para el elemento columna tipo.

Esfuerzos máximos en columnas		
Momento	0.218	Ton.m
Cortante	0.174	Ton
Torsión	0.001	Ton.m
Carga axial	0.948	Ton

Fuente: Autores.

Tabla 3.49. Resultados de esfuerzos máximos para el elemento viga tipo.

Esfuerzos máximos en vigas		
Momento	0.187	Ton.m
Cortante	0.378	Ton
Torsión	0.032	Ton.m
Carga axial	0.165	Ton

Fuente: Autores.

Tabla 3.50. Resultados de esfuerzos máximos para el elemento vigueta tipo.

Esfuerzos máximos en viguetas		
Momento	0.171	Ton.m
Cortante	0.544	Ton
Torsión	0.027	Ton.m
Carga axial	0.019	Ton

Fuente: Autores.

Módulo 2.80 x 7.50 m

- Esfuerzos obtenidos en elementos columna**

Tabla 3.51. Resultados de esfuerzos para el elemento columna tipo.

Niveles: 0.00 - 2.50 m			
Momento	Trac.	0.190	Ton.m
	Com.	-0.188	Ton.m
Cortante	+	0.138	Ton
	-	-0.151	Ton
Torsión	+	0.000	Ton.m
	-	-0.001	Ton.m
Carga axial	Com.	0.263	Ton
	Com.	0.889	Ton

Fuente: Autores.

- **Esfuerzos obtenidos en elementos viga**

Tabla 3.52. Resultados de esfuerzos para el elemento viga tipo.

Nivel: 0.00 m				Nivel: 2.50 m			
Momento	Trac.	0.158	Ton.m	Momento	Trac.	0.158	Ton.m
	Com.	-0.164	Ton.m		Com.	-0.162	Ton.m
Cortante	+	0.352	Ton	Cortante	+	0.353	Ton
	-	-0.352	Ton		-	-0.353	Ton
Torsión	+	0.029	Ton.m	Torsión	+	0.029	Ton.m
	-	-0.029	Ton.m		-	-0.029	Ton.m
Carga axial	Com.	0.003	Ton	Carga axial	Com.	0.002	Ton
	Com.	0.020	Ton		Com.	0.144	Ton

Fuente: Autores.

- **Esfuerzos obtenidos en elementos vigueta**

Tabla 3.53. Resultados de esfuerzos para el elemento vigueta tipo.

Nivel: 0.00 m				Nivel: 2.50 m			
Momento	Trac.	0.052	Ton.m	Momento	Trac.	0.051	Ton.m
	Com.	-0.061	Ton.m		Com.	-0.061	Ton.m
Cortante	+	0.202	Ton	Cortante	+	0.195	Ton
	-	-0.201	Ton		-	-0.201	Ton
Torsión	+	0.003	Ton.m	Torsión	+	0.007	Ton.m
	-	-0.003	Ton.m		-	-0.007	Ton.m
Carga axial	Com.	0.005	Ton	Carga axial	Com.	0.004	Ton
	Com.	0.003	Ton		Com.	0.007	Ton

Fuente: Autores.

Mediante el análisis realizado en el procesamiento de los datos se obtienen los siguientes valores máximos de esfuerzo, con los cuales se procederá a realizar el diseño:

Tabla 3.54. Resultados de esfuerzos máximos para el elemento columna tipo.

Esfuerzos máximos en columnas		
Momento	0.190	Ton.m
Cortante	0.151	Ton
Torsión	0.001	Ton.m
Carga axial	0.889	Ton

Fuente: Autores.

Tabla 3.55. Resultados de esfuerzos máximos para el elemento viga tipo.

Esfuerzos máximos en vigas		
Momento	0.164	Ton.m
Cortante	0.353	Ton
Torsión	0.029	Ton.m
Carga axial	0.144	Ton

Fuente: Autores.

Tabla 3.56. Resultados de esfuerzos máximos para el elemento vigueta tipo.

Esfuerzos máximos en viguetas		
Momento	0.061	Ton.m
Cortante	0.202	Ton
Torsión	0.007	Ton.m
Carga axial	0.007	Ton

Fuente: Autores.

3.7.2 Resultados de la modelación del escenario 2

- Esfuerzos obtenidos en elementos columna**

Tabla 3.57. Resultados de esfuerzos para el elemento columna tipo.

Niveles: 0.00 - 2.50 m				Niveles: 2.50 - 5.00 m			
Momento	Trac.	0.489	Ton.m	Momento	Trac.	0.253	Ton.m
	Com.	-0.489	Ton.m		Com.	-0.253	Ton.m
Cortante	+	0.353	Ton	Cortante	+	0.188	Ton
	-	-0.353	Ton		-	-0.188	Ton
Torsión	+	0.000	Ton.m	Torsión	+	0.000	Ton.m
	-	0.000	Ton.m		-	0.000	Ton.m
Carga axial	Com.	0.454	Ton	Carga axial	Com.	0.044	Ton
	Com.	2.889	Ton		Com.	1.186	Ton

Fuente: Autores.

- Esfuerzos obtenidos en elementos viga**

Tabla 3.58. Resultados de esfuerzos para el elemento viga tipo.

Nivel: 0.00 m				Nivel: 2.50 m			
Momento	Trac.	0.416	Ton.m	Momento	Trac.	0.359	Ton.m
	Com.	-0.420	Ton.m		Com.	-0.510	Ton.m
Cortante	+	0.865	Ton	Cortante	+	0.896	Ton
	-	-0.865	Ton		-	-0.896	Ton
Torsión	+	0.083	Ton.m	Torsión	+	0.094	Ton.m
	-	-0.083	Ton.m		-	-0.094	Ton.m
Carga axial	Com.	0.000	Ton	Carga axial	Com.	0.001	Ton
	Com.	0.000	Ton		Com.	0.285	Ton

Nivel: 5.00 m			
Momento	Trac.	0.218	Ton.m
	Com.	-0.230	Ton.m
Cortante	+	0.469	Ton
	-	-0.469	Ton
Torsión	+	0.039	Ton.m
	-	-0.039	Ton.m
Carga axial	Com.	0.000	Ton
	Com.	0.182	Ton

Fuente: Autores.

- **Esfuerzos obtenidos en elementos vigueta**

Tabla 3.59. Resultados de esfuerzos para el elemento vigueta tipo.

Nivel: 0.00 m				Nivel: 2.50 m			
Momento	Trac.	0.146	Ton.m	Momento	Trac.	0.136	Ton.m
	Com.	-0.161	Ton.m		Com.	-0.171	Ton.m
Cortante	+	0.538	Ton	Cortante	+	0.544	Ton
	-	-0.538	Ton		-	-0.539	Ton
Torsión	+	0.014	Ton.m	Torsión	+	0.027	Ton.m
	-	-0.014	Ton.m		-	-0.027	Ton.m
Carga axial	Com.	0.000	Ton	Carga axial	Com.	0.000	Ton
	Com.	0.000	Ton		Com.	0.019	Ton

Nivel: 5.00 m			
Momento	Trac.	0.074	Ton.m
	Com.	-0.081	Ton.m
Cortante	+	0.272	Ton
	-	-0.247	Ton
Torsión	+	0.012	Ton.m
	-	-0.012	Ton.m
Carga axial	Com.	0.001	Ton
	Com.	0.019	Ton

Fuente: Autores.

Mediante el análisis realizado en el procesamiento de los datos se obtienen los siguientes valores máximos de esfuerzo con los cuales se procederá a realizar el diseño:

Tabla 3.60. Resultados de esfuerzos máximos para el elemento columna tipo.

Esfuerzos máximos en columnas		
Momento	0.489	Ton.m
Cortante	0.353	Ton
Torsión	0.000	Ton.m
Carga axial	2.889	Ton

Fuente: Autores.

Tabla 3.61. Resultados de esfuerzos máximos para el elemento viga tipo.

Esfuerzos máximos en vigas		
Momento	0.510	Ton.m
Cortante	0.896	Ton
Torsión	0.469	Ton.m
Carga axial	0.285	Ton

Fuente: Autores.

Tabla 3.62. Resultados de esfuerzos máximos para el elemento vigueta tipo.

Esfuerzos máximos en viguetas		
Momento	0.171	Ton.m
Cortante	0.544	Ton
Torsión	0.272	Ton.m
Carga axial	0.019	Ton

Fuente: Autores.

Mediante el análisis realizado a los datos procedentes de las tabulaciones de resultados, se determina que la modelación de la vivienda en el escenario 2 presenta los esfuerzos máximos a los que estarán sometidos los elementos estructurales de la misma. Para este escenario se consideró el comportamiento de la vivienda emplazada en sitio, la cual esta sometida a las cargas establecidas en la NEC y las cargas producto de la futura ampliación de la planta alta de la vivienda.

Con la obtención de los esfuerzos máximos presentes en los elementos estructurales se procede a realizar el diseño de los mismos con lo establecido en la normativa y especificaciones del AISI., el cual es el instituto de regularización de perfiles laminados en frío.

3.8 Diseño de los elementos estructurales que conforman la vivienda modular mínima, basado en las especificaciones del AISI

Propiedades de las secciones

Las propiedades de las secciones se deben determinar de acuerdo con los métodos convencionales del cálculo estructural. Las propiedades se deben basar en la totalidad de la sección transversal de los excepto cuando se requiera el empleo de una sección transversal reducida o un ancho efectivo de cálculo.

Limitaciones geométricas

Se debe satisfacer:

$$w_1/t \leq 60 \quad (\text{Ecuación 14})$$

w_1 : Longitud del elemento horizontal (paralelo al eje X).

t : Espesor.

$$w_2/t \leq 200 \quad (\text{Ecuación 15})$$

w_2 : Longitud del tramo recto vertical (paralelo al eje Y).

t: Espesor .

$$\lambda = \frac{KL}{r} \leq 200 \quad (\text{Ecuación 16})$$

λ : Esbeltez.

K: Factor de longitud efectiva.

L: Longitud no arriostrada del miembro.

r: Radio de giro de la sección.

Miembros traccionados

Para los miembros cargados con tracción axial, la resistencia nominal a la tracción, T_n , se debe determinar de la siguiente manera:

$$T_c = \phi_t \times T_n \quad (\text{Ecuación 17})$$

$$T_n = A_n \times F_y \quad (\text{Ecuación 18})$$

Donde:

T_c : Resistencia de diseño a tracción.

ϕ_t : Factor de resistencia para tracción (Valor: 0.90)

T_n : Resistencia nominal del miembro cuando está traccionado.

A_n : Superficie neta de la sección transversal.

F_y : Tensión de fluencia.

Se debe satisfacer:

$$n_t = \frac{T_f}{T_c} \leq 1 \quad (\text{Ecuación 19})$$

Donde:

T_f : Resistencia a la compresión requerida para las combinaciones de carga LRFD.

Miembros comprimidos

Para los miembros cargados con compresión axial, la resistencia nominal a la compresión, Ton , se debe determinar de la siguiente manera:

$$P_c = \phi_c \times P_n \quad (\text{Ecuación 20})$$

$$P_n = A_c \times F_n \quad (\text{Ecuación 21})$$

Donde:

P_c : Resistencia de diseño a compresión.

ϕ_c : Factor de resistencia para compresión (Valor: 0.85)

P_n : Resistencia nominal del miembro cuando está comprimido.

A_c : Superficie eficaz de la sección transversal.

F_n : Tensión elástica de pandeo a flexión.

Para $\lambda_c \leq 1.5$

$$F_n = (0.658^{\lambda_c^2}) \times F_y \quad (\text{Ecuación 22})$$

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{F_y}{F_e}} \quad (\text{Ecuación 23})$$

F_y : Tensión de fluencia.

F_e : Tensión elástica de pandeo a flexión calculada según las secciones C4.1.1. a C4.1.4.

$$F_e = \frac{\pi^2 \times E}{(KL/r)^2} \quad (\text{Ecuación 24})$$

Donde:

E : Módulo de elasticidad longitudinal.

K : Factor de longitud efectiva.

L : Longitud no arriostrada del miembro.

r : Radio de giro de la sección transversal total no reducida.

Se debe satisfacer:

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (\text{Ecuación 25})$$

Donde:

I : Inercia de la sección eje X.

A : Área de la sección.

$$I = \frac{b \times h^3}{12} - \frac{b' \times h'^3}{12} \quad (\text{Ecuación 26})$$

b: Base de la sección.

h: Altura de la sección.

b': Base interna de la sección.

h': Altura interna de la sección.

Se debe satisfacer:

$$nc = \frac{Pf}{Pc} \leq 1 \quad (\text{Ecuación 27})$$

Pf: Resistencia a la compresión requerida para las combinaciones de carga LRFD.

Miembros expuestos a cortante

La resistencia nominal al corte, V_n , en cualquier sección se debe calcular de la siguiente manera:

Resistencia a corte en la dirección del eje X y dirección del eje Y.

$$V_c = \phi v \times V_n \quad (\text{Ecuación 28})$$

Donde:

$$V_n = A_w \times F_v \quad (\text{Ecuación 29})$$

$$A_w = h \times t \quad (\text{Ecuación 30})$$

Donde:

V_c : Resistencia de diseño a cortante.

ϕv : Factor de resistencia para cortante (Valor: 0.95)

V_n : Resistencia nominal del miembro a cortante.

A_w : Área de los elementos paralelos a la dirección del cortante.

h: Altura del tramo recto del alma.

t: Espesor de los elementos paralelos a la dirección del cortante.

Para:

$$\frac{h}{t} \leq \sqrt{\frac{E \times K_v}{F_y}} \quad (\text{Ecuación 31})$$

K_v : Coeficiente de abolladura por cortante (Para almas no reforzadas, $K_v = 5,34$).

F_y : Tensión de fluencia.

E : Módulo de Young.

$$F_v = 0.6 \times F_y \quad (\text{Ecuación 32})$$

Se debe satisfacer:

$$nv = \frac{V_f}{V_c} \leq 1 \quad (\text{Ecuación 33})$$

Donde:

V_f : Resistencia a cortante crítica requerida para las combinaciones de carga LRFD.

Miembros expuestos a torsión

La resistencia nominal a torsión, T_{rn} , en cualquier sección se debe calcular de la siguiente manera:

$$T_{rc} = \phi_{tr} \times T_{rn} \quad (\text{Ecuación 33})$$

Donde:

T_{rc} : Resistencia de diseño a la torsión.

ϕ_{tr} : Factor de resistencia para torsión (Valor: 0.9)

T_{rn} : Resistencia nominal a compresión, tomada como el menor de los valores C4.1 y C4.2.

$$T_{rn} = F_n \times C \quad (\text{Ecuación 34})$$

Donde:

$$C = \frac{J}{t} \quad (\text{Ecuación 35})$$

$$J = \frac{4 \times A p^2 \times t}{p} \quad (\text{Ecuación 36})$$

$$A p = (h - t) \times (b - t) - R c^2 \times (4 - \pi) \quad (\text{Ecuación 37})$$

$$p = 2 \times [(h - t) \times (b - t)] - R c \times (4 - \pi) \quad (\text{Ecuación 38})$$

$$R c = 1.5 \times t \quad (\text{Ecuación 39})$$

Cuando:

$$\frac{b}{t} \geq 10 \quad (\text{Ecuación 40})$$

Donde:

C: Módulo resistente a torsión.

J: Momento de inercia a torsión uniforme.

t: Espesor.

Se debe satisfacer:

$$ntr = \frac{Trf}{Trc} \leq 1 \quad (\text{Ecuación 41})$$

Miembros expuestos a flexión

La resistencia nominal al corte, Mn, en cualquier sección se debe calcular de la siguiente manera:

- **Resistencia a flexión alrededor del eje X**

$$Mc = \phi b \times Mn \quad (\text{Ecuación 42})$$

$$Mn = Sex \times Fy \quad (\text{Ecuación 43})$$

$$Sex = \frac{Iex \times Iey - Iexy^2}{Iey Y - Iexy X} \quad (\text{Ecuación 44})$$

Donde:

Mc: Resistencia de diseño a flexión.

ϕb : Factor de resistencia para flexión (Valor: 0.95)

Mn: Resistencia a la flexión nominal.

Sex: Módulo elástico de la sección efectiva calculado con la fibra extrema comprimida o traccionada a Fy.

Iex: Momento eficaz de inercia respecto al eje X.

Iey: Momento eficaz de inercia respecto al eje Y.

Iexy: Producto eficaz de inercia.

X: Distancia a la fibra extrema en flexión.

Y: Distancia a la fibra extrema en flexión.

Se debe satisfacer:

$$nb = \frac{Mf}{Mc} \leq 1 \quad (\text{Ecuación 45})$$

Donde:

Mf: Resistencia a flexión crítica requerida para las combinaciones de carga LRFD.

- **Resistencia a flexión alrededor del eje Y**

$$M_c = \phi b \times M_n \quad (\text{Ecuación 42})$$

$$M_n = S_{ey} \times F_y \quad (\text{Ecuación 46})$$

$$S_{ey} = \frac{I_{ex} \times I_{ey} - I_{exy}^2}{I_{ex}X - I_{exy}Y} \quad (\text{Ecuación 47})$$

Donde:

Mc: Resistencia de diseño a flexión.

φb: Factor de resistencia para flexión (Valor: 0.95)

Mn: Resistencia a la flexión nominal.

Sey: Módulo elástico de la sección efectiva calculado con la fibra extrema comprimida o traccionada a Fy.

Iex: Momento eficaz de inercia respecto al eje X.

Iey: Momento eficaz de inercia respecto al eje Y.

Iexy: Producto eficaz de inercia.

X: Distancia a la fibra extrema en flexión.

Y: Distancia a la fibra extrema en flexión.

Se debe satisfacer:

$$nb = \frac{M_f}{M_c} \leq 1 \quad (\text{Ecuación 48})$$

Donde:

Mf: Resistencia a flexión crítica requerida para las combinaciones de carga LRFD.

Comprobaciones de resistencia a esfuerzos combinados

- Resistencia a flexión alrededor del eje X combinada con torsión:

Se debe satisfacer:

$$nb = \frac{M_f}{M_c \times R} \leq 1 \quad (\text{Ecuación 49})$$

$$R = \frac{|fbx|}{|fbx| + |fTr|} \leq 1 \quad (\text{Ecuación 50})$$

$$fbx = \frac{-y}{Ix} \times Mfx \quad (\text{Ecuación 51})$$

Donde:

Mf: Resistencia requerida para flexión positiva.

Mc: Resistencia de diseño a flexión.

R: Factor de reducción de resistencia debido a la torsión.

y: Coordenada Y del punto de cálculo respecto al centro de gravedad.

Mfx: Resistencia requerida a flexión respecto al eje X para las combinaciones de carga LRFD.

fTr: Tensión tangencial debida a la torsión.

- **Resistencia a flexión alrededor del eje X combinada con torsión**

Se debe satisfacer:

$$nb = \frac{Mf}{Mc \times R} \leq 1 \quad (\text{Ecuación 49})$$

$$R = \frac{|fby|}{|fby| + |fTr|} \leq 1 \quad (\text{Ecuación 52})$$

$$fby = \frac{-x}{Iy} \times Mfy \quad (\text{Ecuación 53})$$

Donde:

Mf: Resistencia requerida para flexión positiva.

Mc: Resistencia de diseño a flexión.

R: Factor de reducción de resistencia debido a la torsión.

x: Coordenada X del punto de cálculo respecto al centro de gravedad.

Mfy: Resistencia requerida a flexión respecto al eje X para las combinaciones de carga LRFD.

fTr: Tensión tangencial debida a la torsión.

- **Resistencia a flexión alrededor del eje X combinada con corte en la dirección del eje Y**

Se debe satisfacer:

$$n \leq 1$$

$$n = \left(\frac{Mfx}{Mcx} \right)^2 + \left(\frac{Vfy}{Vcy} \right)^2 \quad (\text{Ecuación 54})$$

Donde:

Mfx: Resistencia requerida a flexión respecto al eje X para las combinaciones de carga LRFD.

Mcx: Resistencia de diseño a flexión alrededor del eje X.

Vfy: Resistencia requerida a cortante respecto al eje Y para las combinaciones de carga LRFD.

Vcy: Resistencia de diseño a cortante alrededor del eje Y.

- **Resistencia a flexión alrededor del eje Y combinada con corte en la dirección del eje X**

Se debe satisfacer:

$$n \leq 1$$

$$n = \left(\frac{Mfy}{Mcy} \right)^2 + \left(\frac{Vfx}{Vcx} \right)^2 \quad (\text{Ecuación 55})$$

Donde:

Mfy: Resistencia requerida a flexión respecto al eje Y para las combinaciones de carga LRFD.

Mcy: Resistencia de diseño a flexión alrededor del eje Y.

Vfx: Resistencia requerida a cortante respecto al eje X para las combinaciones de carga LRFD.

Vcx: Resistencia de diseño a cortante alrededor del eje X.

- **Resistencia a flexión combinada con compresión**

Se debe satisfacer el siguiente criterio si:

$$\frac{Pf}{\phi_c \times P_n} \leq 0.15 \quad (\text{Ecuación 56})$$

$$n = \frac{Pf}{\phi_c \times P_n} + \frac{Mfx}{\phi_{bx} \times M_{cx}} + \frac{Mfy}{\phi_{by} \times M_{cy}} \leq 1 \quad (\text{Ecuación 57})$$

Donde:

Pf: Resistencia a la compresión requerida para las combinaciones de carga LRFD.

Mfx: Resistencia requerida a flexión respecto al eje X para las combinaciones de carga LRFD.

Mfy: Resistencia requerida a flexión respecto al eje Y para las combinaciones de carga LRFD.

ϕ_c : Factor de resistencia para compresión.

ϕ_{bx} : Factor de resistencia para flexión.

ϕ_{by} : Factor de resistencia para flexión.

M_{cx} : Resistencia de diseño a flexión alrededor del eje X.

M_{cy} : Resistencia de diseño a flexión alrededor del eje Y.

- **Resistencia a flexión combinada con tracción**

Se debe satisfacer:

$$n = \frac{M_{fx}}{\phi_{bx} \times M_{nxt}} + \frac{M_{fy}}{\phi_{by} \times M_{nyt}} + \frac{T_f}{\phi_t \times T_n} \leq 1 \quad (\text{Ecuación 58})$$

Donde:

ϕ_b : Factor de resistencia para flexión alrededor del eje X.

M_{fx} : Resistencia requerida a flexión respecto al eje X para las combinaciones de carga LRFD.

M_{fy} : Resistencia requerida a flexión respecto al eje Y para las combinaciones de carga LRFD.

M_{nxt} : Resistencia nominal a flexión alrededor del eje X.

M_{nyt} : Resistencia nominal a flexión alrededor del eje Y.

ϕ_t : Factor de resistencia para tracción.

T_f : Resistencia a tracción requerida para las combinaciones de carga LRFD.

T_n : Resistencia nominal a tracción.

$$n_f = \frac{T_f}{\phi_t \times T_n} + \frac{M_{fx}}{\phi_b \times M_{nxt} \times R_x} + \frac{M_{fy}}{\phi_b \times M_{nyt} \times R_y} \quad (\text{Ecuación 59})$$

Donde:

R_x : Factor de reducción de la resistencia a flexión alrededor del eje X debido a la torsión, calculado según C3.6

R_y : Factor de reducción de la resistencia a flexión alrededor del eje Y debido a la torsión, calculado según C3.6

ϕ_{bx} : Factor de resistencia para flexión alrededor del eje X.

M_{fx} : Resistencia requerida a flexión respecto al eje X para las combinaciones de carga LRFD.

ϕ_{by} : Factor de resistencia para flexión alrededor del eje Y.

M_{fy} : Resistencia requerida a flexión respecto al eje Y para las combinaciones de carga LRFD.

ϕ_t : Factor de resistencia para tracción.

T_f : Resistencia a tracción requerida para las combinaciones de carga LRFD.

T_n : Resistencia nominal a tracción, según la sección C2. (AISI, 1996)

Los resultados del diseño y las comprobaciones de los elementos estructurales se pueden apreciar a continuación.

3.8.1 Elemento estructural tipo columna

Limitaciones geométricas

$$\frac{w_1}{t} \leq 60 \quad (\text{Ecuación 14})$$

w_1 : Longitud del elemento horizontal (paralelo al eje X)
 t : Espesor

$$\begin{array}{lcl} w_1 = & 100 & \text{mm} \\ t = & 4 & \text{mm} \end{array}$$

$$w_1/t = 25 \leq 60 \quad \text{Cumple}$$

$$\frac{w_2}{t} \leq 200 \quad (\text{Ecuación 15})$$

w_2 : Longitud del tramo recto vertical (paralelo al eje Y)
 t : Espesor

$$\begin{array}{lcl} w_2 = & 150 & \text{mm} \\ t = & 4 & \text{mm} \end{array}$$

$$w_2/t = 37.5 \leq 200 \quad \text{Cumple}$$

$$\lambda = \frac{KL}{r} \leq 200 \quad (\text{Ecuación 16})$$

λ : Esbeltez

$$\lambda = 44.27 \leq 200 \quad \text{Cumple}$$

Resistencia a compresión

$$n_c = \frac{P_f}{P_c} \leq 1 \quad (\text{Ecuación 27})$$

P_f : Resistencia a la compresión requerida para las combinaciones de carga LRFD
 $P_f = 2.89 \text{ Ton}$

P_c : Resistencia de diseño a la compresión

$$P_c = \phi_c \times P_n \quad (\text{Ecuación 20})$$

ϕ_c : Factor de resistencia para compresión
 $\phi_c = 0.85$

P_n : Resistencia nominal a compresión, tomada como el menor de los valores C4.1 y C4.2

$$P_n = A_c \times F_n \quad (\text{Ecuación 21})$$

A_c : Área de la sección eficaz

Para $\lambda_c \leq 1.5$

$$F_n = (0.658^{\lambda_c^2}) \times F_y \quad (\text{Ecuación 22})$$

F_y : Límite elástico del acero

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{F_y}{F_e}} \quad (\text{Ecuación 23})$$

F_y : Límite elástico del acero

F_e : Tensión elástica de pandeo a flexión calculada según las secciones C4.1.1 a C4.1.4

$$F_e = \frac{\pi^2 \times E}{(KL/r)^2} \quad (\text{Ecuación 24})$$

E : Módulo de elasticidad longitudinal

K : Factor de longitud efectiva

L : Longitud no arriostrada del miembro

r : Radio de gira de la sección transversal total no reducida

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (\text{Ecuación 25})$$

I : Inercia de la sección eje X

A : Área de la sección

$$I = \frac{b \times h^3}{12} - \frac{b' \times h'^3}{12} \quad (\text{Ecuación 26})$$

b : Base de la sección

h : Altura de la sección

b' : Base interna de la sección

h' : Altura interna de la sección

$t = 0.4 \text{ cm}$

$b = 10 \text{ cm}$

$h = 15 \text{ cm}$

$b' = 9.2 \text{ cm}$

$h' = 14.2 \text{ cm}$

$I_x = 617.31 \text{ cm}^4$

$I_y = 328.55 \text{ cm}^4$

$A = 19.36 \text{ cm}^2$

$E = 2069317.02 \text{ kg/cm}^2$

$K = 1$ Doblemente articulada

$L = 250 \text{ cm}$

$r_x = 5.65 \text{ cm}$

$r_y = 4.12 \text{ cm}$

$F_e = 10419.4909 \text{ kg/cm}^2$

$F_y = 2548.42 \text{ kg/cm}^2$

$\lambda_c = 0.4946 < 1.5$ **Cumple**

$F_n = 2300.45 \text{ kg/cm}^2$

$P_n = 44.54 \text{ Ton}$

$P_c = 37.86 \text{ Ton}$

$n_c = 0.076 \leq 1$ **Cumple**

Resistencia a la torsión

$$ntr = \frac{Trf}{Trc} \leq 1 \quad (\text{Ecuación 41})$$

Trf : Resistencia a la torsión requerida para las combinaciones de carga LRFD
 $Trf = 0.00 \quad \text{Ton}$

Trc : Resistencia de diseño a la torsión
 $Trc = \phi_{tr} \times Trn \quad (\text{Ecuación 33})$

ϕ_{tr} : Factor de resistencia para torsión
 $\phi_{tr} = 0.9$

Trn : Resistencia nominal a compresión, tomada como el menor de los valores C4.1 y C4.2
 $Trn = F_n \times C \quad (\text{Ecuación 34})$

C : Módulo resistente a torsión
 $C = \frac{J}{t} \quad (\text{Ecuación 35})$

J : Momento de inercia a torsión uniforme
 t : Espesor

$$J = \frac{4 \times A_p^2 \times t}{p} \quad (\text{Ecuación 36}) \quad \text{Válido cuando } b/t \geq 10 \quad (\text{Ecuación 40})$$

$$A_p = (h - t) \times (b - t) - R_c^2 \times (4 - \pi) \quad (\text{Ecuación 37})$$

$$p = 2 \times [(h - t) \times (b - t)] - R_c \times (4 - \pi) \quad (\text{Ecuación 38})$$

$$R_c = 1.5 \times t \quad (\text{Ecuación 39})$$

$$b/t = 25 \geq 10 \quad \text{Cumple}$$

$$\begin{aligned} A_p &= 139.85 \quad \text{cm}^2 \\ R_c &= 0.60 \quad \text{cm} \\ p &= 47.88 \quad \text{cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} J &= 653.51 \quad \text{cm}^4 \\ C &= 1633.77 \quad \text{cm}^3 \end{aligned}$$

$$F_n = 0.6 \times F_y \quad (\text{Ecuación 63})$$

$$F_n = 1529.05 \quad \text{kg/cm}^2$$

$$Trn = 24.98 \quad \text{Ton.m}$$

$$Trc = 22.48 \quad \text{Ton.m}$$

$$ntr = 0 \leq 1 \quad \text{Cumple}$$

Resistencia a flexión alrededor del eje X

$$nb = \frac{M_f}{M_c} \leq 1 \quad (\text{Ecuación 45})$$

M_f : Resistencia a flexión crítica requerida para las combinaciones de carga LRFD

$$M_f = 0.489 \quad \text{Ton.m}$$

M_c : Resistencia de diseño a flexión

$$M_c = \phi_b \times M_n \quad (\text{Ecuación 42})$$

ϕ_b : Factor de resistencia para flexión

$$\phi_b = 0.95$$

M_n : Resistencia a la flexión nominal

$$M_n = S_{ex} \times F_y \quad (\text{Ecuación 43})$$

$$S_{ex} = \frac{I_{ex} \times I_{ey} - I_{exy}^2}{I_{ey} Y - I_{exy} X} \quad (\text{Ecuación 44})$$

I_{ex} : Momento eficaz de inercia respecto al eje X

I_{ey} : Momento eficaz de inercia respecto al eje Y

I_{exy} : Producto eficaz de inercia

x : Distancia a la fibra extrema en flexión

y : Distancia a la fibra extrema en flexión

$$I_{exy} = 0 \quad \text{cm}^4$$

$$x = 5 \quad \text{cm}$$

$$y = 7.5 \quad \text{cm}$$

$$S_{ex} = 82.31 \quad \text{cm}^3$$

$$M_n = 209756.21 \quad \text{kg.cm}$$

$$M_c = 1.99 \quad \text{Ton.m}$$

$$n_b = 0.25 \leq 1 \quad \text{Cumple}$$

Resistencia a flexión alrededor del eje Y

$$n_b = \frac{M_f}{M_c} \leq 1 \quad (\text{Ecuación 48})$$

M_f : Resistencia a flexión crítica requerida para las combinaciones de carga LRFD

$$M_f = 0.489 \quad \text{Ton.m}$$

M_c : Resistencia de diseño a flexión

$$M_c = \phi_b \times M_n \quad (\text{Ecuación 42})$$

ϕ_b : Factor de resistencia para flexión

$$\phi_b = 0.95$$

M_n : Resistencia a la flexión nominal

$$M_n = S_{ey} \times F_y \quad (\text{Ecuación 46})$$

$$S_{ey} = \frac{I_{ex} \times I_{ey} - I_{exy}^2}{I_{ex} X - I_{exy} Y} \quad (\text{Ecuación 47})$$

S_{ey} : Módulo elástico de la sección efectiva calculado con la fibra extrema comprimida o traccionada a F_y

I_{ex} : Momento eficaz de inercia respecto al eje X

I_{ey} : Momento eficaz de inercia respecto al eje Y

I_{exy} : Producto eficaz de inercia

x : Distancia a la fibra extrema en flexión

y : Distancia a la fibra extrema en flexión

$$I_{exy} = 0 \quad \text{cm}^4$$

$$x = 5 \quad \text{cm}$$

$$y = 7.5 \quad \text{cm}$$

$$S_{ey} = 123.46 \quad \text{cm}^3$$

$$Mn = 314634.32 \text{ kg.cm}$$

$$Mc = 2.99 \text{ Ton.m}$$

$$nb = 0.16 \leq 1 \quad \text{Cumple}$$

Resistencia a corte en la direcciones del eje X

$$nv = \frac{Vf}{Vc} \leq 1 \quad (\text{Ecuación 33})$$

Vf : Resistencia a cortante crítica requerida para las combinaciones de carga LRFD

$$Vf = 0.353 \text{ Ton}$$

Vc : Resistencia de diseño a cortante

$$Vc = \phi v \times Vn \quad (\text{Ecuación 28})$$

ϕv : Factor de resistencia para cortante

$$\phi v = 0.95$$

Aw Área de los elementos paralelos a la dirección del cortante

$$Aw = h \times t \quad (\text{Ecuación 30})$$

h : Altura del tramo recto del alma

t : Espesor de los elementos paralelos a la dirección del cortante

$$h = 10 \text{ cm}$$

$$Aw = 4 \text{ cm}^2$$

Para:

$$\frac{h}{t} \leq \sqrt{\frac{E \times Kv}{Fy}} \quad (\text{Ecuación 31})$$

$$h/t = 25$$

$$Kv = 5.34 \text{ Para almas no reforzadas}$$

$$\sqrt{\frac{E \times Kv}{Fy}} = 65.85$$

$$25 \leq 65.85 \quad \text{Relación: Cumple}$$

$$Fv = 0.6 \times Fy \quad (\text{Ecuación 32})$$

Kv : Coeficiente de abolladura por cortante

$$Fv = 1529.05 \text{ kg/cm}^2$$

$$Vn = 6.12 \text{ Ton}$$

$$Vc = 5.81 \text{ Ton}$$

$$nv = 0.06 \leq 1 \quad \text{Cumple}$$

Resistencia a corte en la direcciones del eje Y

$$nv = \frac{Vf}{Vc} \leq 1 \quad (\text{Ecuación 33})$$

Vf : Resistencia a cortante crítica requerida para las combinaciones de carga LRFD

$$Vf = 0.353 \quad \text{Ton}$$

Vc : Resistencia de diseño a cortante

$$Vc = \phi_v \times Vn \quad (\text{Ecuación 28})$$

ϕ_v : Factor de resistencia para cortante

$$\phi_v = 0.95$$

Aw : Área de los elementos paralelos a la dirección del cortante

$$Aw = h \times t \quad (\text{Ecuación 30})$$

h : Altura del tramo recto del alma

t : Espesor de los elementos paralelos a la dirección del cortante

$$h = 15 \quad \text{cm}$$

$$Aw = 6 \quad \text{cm}^2$$

Para:

$$\frac{h}{t} \leq \sqrt{\frac{E \times Kv}{Fy}} \quad (\text{Ecuación 31})$$

$$h/t = 37.5$$

$$Kv = 5.34 \quad \text{Para almas no reforzadas}$$

$$\sqrt{\frac{E \times Kv}{Fy}} = 65.85$$

	Relación:		
37.5	$\leq$	65.85	Cumple

$$Fv = 0.6 \times Fy \quad (\text{Ecuación 32})$$

Kv : Coeficiente de abolladura por cortante

$$Fv = 1529.05 \quad \text{kg/cm}^2$$

$$Vn = 9.17 \quad \text{Ton}$$

$$Vc = 8.72 \quad \text{Ton}$$

$$nv = 0.04 \leq 1 \quad \text{Cumple}$$

Resistencia a flexión alrededor del eje X combinada con torsión

$$nb = \frac{Mf}{Mc \times R} \leq 1 \quad (\text{Ecuación 49})$$

Mf : Resistencia requerida para flexión positiva

Mc : Resistencia de diseño a flexión

R : Factor de reducción de resistencia debido a la torsión

$$R = \frac{|fbx|}{|fbx| + |fTr|} \leq 1 \quad (\text{Ecuación 50})$$

x : Coordenada X del punto de cálculo respecto al centro de gravedad

y : Coordenada Y del punto de cálculo respecto al centro de gravedad

$$x = 5 \quad \text{cm}$$

$$y = 7.5 \quad \text{cm}$$

fbx : Tensión normal debida a la flexión alrededor del eje X

$$fbx = \frac{-y}{I_x} \times Mfx \quad (\text{Ecuación 51})$$

$$fbx = -594.11 \quad \text{kg/cm}^2$$

Mfx : Resistencia requerida a flexión respecto al eje X para las combinaciones de carga LRFD

I_x : Momento de inercia respecto al eje X

fTr : Tensión tangencial debida a la torsión

$$fTr = 0.00 \quad \text{kg/cm}^2$$

$$R = 1 \leq 1 \quad \text{Cumple}$$

$$nb = 0.16 \leq 1 \quad \text{Cumple}$$

Resistencia a flexión alrededor del eje Y combinada con torsión

$$nb = \frac{Mf}{Mc \times R} \leq 1 \quad (\text{Ecuación 49})$$

Mf : Resistencia requerida para flexión negativa

Mc : Resistencia de diseño a flexión

R : Factor de reducción de resistencia debido a la torsión

$$R = \frac{|fby|}{|fby| + |fTr|} \leq 1 \quad (\text{Ecuación 52})$$

x : Coordenada X del punto de cálculo respecto al centro de gravedad

y : Coordenada Y del punto de cálculo respecto al centro de gravedad

$$x = 5 \quad \text{cm}$$

$$y = 7.5 \quad \text{cm}$$

fby : Tensión normal debida a la flexión alrededor del eje Y

$$fby = \frac{-x}{I_y} \times Mfy \quad (\text{Ecuación 53})$$

$$fby = -744.17 \quad \text{kg/cm}^2$$

Mfy : Resistencia requerida a flexión respecto al eje Y para las combinaciones de carga LRFD

I_y : Momento de inercia respecto al eje Y

fTr : Tensión tangencial debida a la torsión

$$fTr = 0.00 \quad \text{kg/cm}^2$$

$$R = 1 \leq 1 \quad \text{Cumple}$$

$$nb = 0.16 \leq 1 \quad \text{Cumple}$$

Resistencia a flexión alrededor del eje X combinada con corte en la dirección del eje Y

$$n \leq 1$$

$$n = \left(\frac{Mfx}{Mcx} \right)^2 + \left(\frac{Vfy}{Vcy} \right)^2 \quad (\text{Ecuación 54})$$

Mfx: Resistencia requerida a flexión respecto al eje X para las combinaciones de carga LRFD

Mcx: Resistencia de diseño a flexión alrededor del eje X

Vfy: Resistencia requerida a cortante respecto al eje Y para las combinaciones de carga LRFD

Vcy: Resistencia de diseño a cortante alrededor del eje Y

$$n = 0.06 \leq 1 \quad \text{Cumple}$$

Resistencia a flexión alrededor del eje Y combinada con corte en la dirección del eje X

$$n \leq 1$$

$$n = \left(\frac{Mfy}{Mcy} \right)^2 + \left(\frac{Vfx}{Vcx} \right)^2 \quad (\text{Ecuación 55})$$

Mfy: Resistencia requerida a flexión respecto al eje Y para las combinaciones de carga LRFD

Mcy: Resistencia de diseño a flexión alrededor del eje Y

Vfx: Resistencia requerida a cortante respecto al eje X para las combinaciones de carga LRFD

Vcx: Resistencia de diseño a cortante alrededor del eje X

$$n = 0.03 \leq 1 \quad \text{Cumple}$$

Resistencia a flexión combinada con compresión

$$\frac{Pf}{\phi_c \times P_n} \leq 0.15 \quad (\text{Ecuación 56})$$

$$0.09 \leq 0.15 \quad \text{Cumple}$$

$$n = \frac{Pf}{\phi_c \times P_n} + \frac{Mfx}{\phi_{bx} \times M_{cx}} + \frac{Mfy}{\phi_{by} \times M_{cy}} \leq 1 \quad (\text{Ecuación 57})$$

$$n = 0.52 \leq 1 \quad \text{Cumple}$$

Pf: Resistencia a la compresión requerida para las combinaciones de carga LRFD

Mfx: Resistencia requerida a flexión respecto al eje X para las combinaciones de carga LRFD

Mfy: Resistencia requerida a flexión respecto al eje Y para las combinaciones de carga LRFD

ϕ_c : Factor de resistencia para compresión

ϕ_{bx} : Factor de resistencia para flexión

ϕ_{by} : Factor de resistencia para flexión

Mcx: Resistencia de diseño a flexión alrededor del eje X

Mcy: Resistencia de diseño a flexión alrededor del eje Y

El perfil metálico rectangular tipo estructural de dimensiones 150 mm x 100 mm x 4 mm, asumido como la sección de la columna tipo cumple con la normativa y especificaciones establecidas por AISI.

3.8.2 Elemento estructural tipo viga

Limitaciones geométricas (B1)

$$\frac{w_1}{t} \leq 90 \quad (\text{Ecuación 14})$$

w_1 : Longitud del elemento horizontal (paralelo al eje X).
 t : Espesor.

$$\begin{aligned} w_1 &= 100.00 \quad \text{mm} \\ t &= 3.00 \quad \text{mm} \end{aligned}$$

$$w_1/t = 33.33 \leq 60.00 \quad \boxed{\text{Cumple}}$$

$$\frac{w_2}{t} \leq 200 \quad (\text{Ecuación 15})$$

w_2 : Longitud del tramo recto vertical (paralelo al eje Y).
 t : Espesor.

$$\begin{aligned} w_2 &= 150.00 \quad \text{mm} \\ t &= 3.00 \quad \text{mm} \end{aligned}$$

$$w_2/t = 50.00 \leq 200.00 \quad \boxed{\text{Cumple}}$$

Resistencia a tracción (Apéndices A&B, C2)

$$nc = \frac{Tf}{Tc} \leq 1 \quad (\text{Ecuación 19})$$

Tf : Resistencia a tracción requerida para las combinaciones de carga LRFD.
 $Tf = 2.11 \quad \text{Ton}$

Tc : Resistencia de diseño a tracción.

$$Tc = \phi t \times Tn \quad (\text{Ecuación 17})$$

ϕt : Factor de resistencia para tracción.
 $\phi t = 0.90$

Tn : La resistencia nominal a tracción es igual al valor calculado según la Sección C2.1 del Apéndice B:

$$Tn = An \times Fy \quad (\text{Ecuación 18})$$

Fy : Límite elástico del acero.
 $Fy = 2548.42 \quad \text{kg/cm}^2$

An : Área de la sección neta
 b : Base de la sección.
 h : Altura de la sección.

t : Espesor de la sección
 b' : Base interna de la sección.
 h' : Altura interna de la sección.

$$\begin{aligned} t &= 0.30 \quad \text{cm} & b' &= 9.40 \quad \text{cm} \\ b &= 10.00 \quad \text{cm} & h' &= 14.40 \quad \text{cm} \\ h &= 15.00 \quad \text{cm} & Ag &= 14.64 \quad \text{cm}^2 \end{aligned}$$

$$Tn = 37.31 \quad \text{Ton}$$

$$Tc = 33.58 \quad \text{Ton}$$

$$nc = 0.06 \leq 1.00 \quad \boxed{\text{Cumple}}$$

Resistencia a compresión (C4)

$$nc = \frac{Pf}{Pc} \leq 1 \quad (\text{Ecuación 27})$$

Pf : Resistencia a compresión requerida para las combinaciones de carga LRFD.
 $Pf = 0.29 \quad \text{Ton}$

Pc : Resistencia de diseño a la compresión.

$$Pc = \varphi_c \times Pn \quad (\text{Ecuación 20})$$

φ_c : Factor de resistencia para compresión.

$$\varphi_c = 0.85$$

Pn : Resistencia nominal a compresión, tomada como el menor de los valores C4.1 y C4.2.

$$Pn = Ac \times Fn \quad (\text{Ecuación 21})$$

Ac : Área de la sección eficaz.

Para $\lambda_c \leq 1.5$

$$Fn = (0.658^{\lambda_c^2}) \times Fy \quad (\text{Ecuación 22})$$

Fy : Límite elástico del acero

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{Fy}{Fe}} \quad (\text{Ecuación 23})$$

Fy : Límite elástico del acero.

Fe : Tensión elástica de pandeo a flexión calculada según las secciones C4.1.1 a C4.1.4.

$$Fe = \frac{\pi^2 \times E}{(KL/r)^2} \quad (\text{Ecuación 24})$$

E : Módulo de Young.

K : Factor de longitud efectiva.

L : Longitud no arriostrada del miembro.

r : Radio de gira de la sección transversal total no reducida.

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (\text{Ecuación 25})$$

I : Inercia de la sección eje X.

A : Área de la sección.

$$I = \frac{b \times h^3}{12} - \frac{b' \times h'^3}{12} \quad (\text{Ecuación 26})$$

t : Espesor de la sección.

b : Base de la sección.

h : Altura de la sección.

b' : Base interna de la sección.

h' : Altura interna de la sección.

$t =$	0.30	cm	$b' =$	9.40	cm
$b =$	10.00	cm	$h' =$	14.40	cm
$h =$	15.00	cm			

$I_x =$	473.48	cm ⁴	$I_y =$	253.30	cm ⁴
$Ac =$	14.64	cm ²			

$$E = 2069317.02 \quad \text{kg/cm}^2$$

$$K = 1.00 \quad \text{Doblemente articulada}$$

$$L = 140.00 \quad \text{cm}$$

$$rx = 5.69 \quad \text{cm}$$

$$ry = 4.16 \quad \text{cm}$$

$$F_e = 33700.05 \quad \text{kg/cm}^2$$

$$F_y = 2548.42 \quad \text{kg/cm}^2$$

$$\lambda_c = 0.27 < 1.50 \quad \boxed{\text{Cumple}}$$

$$F_n = 2469.02 \quad \text{kg/cm}^2$$

$$P_n = 36.15 \quad \text{Ton}$$

$$P_c = 30.72 \quad \text{Ton}$$

$$n_c = 0.01 \leq 1.00 \quad \boxed{\text{Cumple}}$$

Resistencia a la torsión

$$n_{tr} = \frac{Tr_f}{Tr_c} \leq 1 \quad (\text{Ecuación 41})$$

$$Tr_f : \text{Resistencia requerida a torsión para las combinaciones de carga LRFD.}$$

$$Tr_f = 0.47 \quad \text{Ton}$$

Tr_c : Resistencia de diseño a la torsión.

$$Tr_c = \phi_{tr} \times Tr_n \quad (\text{Ecuación 33})$$

ϕ_{tr} : Factor de resistencia para torsión.

$$\phi_{tr} = 0.90$$

Tr_n : Resistencia nominal a torsión.

$$Tr_n = F_n \times C \quad (\text{Ecuación 34})$$

C : Módulo resistente a torsión.

$$C = \frac{J}{t} \quad (\text{Ecuación 35})$$

J : Momento de inercia a torsión uniforme.

t : Espesor.

$$J = \frac{4 \times A p^2 \times t}{p} \quad (\text{Ecuación 36}) \quad \text{Válido cuando } b/t \geq 10 \quad (\text{Ecuación 40})$$

$$A p = (h - t) \times (b - t) - R c^2 \times (4 - \pi) \quad (\text{Ecuación 37})$$

$$p = 2 \times [(h - t) + (b - t)] - R c \times (4 - \pi) \quad (\text{Ecuación 38})$$

$$R c = 1.5 \times t \quad (\text{Ecuación 39})$$

$$b/t = 33.33 \geq 10.00 \quad \boxed{\text{Cumple}}$$

$$A p = 142.42 \quad \text{cm}^2$$

$$R c = 0.45 \quad \text{cm}$$

$$p = 48.41 \quad \text{cm}$$

$$J = 502.73 \quad \text{cm}^4$$

$$C = 1675.75 \quad \text{cm}^3$$

$$F_n = 0.6 \times F_y \quad (\text{Ecuación 63})$$

$$F_n = 1529.052 \quad \text{kg/cm}^2$$

$$Tr_n = 25.62 \quad \text{Ton.m}$$

$$Tr_c = 23.06 \quad \text{Ton.m}$$

$$n_{tr} = 0.02 \leq 1.00 \quad \boxed{\text{Cumple}}$$

Resistencia a flexión alrededor del eje X (C3.1)

$$nb = \frac{Mf}{Mc} \leq 1 \quad (\text{Ecuación 45})$$

Mf : Resistencia a flexión crítica requerida para las combinaciones de carga LRFD.

$$Mf = 0.51 \quad \text{Ton.m}$$

Mc : Resistencia de diseño a flexión.

$$Mc = \phi b \times Mn \quad (\text{Ecuación 42})$$

ϕb : Factor de resistencia para flexión.

$$\phi b = 0.95$$

Mn : La resistencia a flexión nominal mínima se calcula como la menor de las calculadas en los apartados aplicables del Capítulo C3.1.

$$Mn = Sex \times Fy \quad (\text{Ecuación 43})$$

$$Sex = \frac{Iex \times Iey - Iexy^2}{Iey Y - Iexy X} \quad (\text{Ecuación 44})$$

Iex : Momento eficaz de inercia respecto al eje X.

Iey : Momento eficaz de inercia respecto al eje Y.

$Iexy$: Producto eficaz de inercia.

x : Distancia a la fibra extrema en flexión.

y : Distancia a la fibra extrema en flexión.

$Iexy =$	0.00	cm^4	$Ix =$	473.48	cm^4
$x =$	5.00	cm	$Iy =$	253.30	cm^4
$y =$	7.50	cm			

$$Sex = 63.13 \quad cm^3$$

$$Fy = 2548.42 \quad kg/cm^2$$

$$Mn = 160883.18 \quad kg.cm$$

$$Mc = 1.53 \quad \text{Ton.m}$$

$$nb = 0.33 \leq 1.00 \quad \boxed{\text{Cumple}}$$

Resistencia a flexión alrededor del eje Y (C3.1)

$$nb = \frac{Mf}{Mc} \leq 1 \quad (\text{Ecuación 48})$$

Mf : Resistencia a flexión crítica requerida para las combinaciones de carga LRFD.

$$Mf = 0.51 \quad \text{Ton.m}$$

Mc : Resistencia de diseño a flexión.

$$Mc = \phi b \times Mn \quad (\text{Ecuación 42})$$

ϕb : Factor de resistencia para flexión

$$\phi b = 0.95$$

Mn : La resistencia a flexión nominal mínima se calcula como la menor de las calculadas en los apartados del Capítulo C3.1.

$$Mn = Sex \times Fy \quad (\text{Ecuación 46})$$

$$Sex = \frac{Iex \times Iey - Iexy^2}{Iey Y - Iexy X} \quad (\text{Ecuación 47})$$

Resistencia a flexión alrededor del eje X (C3.1)

$$nb = \frac{Mf}{Mc} \leq 1 \quad (\text{Ecuación 45})$$

Mf : Resistencia a flexión crítica requerida para las combinaciones de carga LRFD.

$$Mf = 0.51 \quad \text{Ton.m}$$

Mc : Resistencia de diseño a flexión.

$$Mc = \phi b \times Mn \quad (\text{Ecuación 42})$$

ϕb : Factor de resistencia para flexión.

$$\phi b = 0.95$$

Mn : La resistencia a flexión nominal mínima se calcula como la menor de las calculadas en los apartados aplicables del Capítulo C3.1.

$$Mn = Sex \times Fy \quad (\text{Ecuación 43})$$

$$Sex = \frac{I_{ex} \times I_{ey} - I_{exy}^2}{I_{ey} Y - I_{exy} X} \quad (\text{Ecuación 44})$$

I_{ex} : Momento eficaz de inercia respecto al eje X.

I_{ey} : Momento eficaz de inercia respecto al eje Y.

I_{exy} : Producto eficaz de inercia.

x : Distancia a la fibra extrema en flexión.

y : Distancia a la fibra extrema en flexión.

$I_{exy} =$	0.00	cm ⁴	$I_x =$	473.48	cm ⁴
$x =$	5.00	cm	$I_y =$	253.30	cm ⁴
$y =$	7.50	cm			

$$Sex = 63.13 \quad \text{cm}^3$$

$$Fy = 2548.42 \quad \text{kg/cm}^2$$

$$Mn = 160883.18 \quad \text{kg.cm}$$

$$Mc = 1.53 \quad \text{Ton.m}$$

$$nb = 0.33 \leq 1.00 \quad \boxed{\text{Cumple}}$$

Resistencia a flexión alrededor del eje Y (C3.1)

$$nb = \frac{Mf}{Mc} \leq 1 \quad (\text{Ecuación 48})$$

Mf : Resistencia a flexión crítica requerida para las combinaciones de carga LRFD.

$$Mf = 0.51 \quad \text{Ton.m}$$

Mc : Resistencia de diseño a flexión.

$$Mc = \phi b \times Mn \quad (\text{Ecuación 42})$$

ϕb : Factor de resistencia para flexión

$$\phi b = 0.95$$

Mn : La resistencia a flexión nominal mínima se calcula como la menor de las calculadas en los apartados del Capítulo C3.1.

$$Mn = Sex \times Fy \quad (\text{Ecuación 46})$$

$$Sex = \frac{I_{ex} \times I_{ey} - I_{exy}^2}{I_{ey} Y - I_{exy} X} \quad (\text{Ecuación 47})$$

I_{ex} : Momento eficaz de inercia respecto al eje X.

I_{ey} : Momento eficaz de inercia respecto al eje Y.

I_{exy} : Producto eficaz de inercia.

x : Distancia a la fibra extrema en flexión.

y : Distancia a la fibra extrema en flexión.

$$I_{exy} = 0.00 \quad cm^4$$

$$x = 5.00 \quad cm$$

$$y = 7.50 \quad cm$$

$$S_{ex} = 63.13 \quad cm^3$$

$$M_n = 160883.18 \quad kg.cm$$

$$M_c = 1.53 \quad Ton.m$$

$$n_b = 0.33 \leq 1.00 \quad \boxed{\text{Cumple}}$$

Resistencia a corte en la direcciones del eje X (C3.2)

$$n_v = \frac{V_f}{V_c} \leq 1 \quad (\text{Ecuación 33})$$

V_f : Resistencia a cortante crítica requerida para las combinaciones de carga LRFD.

$$V_f = 0.90 \quad Ton$$

V_c : Resistencia de diseño a cortante.

$$V_c = \phi_v \times V_n \quad (\text{Ecuación 28})$$

ϕ_v : Factor de resistencia para cortante.

$$\phi_v = 0.95$$

$$V_n = A_w \times F_v \quad (\text{Ecuación 29})$$

A_w : Área de los elementos paralelos a la dirección del cortante.

$$(\text{Ecuación 30})$$

$$A_w = h \times t$$

h : Altura del tramo recto del alma.

t : Espesor de los elementos paralelos a la dirección del cortante.

$$h = 10.00 \quad cm$$

$$A_w = 3.00 \quad cm^2$$

Para:

$$\frac{h}{t} \leq \sqrt{\frac{E \times K_v}{F_y}} \quad (\text{Ecuación 31})$$

$$h/t = 33.33$$

K_v : Coeficiente de abolladura por cortante.

$$K_v = 5.34$$

$$\sqrt{\frac{E \times K_v}{F_y}} = 65.85$$

$$25.00 \leq 65.85 \quad \boxed{\text{Cumple}}$$

$$F_v = 0.6 \times F_y \quad (\text{Ecuación 32})$$

$$F_v = 1529.05 \quad \text{kg/cm}^2$$

$$V_n = 4.59 \quad \text{Ton}$$

$$V_c = 4.36 \quad \text{Ton}$$

$$nv = 0.21 \leq 1.00 \quad \boxed{\text{Cumple}}$$

Resistencia a corte en la direcciones del eje Y (C3.2)

$$nv = \frac{V_f}{V_c} \leq 1 \quad (\text{Ecuación 33})$$

V_f : Resistencia a cortante crítica requerida para las combinaciones de carga LRFD.

$$V_f = 0.90 \quad \text{Ton}$$

V_c : Resistencia de diseño a cortante.

$$V_c = \phi_v \times V_n \quad (\text{Ecuación 28})$$

ϕ_v : Factor de resistencia para cortante.

$$\phi_v = 0.95$$

$$V_n = A_n \times F_v \quad (\text{Ecuación 29})$$

A_w : Área de los elementos paralelos a la dirección del cortante.

$$A_w = h \times t \quad (\text{Ecuación 30})$$

h : Altura del tramo recto del alma.

t : Espesor de los elementos paralelos a la dirección del cortante.

$$h = 15.00 \quad \text{cm}$$

$$A_w = 4.50 \quad \text{cm}^2$$

Para:

$$\frac{h}{t} \leq \sqrt{\frac{E \times K_v}{F_y}} \quad (\text{Ecuación 31})$$

$$h/t = 50.00$$

K_v : Coeficiente de abolladura por cortante

$$K_v = 5.34$$

$$\sqrt{\frac{E \times K_v}{F_y}} = 65.85$$

$$50.00 \leq 65.85 \quad \boxed{\text{Cumple}}$$

$$F_v = 0.6 \times F_y \quad (\text{Ecuación 32})$$

$$F_v = 1529.05 \quad \text{kg/cm}^2$$

$$V_n = 6.88 \quad \text{Ton}$$

$$V_c = 6.54 \quad \text{Ton}$$

$$nv = 0.14 \leq 1.00 \quad \boxed{\text{Cumple}}$$

Resistencia a flexión alrededor del eje X combinada con torsión (C3.6)

$$nb = \frac{Mf}{Mc \times R} \leq 1 \quad (\text{Ecuación 49})$$

Mf : Resistencia requerida para flexión positiva.

Mc : Resistencia de diseño a flexión.

R : Factor de reducción de resistencia debido a la torsión.

$$R = \frac{|fbx|}{|fbx| + |fTr|} \leq 1 \quad (\text{Ecuación 50})$$

x : Coordenada X del punto de cálculo respecto al centro de gravedad.

y : Coordenada Y del punto de cálculo respecto al centro de gravedad.

$$x = 5.00 \quad \text{cm}$$

$$y = 7.50 \quad \text{cm}$$

fbx : Tensión normal debida a la flexión alrededor del eje X.

$$fbx = \frac{-y}{I_x} \times Mfx \quad (\text{Ecuación 51})$$

$$fbx = -807.85 \quad \text{kg/cm}^2$$

Mfx : Resistencia requerida a flexión respecto al eje X para las combinaciones de carga LRFD.

I_x : Momento de inercia respecto al eje X.

fTr : Tensión tangencial debida a la torsión.

$$fTr = -0.41 \quad \text{kg/cm}^2$$

$$R = 1.00 \leq 1.00 \quad \boxed{\text{Cumple}}$$

$$nb = 0.33 \leq 1.00 \quad \boxed{\text{Cumple}}$$

Resistencia a flexión alrededor del eje Y combinada con torsión (C3.6)

$$nb = \frac{Mf}{Mc \times R} \leq 1 \quad (\text{Ecuación 49})$$

Mf : Resistencia requerida para flexión negativa.

Mc : Resistencia de diseño a flexión.

R : Factor de reducción de resistencia debido a la torsión.

$$R = \frac{|fby|}{|fby| + |fTr|} \leq 1 \quad (\text{Ecuación 52})$$

x : Coordenada X del punto de cálculo respecto al centro de gravedad.

y : Coordenada Y del punto de cálculo respecto al centro de gravedad.

$$x = 5.00 \quad \text{cm}$$

$$y = 7.50 \quad \text{cm}$$

fby : Tensión normal debida a la flexión alrededor del eje Y.

$$fby = \frac{-x}{I_y} \times Mfy \quad (\text{Ecuación 53})$$

$$fby = -1006.71 \quad \text{kg/cm}^2$$

Mfy : Resistencia requerida a flexión respecto al eje Y para las combinaciones de carga LRFD

I_y : Momento de inercia respecto al eje Y

f_{Tr} : Tensión tangencial debida a la torsión
 $f_{Tr} = 1.03 \text{ kg/cm}^2$

$$R = 1.00 \leq 1.00 \quad \boxed{\text{Cumple}}$$

$$n_b = 0.33 \leq 1.00 \quad \boxed{\text{Cumple}}$$

Resistencia a flexión alrededor del eje X combinada con corte en la dirección del eje Y (C3.3)

$$n \leq 1$$

$$n = \left(\frac{M_{fx}}{M_{cx}} \right)^2 + \left(\frac{V_{fy}}{V_{cy}} \right)^2 \quad (\text{Ecuación 54})$$

M_{fx} :

Resistencia requerida a flexión respecto al eje X para las combinaciones de carga LRFD.

M_{cx} : Resistencia de diseño a flexión alrededor del eje X.

V_{fy} :

Resistencia requerida a cortante respecto al eje Y para las combinaciones de carga LRFD.

V_{cy} : Resistencia de diseño a cortante alrededor del eje Y.

$$n = 0.13 \leq 1.00 \quad \boxed{\text{Cumple}}$$

Resistencia a flexión alrededor del eje Y combinada con corte en la dirección del eje X (C3.3)

$$n \leq 1$$

$$n = \left(\frac{M_{fy}}{M_{cy}} \right)^2 + \left(\frac{V_{fx}}{V_{cx}} \right)^2 \quad (\text{Ecuación 55})$$

M_{fy} :

Resistencia requerida a flexión respecto al eje Y para las combinaciones de carga LRFD.

M_{cy} : Resistencia de diseño a flexión alrededor del eje Y.

V_{fx} :

Resistencia requerida a cortante respecto al eje X para las combinaciones de carga LRFD.

V_{cx} : Resistencia de diseño a cortante alrededor del eje X.

$$n = 0.15 \leq 1.00 \quad \boxed{\text{Cumple}}$$

Resistencia a flexión combinada con tracción (C5.1.2)

$$n_f \leq 1$$

$$n \leq 1$$

$$n_f = \frac{T_f}{\phi_t \times T_n} + \frac{M_{fx}}{\phi_b \times M_{nxt} \times R_x} + \frac{M_{fy}}{\phi_b \times M_{nyt} \times R_y} \quad (\text{Ecuación 59})$$

R_x : Factor de reducción de la resistencia a flexión alrededor del eje X debido a la torsión, calculado según C3.6

R_y : Factor de reducción de la resistencia a flexión alrededor del eje Y debido a la torsión, calculado según C3.6

ϕ_b : Factor de resistencia para flexión alrededor del eje X.

M_{fx} : Resistencia requerida a flexión respecto al eje X para las combinaciones de carga LRFD.

ϕ_b : Factor de resistencia para flexión alrededor del eje Y.

M_{fy} : Resistencia requerida a flexión respecto al eje Y para las combinaciones de carga LRFD.

ϕ_t : Factor de resistencia para tracción.

T_f : Resistencia a tracción requerida para las combinaciones de carga LRFD.

T_n : Resistencia nominal a tracción, según la sección C2.

$$nf = 0.06 \leq 1.00 \quad \boxed{\text{Cumple}}$$

$$n = \frac{Mfx}{\phi b \times Mn x \times Rx} + \frac{Mfy}{\phi b \times Mn y \times Ry} - \frac{Tf}{\phi t \times Tn} \quad (\text{Ecuación 58})$$

R_x : Factor de reducción de la resistencia a flexión alrededor del eje X debido a la torsión, calculado según C3.6

R_y : Factor de reducción de la resistencia a flexión alrededor del eje Y debido a la torsión, calculado según C3.6

$\phi b x$: Factor de resistencia para flexión alrededor del eje X.

Mfx : Resistencia requerida a flexión respecto al eje X para las combinaciones de carga LRFD.

$Mn x$: Resistencia nominal a flexión alrededor del eje X según la sección C3.1.

$\phi b y$: Factor de resistencia para flexión alrededor del eje Y.

Mfy : Resistencia requerida a flexión respecto al eje Y para las combinaciones de carga LRFD.

$Mn y$: Resistencia nominal a flexión alrededor del eje Y según la sección C3.1.

ϕt : Factor de resistencia para tracción.

Tf : Resistencia a tracción requerida para las combinaciones de carga LRFD.

Tn : Resistencia nominal a tracción, según la sección C2.

$$n = -0.06 \leq 1.00 \quad \boxed{\text{Cumple}}$$

Resistencia a flexión combinada con compresión (C5.2.2)

$$\frac{Pf}{\phi c \times Pn} \leq 0.15 \quad (\text{Ecuación 56})$$

$$n = \frac{Pf}{\phi c \times Pn} + \frac{Mfx}{\phi b x \times M c x} + \frac{Mfy}{\phi b y \times M c y} \leq 1 \quad (\text{Ecuación 57})$$

Pf : Resistencia a compresión requerida para las combinaciones de carga LRFD.

ϕc : Factor de resistencia a compresión.

Pn : Resistencia nominal a compresión según la Sección C4.

R_x : Factor de reducción de la resistencia a flexión alrededor del eje X debido a la torsión, calculado según C3.6

R_y : Factor de reducción de la resistencia a flexión alrededor del eje Y debido a la torsión, calculado según C3.6

$\phi b x$: Factor de resistencia para flexión alrededor del eje X.

Mfx : Resistencia requerida a flexión respecto al eje X para las combinaciones de carga LRFD.

$Mn x$: Resistencia nominal a flexión alrededor del eje X según la sección C3.1.

$\phi b y$: Factor de resistencia para flexión alrededor del eje Y.

Mfy : Resistencia requerida a flexión respecto al eje Y para las combinaciones de carga LRFD.

$Mn y$: Resistencia nominal a flexión alrededor del eje Y según la sección C3.1.

$$n = 0.71 \leq 1.00 \quad \boxed{\text{Cumple}}$$

$$Pf = 0.01 \leq 0.15 \quad \boxed{\text{Cumple}}$$

El perfil metálico rectangular tipo estructural de dimensiones 150 mm x 100 mm x 3 mm, asumido como la sección de la viga tipo cumple con la normativa y especificaciones establecidas por AISI.

3.8.3 Elemento estructural tipo vigueta

Limitaciones geométricas (B1)

$$\frac{w_1}{t} \leq 90 \quad (\text{Ecuación 14})$$

w_1 : Longitud del elemento horizontal (paralelo al eje X).

t : Espesor.

$$w_1 = 100.00 \quad \text{mm}$$

$$t = 3.00 \quad \text{mm}$$

$$w_1/t = 33.33 \leq 60.00 \quad \boxed{\text{Cumple}}$$

$$\frac{w_2}{t} \leq 200 \quad (\text{Ecuación 15})$$

w_2 : Longitud del tramo recto vertical (paralelo al eje Y).

t : Espesor.

$$w_2 = 100.00 \quad \text{mm}$$

$$t = 3.00 \quad \text{mm}$$

$$w_2/t = 33.33 \leq 200.00 \quad \boxed{\text{Cumple}}$$

Resistencia a tracción (Apéndices A&B, C2)

$$nc = \frac{Tf}{Tc} \leq 1 \quad (\text{Ecuación 19})$$

Tf : Resistencia a tracción requerida para las combinaciones de carga LRFD.

$$Tf = 0.25 \quad \text{Ton}$$

Tc : Resistencia de diseño a tracción.

$$Tc = \phi t \times Tn \quad (\text{Ecuación 17})$$

ϕt : Factor de resistencia para tracción.

$$\phi t = 0.90$$

Tn : La resistencia nominal a tracción es igual al valor calculado según la Sección C2.1 del Apéndice B:

$$Tn = Ag \times Fy \quad (\text{Ecuación 18})$$

Fy : Límite elástico del acero.

$$Fy = 2548.42 \quad \text{kg/cm}^2$$

Ag : Área de la sección bruta.

b : Base de la sección.

h : Altura de la sección.

t : Espesor de la sección

b' : Base interna de la sección.

h' : Altura interna de la sección.

$$t = 0.30 \quad \text{cm}$$

$$b = 10.00 \quad \text{cm}$$

$$h = 10.00 \quad \text{cm}$$

$$b' = 9.40 \quad \text{cm}$$

$$h' = 9.40 \quad \text{cm}$$

$$Ag = 11.64 \quad \text{cm}^2$$

$$Tn = 29.66 \quad \text{Ton}$$

$$Tc = 26.70 \quad \text{Ton}$$

$$nc = 0.01 \leq 1.00 \quad \boxed{\text{Cumple}}$$

Resistencia a compresión (C4)

$$nc = \frac{Pf}{Pc} \leq 1 \quad (\text{Ecuación 27})$$

Pf : Resistencia a compresión requerida para las combinaciones de carga LRFD.
 $Pf = 0.02 \quad \text{Ton}$

Pc : Resistencia de diseño a la compresión.

$$Pc = \varphi_c \times Pn \quad (\text{Ecuación 20})$$

φ_c : Factor de resistencia para compresión.

$$\varphi_c = 0.85$$

Pn : Resistencia nominal a compresión, tomada como el menor de los valores C4.1 y C4.2.

$$Pn = Ac \times Fn \quad (\text{Ecuación 21})$$

Ac : Área de la sección eficaz.

Para $\lambda_c \leq 1.5$

$$Fn = (0.658^{\lambda_c^2}) \times Fy \quad (\text{Ecuación 22})$$

Fy : Límite elástico del acero

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{Fy}{Fe}} \quad (\text{Ecuación 23})$$

Fy : Límite elástico del acero.

Fe : Tensión elástica de pandeo a flexión calculada según las secciones C4.1.1 a C4.1.4.

$$Fe = \frac{\pi^2 \times E}{(KL/r)^2} \quad (\text{Ecuación 24})$$

E : Módulo de Young.

K : Factor de longitud efectiva.

L : Longitud no arriostrada del miembro.

r : Radio de gira de la sección transversal total no reducida.

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (\text{Ecuación 25})$$

I : Inercia de la sección eje X.

A : Área de la sección.

$$I = \frac{b \times h^3}{12} - \frac{b' \times h'^3}{12} \quad (\text{Ecuación 26})$$

t : Espesor de la sección.

b : Base de la sección.

h : Altura de la sección.

b' : Base interna de la sección.

h' : Altura interna de la sección.

$t =$	0.30	cm	$b' =$	9.40	cm
$b =$	10.00	cm	$h' =$	9.40	cm
$h =$	10.00	cm			

$I_x =$	182.71	cm ⁴	$I_y =$	182.71	cm ⁴
$Ac =$	11.64	cm ²			

$$E = 2069317.02 \quad \text{kg/cm}^2$$

$$K = 1.00 \quad \text{Doblemente articulada}$$

$$L = 140.00 \quad \text{cm}$$

$$rx = 3.96 \quad \text{cm}$$

$$ry = 3.96 \quad \text{cm}$$

$$F_e = 16356.04 \quad \text{kg/cm}^2$$

$$F_y = 2548.42 \quad \text{kg/cm}^2$$

$$\lambda_c = 0.39 < 1.50 \quad \boxed{\text{Cumple}}$$

$$F_n = 2387.53 \quad \text{kg/cm}^2$$

$$P_n = 27.79 \quad \text{Ton}$$

$$P_c = 23.62 \quad \text{Ton}$$

$$n_c = 0.00 \leq 1.00 \quad \boxed{\text{Cumple}}$$

Resistencia a la torsión

$$n_{tr} = \frac{Tr_f}{Tr_c} \leq 1 \quad (\text{Ecuación 41})$$

$$Tr_f : \text{Resistencia requerida a torsión para las combinaciones de carga LRFD.}$$

$$Tr_f = 0.27 \quad \text{Ton}$$

$$Tr_c : \text{Resistencia de diseño a la torsión.}$$

$$Tr_c = \phi_{tr} \times Tr_n \quad (\text{Ecuación 33})$$

$$\phi_{tr} : \text{Factor de resistencia para torsión.}$$

$$\phi_{tr} = 0.90$$

$$Tr_n : \text{Resistencia nominal a torsión.}$$

$$Tr_n = F_n \times C \quad (\text{Ecuación 34})$$

$$C : \text{Módulo resistente a torsión.}$$

$$C = \frac{J}{t} \quad (\text{Ecuación 35})$$

$$J : \text{Momento de inercia a torsión uniforme.}$$

$$t : \text{Espesor.}$$

$$J = \frac{4 \times A p^2 \times t}{p} \quad (\text{Ecuación 36}) \quad \text{Válido cuando } b/t \geq 10 \quad (\text{Ecuación 40})$$

$$A p = (h - t) \times (b - t) - R c^2 \times (4 - \pi) \quad (\text{Ecuación 37})$$

$$p = 2 \times [(h - t) + (b - t)] - R c \times (4 - \pi) \quad (\text{Ecuación 38})$$

$$R c = 1.5 \times t \quad (\text{Ecuación 39})$$

$$b/t = 33.33 \geq 10.00 \quad \boxed{\text{Cumple}} \quad (\text{Ecuación 40})$$

$$A p = 93.92 \quad \text{cm}^2$$

$$R c = 0.45 \quad \text{cm}$$

$$p = 38.41 \quad \text{cm}$$

$$J = 275.53 \quad \text{cm}^4$$

$$C = 918.45 \quad \text{cm}^3$$

$$F_n = 0.6 \times F_y \quad (\text{Ecuación 63})$$

$$F_n = 1529.05 \quad \text{kg/cm}^2$$

$$Tr_n = 14.04 \quad \text{Ton.m}$$

$$Tr_c = 12.64 \quad \text{Ton.m}$$

$$n_{tr} = 0.02 \leq 1.00 \quad \boxed{\text{Cumple}}$$

Resistencia a flexión alrededor del eje X (C3.1)

$$nb = \frac{Mf}{Mc} \leq 1 \quad (\text{Ecuación 45})$$

Mf : Resistencia a flexión crítica requerida para las combinaciones de carga LRFD.

$$Mf = 0.17 \quad \text{Ton.m}$$

Mc : Resistencia de diseño a flexión.

$$Mc = \phi b \times Mn \quad (\text{Ecuación 42})$$

ϕb : Factor de resistencia para flexión.

$$\phi b = 0.95$$

Mn : La resistencia a flexión nominal mínima se calcula como la menor de las calculadas en los apartados aplicables del Capítulo C3.1.

$$(\text{Ecuación 43})$$

$$Mn = Sex \times Fy$$

$$Sex = \frac{Iex \times Iey - Iexy^2}{Iey Y - Iexy X} \quad (\text{Ecuación 44})$$

Iex : Momento eficaz de inercia respecto al eje X.

Iey : Momento eficaz de inercia respecto al eje Y.

$Iexy$: Producto eficaz de inercia.

x : Distancia a la fibra extrema en flexión.

y : Distancia a la fibra extrema en flexión.

$$Iexy = 0.00 \quad cm^4 \quad Ix = 182.71 \quad cm^4$$

$$x = 5.00 \quad cm \quad Iy = 182.71 \quad cm^4$$

$$y = 5.00 \quad cm$$

$$Sex = 36.54 \quad cm^3$$

$$Fy = 2548.42 \quad kg/cm^2$$

$$Mn = 93123.96 \quad kg.cm$$

$$Mc = 0.88 \quad \text{Ton.m}$$

$$nb = 0.19 \leq 1.00 \quad \boxed{\text{Cumple}}$$

Resistencia a flexión alrededor del eje Y (C3.1)

$$nb = \frac{Mf}{Mc} \leq 1 \quad (\text{Ecuación 48})$$

Mf : Resistencia a flexión crítica requerida para las combinaciones de carga LRFD.

$$Mf = 0.17 \quad \text{Ton.m}$$

Mc : Resistencia de diseño a flexión.

$$Mc = \phi b \times Mn \quad (\text{Ecuación 42})$$

ϕb : Factor de resistencia para flexión

$$\phi b = 0.95$$

Mn : La resistencia a flexión nominal mínima se calcula como la menor de las calculadas en los apartados del Capítulo C3.1.

$$(\text{Ecuación 46})$$

$$Mn = Sex \times Fy$$

$$Sex = \frac{Iex \times Iey - Iexy^2}{Iey Y - Iexy X} \quad (\text{Ecuación 47})$$

Iex : Momento eficaz de inercia respecto al eje X.

Iey : Momento eficaz de inercia respecto al eje Y.

$Iexy$: Producto eficaz de inercia.

x : Distancia a la fibra extrema en flexión.

y : Distancia a la fibra extrema en flexión.

$$\begin{aligned} I_{xy} &= 0.00 & \text{cm}^4 \\ x &= 5.00 & \text{cm} \\ y &= 5.00 & \text{cm} \end{aligned}$$

$$S_{ex} = 36.54 \quad \text{cm}^3$$

$$M_n = 93123.96 \quad \text{kg.cm}$$

$$M_c = 0.88 \quad \text{Ton.m}$$

$$n_b = 0.19 \leq 1.00 \quad \boxed{\text{Cumple}}$$

Resistencia a corte en la direcciones del eje X (C3.2)

$$nv = \frac{V_f}{V_c} \leq 1 \quad (\text{Ecuación 33})$$

V_f : Resistencia a cortante crítica requerida para las combinaciones de carga LRFD.

$$V_f = 0.54 \quad \text{Ton}$$

V_c : Resistencia de diseño a cortante.

$$V_c = \phi_v \times V_n \quad (\text{Ecuación 28})$$

ϕ_v : Factor de resistencia para cortante.

$$\phi_v = 0.95$$

$$V_n = A_n \times F_v \quad (\text{Ecuación 29})$$

A_w : Área de los elementos paralelos a la dirección del cortante.

$$A_w = h \times t \quad (\text{Ecuación 30})$$

h : Altura del tramo recto del alma.

t : Espesor de los elementos paralelos a la dirección del cortante.

$$\begin{aligned} h &= 10.00 & \text{cm} \\ A_w &= 3.00 & \text{cm}^2 \end{aligned}$$

Para:

$$\frac{h}{t} \leq \sqrt{\frac{E \times K_v}{F_y}} \quad (\text{Ecuación 31})$$

$$h/t = 33.33$$

K_v : Coeficiente de abolladura por cortante.

$$K_v = 5.34$$

$$\sqrt{\frac{E \times K_v}{F_y}} = 65.85 \quad (\text{Ecuación 31})$$

$$25.00 \leq 65.85 \quad \boxed{\text{Cumple}}$$

$$F_v = 0.6 \times F_y \quad (\text{Ecuación 32})$$

$$F_v = 1529.05 \quad \text{kg/cm}^2$$

$$V_n = 4.59 \quad \text{Ton}$$

$$V_c = 4.36 \quad \text{Ton}$$

$$nv = 0.12 \leq 1.00 \quad \boxed{\text{Cumple}}$$

Resistencia a corte en la direcciones del eje Y (C3.2)

$$nv = \frac{V_f}{V_c} \leq 1 \quad (\text{Ecuación 33})$$

V_f : Resistencia a cortante crítica requerida para las combinaciones de carga LRFD.
 $V_f = 0.54 \quad \text{Ton}$

V_c : Resistencia de diseño a cortante.

$$V_c = \phi_v \times V_n \quad (\text{Ecuación 28})$$

ϕ_v : Factor de resistencia para cortante.
 $\phi_v = 0.95$

$$V_n = A_n \times F_v \quad (\text{Ecuación 29})$$

A_w : Área de los elementos paralelos a la dirección del cortante.

$$A_w = h \times t \quad (\text{Ecuación 30})$$

h : Altura del tramo recto del alma.

t : Espesor de los elementos paralelos a la dirección del cortante.

$$\begin{aligned} h &= 10.00 \quad \text{cm} \\ A_w &= 3.00 \quad \text{cm}^2 \end{aligned}$$

Para:

$$\frac{h}{t} \leq \sqrt{\frac{E \times K_v}{F_y}} \quad (\text{Ecuación 31})$$

$$h/t = 33.33$$

K_v : Coeficiente de abolladura por cortante

$$K_v = 5.34$$

$$\sqrt{\frac{E \times K_v}{F_y}} = 65.85 \quad (\text{Ecuación 31})$$

$$33.33 \leq 65.85 \quad \boxed{\text{Cumple}}$$

$$F_v = 0.6 \times F_y \quad (\text{Ecuación 32})$$

$$F_v = 1529.05 \quad \text{kg/cm}^2$$

$$V_n = 4.59 \quad \text{Ton}$$

$$V_c = 4.36 \quad \text{Ton}$$

$$nv = 0.12 \leq 1.00 \quad \boxed{\text{Cumple}}$$

Resistencia a flexión alrededor del eje X combinada con torsión (C3.6)

$$nb = \frac{M_f}{M_c \times R} \leq 1 \quad (\text{Ecuación 49})$$

M_f : Resistencia requerida para flexión positiva.

M_c : Resistencia de diseño a flexión.

R : Factor de reducción de resistencia debido a la torsión.

$$R = \frac{|f_{bx}|}{|f_{bx}| + |f_{Tr}|} \leq 1 \quad (\text{Ecuación 50})$$

x : Coordenada X del punto de cálculo respecto al centro de gravedad.

y : Coordenada Y del punto de cálculo respecto al centro de gravedad.

$$\begin{aligned}x &= 5.00 \text{ cm} \\y &= 5.00 \text{ cm}\end{aligned}$$

f_{bx} : Tensión normal debida a la flexión alrededor del eje X.

$$f_{bx} = \frac{-y}{I_x} \times M_{fx} \quad (\text{Ecuación 51})$$

$$f_{bx} = -465.22 \text{ kg/cm}^2$$

M_{fx} : Resistencia requerida a flexión respecto al eje X para las combinaciones de carga LRFD.

I_x : Momento de inercia respecto al eje X.

f_{Tr} : Tensión tangencial debida a la torsión.

$$f_{Tr} = -0.41 \text{ kg/cm}^2$$

$$R = 1.00 \leq 1.00 \quad \boxed{\text{Cumple}}$$

$$nb = 0.19 \leq 1.00 \quad \boxed{\text{Cumple}}$$

Resistencia a flexión alrededor del eje Y combinada con torsión (C3.6)

$$nb = \frac{M_f}{M_c \times R} \leq 1 \quad (\text{Ecuación 49})$$

M_f : Resistencia requerida para flexión negativa.

M_c : Resistencia de diseño a flexión.

R : Factor de reducción de resistencia debido a la torsión.

$$R = \frac{|f_{by}|}{|f_{by}| + |f_{Tr}|} \leq 1 \quad (\text{Ecuación 52})$$

x : Coordenada X del punto de cálculo respecto al centro de gravedad.

y : Coordenada Y del punto de cálculo respecto al centro de gravedad.

$$\begin{aligned}x &= 5.00 \text{ cm} \\y &= 5.00 \text{ cm}\end{aligned}$$

f_{by} : Tensión normal debida a la flexión alrededor del eje Y.

$$f_{by} = \frac{-x}{I_y} \times M_{fy} \quad (\text{Ecuación 53})$$

$$f_{by} = -465.22 \text{ kg/cm}^2$$

M_{fy} : Resistencia requerida a flexión respecto al eje Y para las combinaciones de carga LRFD

I_y : Momento de inercia respecto al eje Y

f_{Tr} : Tensión tangencial debida a la torsión

$$f_{Tr} = 1.03 \text{ kg/cm}^2$$

$$R = 1.00 \leq 1.00 \quad \boxed{\text{Cumple}}$$

$$nb = 0.19 \leq 1.00 \quad \boxed{\text{Cumple}}$$

Resistencia a flexión alrededor del eje X combinada con corte en la dirección del eje Y (C3.3)

$$n \leq 1$$

$$n = \left(\frac{M_{fx}}{M_{cx}} \right)^2 + \left(\frac{V_{fy}}{V_{cy}} \right)^2 \quad (\text{Ecuación 54})$$

M_{fx} : Resistencia requerida a flexión respecto al eje X para las combinaciones de carga LRFD.

M_{cx} : Resistencia de diseño a flexión alrededor del eje X.

V_{fy} : Resistencia requerida a cortante respecto al eje Y para las combinaciones de carga LRFD.

V_{cy} : Resistencia de diseño a cortante alrededor del eje Y.

$$n = 0.05 \leq 1.00 \quad \boxed{\text{Cumple}}$$

Resistencia a flexión alrededor del eje Y combinada con corte en la dirección del eje X (C3.3)

$$n \leq 1$$

$$n = \left(\frac{Mfy}{Mcy} \right)^2 + \left(\frac{Vfx}{Vcx} \right)^2 \quad (\text{Ecuación 55})$$

Mfy : Resistencia requerida a flexión respecto al eje Y para las combinaciones de carga LRFD.

Mcy : Resistencia de diseño a flexión alrededor del eje Y.

Vfx : Resistencia requerida a cortante respecto al eje X para las combinaciones de carga LRFD.

Vcx : Resistencia de diseño a cortante alrededor del eje X.

$$n = 0.05 \leq 1.00 \quad \boxed{\text{Cumple}}$$

Resistencia a flexión combinada con tracción (C5.1.2)

$$nf \leq 1$$

$$n \leq 1$$

$$nf = \frac{Tf}{\phi t \times Tn} + \frac{Mfx}{\phi b \times Mnxt \times Rx} + \frac{Mfy}{\phi b \times Mnyt \times Ry} \quad (\text{Ecuación 59})$$

Rx : Factor de reducción de la resistencia a flexión alrededor del eje X debido a la torsión, calculado según C3.6

Ry : Factor de reducción de la resistencia a flexión alrededor del eje Y debido a la torsión, calculado según C3.6

φbx : Factor de resistencia para flexión alrededor del eje X.

Mfx : Resistencia requerida a flexión respecto al eje X para las combinaciones de carga LRFD.

φby : Factor de resistencia para flexión alrededor del eje Y.

Mfy : Resistencia requerida a flexión respecto al eje Y para las combinaciones de carga LRFD.

φt : Factor de resistencia para tracción.

Tf : Resistencia a tracción requerida para las combinaciones de carga LRFD.

Tn : Resistencia nominal a tracción, según la sección C2.

$$nf = 0.01 \leq 1.00 \quad \boxed{\text{Cumple}}$$

$$n = \frac{Mfx}{\phi b \times Mnxt \times Rx} + \frac{Mfy}{\phi b \times Mnyt \times Ry} - \frac{Tf}{\phi t \times Tn} \quad (\text{Ecuación 58})$$

Rx : Factor de reducción de la resistencia a flexión alrededor del eje X debido a la torsión, calculado según C3.6

Ry : Factor de reducción de la resistencia a flexión alrededor del eje Y debido a la torsión, calculado según C3.6

φbx : Factor de resistencia para flexión alrededor del eje X.

Mfx : Resistencia requerida a flexión respecto al eje X para las combinaciones de carga LRFD.

Mnx : Resistencia nominal a flexión alrededor del eje X según la sección C3.1.

φby : Factor de resistencia para flexión alrededor del eje Y.

Mfy : Resistencia requerida a flexión respecto al eje Y para las combinaciones de carga LRFD.

Mny : Resistencia nominal a flexión alrededor del eje Y según la sección C3.1.

φt : Factor de resistencia para tracción.

Tf : Resistencia a tracción requerida para las combinaciones de carga LRFD.

Tn : Resistencia nominal a tracción, según la sección C2.

$$n = -0.01 \leq 1.00 \quad \boxed{\text{Cumple}}$$

Resistencia a flexión combinada con compresión (C5.2.2)

$$\frac{Pf}{\phi c \times Pn} \leq 0.15 \quad (\text{Ecuación 56})$$

$$n = \frac{Pf}{\phi c \times Pn} + \frac{Mfx}{\phi bx \times Mcx} + \frac{Mfy}{\phi by \times Mcy} \leq 1 \quad (\text{Ecuación 57})$$

Pf : Resistencia a compresión requerida para las combinaciones de carga LRFD.

φc : Factor de resistencia a compresión.

Pn : Resistencia nominal a compresión según la Sección C4.

Rx : Factor de reducción de la resistencia a flexión alrededor del eje X debido a la torsión, calculado según C3.6

Ry : Factor de reducción de la resistencia a flexión alrededor del eje Y debido a la torsión, calculado según C3.6

φbx : Factor de resistencia para flexión alrededor del eje X.

Mfx : Resistencia requerida a flexión respecto al eje X para las combinaciones de carga LRFD.

Mnx : Resistencia nominal a flexión alrededor del eje X según la sección C3.1.

φby : Factor de resistencia para flexión alrededor del eje Y.

Mfy : Resistencia requerida a flexión respecto al eje Y para las combinaciones de carga LRFD.

Mny : Resistencia nominal a flexión alrededor del eje Y según la sección C3.1.

$$n = 0.41 \leq 1.00 \quad \boxed{\text{Cumple}}$$

$$Pf = 0.00 \leq 0.15 \quad \boxed{\text{Cumple}}$$

El perfil metálico rectangular tipo estructural de dimensiones 100 mm x 100 mm x 3 mm, asumido como la sección de la vigueta tipo cumple con la normativa y especificaciones establecidas por AISI.

Referirse al Anexo 12. Detalle estructural de los elementos que conforman la vivienda mínima modular.

3.8.4 Mampostería vertical divisoria de espacios

Se utilizará el panel tipo simple conformado por 2 láminas externas micro hormigón vibro prensado de 1.20 cm de espesor cada una, 1 lámina central de poliestireno expandido con espesor de 5.00 cm y malla hexagonal en cada cara de la capa de poliestireno. Por la información proporcionada por el fabricante Hormypol, estos paneles cumplen con los requerimientos de seguridad y resistencia.

3.8.5 Losas de entrepiso

Se utilizará el panel tipo losa de entrepiso conformado por 2 láminas externas micro hormigón vibro prensado de 1.20 cm de espesor cada una, 1 lámina central de poliestireno expandido con espesor de 5 cm, malla de alambre de $\varnothing = 0.50$ mm en cada cara del alma del poliestireno expandido y malla electrosoldada de $\varnothing = 5.50$ mm en la cara inferior de la lámina de poliestireno. Por la información proporcionada por el

fabricante Hormypol, estos paneles cumplen con los requerimientos de seguridad y resistencia.

3.8.6 Cálculo y comprobación de la deriva máxima permitida en la estructura

$$\Delta = \frac{\text{Desplazamiento}}{\text{Altura Edificio}} \times 100 \quad (\text{Ecuación 60})$$

Δ : Deriva de la estructura.

Altura del edificio: 5.00 m

Se procede a la obtención de los desplazamientos de la vivienda mínima modular mediante el programa comercial.

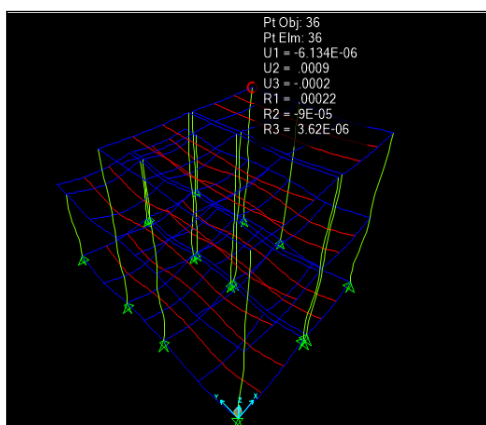


Figura 3.34. Desplazamientos de los nodos de la vivienda mínima modular escenario 2.

Fuente: Autores.

• Desplazamiento máximo en la dirección X de la vivienda mínima modular

Tabla 3.63. Resultado de desplazamiento máximo en la dirección X.

Desplazamientos en los nodos				
Nodo	Combinación	Desplazamiento X	Desplazamiento Y	Desplazamiento Z
N°	Texto	m	m	m
2	Combinación 2	0.000017	0.000121	0.000133

Fuente: Autores.

Cálculo de derivas

Tabla 3.64. Cálculo de derivas.

Deriva					
Δx	0.000	$\leq$	0.02		Cumple
Δy	0.002	$\leq$	0.02		Cumple
Δz	0.003	$\leq$	0.02		Cumple

Fuente: Autores.

- **Desplazamiento máximo en la dirección Y de la vivienda mínima modular**

Tabla 3.65. Resultado de desplazamiento máximo en la dirección Y.

Desplazamientos en los nodos				
Nodo	Combinación	Desplazamiento X	Desplazamiento Y	Desplazamiento Z
N°	Texto	m	m	m
8	Combinación 2	0.000006541	0.001008	0.00016

Fuente: Autores.

Cálculo de derivas

Tabla 3.66. Cálculo de derivas.

Deriva				
Δx	0.000	$\leq$	0.02	Cumple
Δy	0.020	$\leq$	0.02	Cumple
Δz	0.003	$\leq$	0.02	Cumple

Fuente: Autores.

- **Desplazamiento máximo en la dirección Z de la vivienda mínima modular**

Tabla 3.67. Resultado de desplazamiento máximo en la dirección Z.

Desplazamientos en los nodos				
Nodo	Combinación	Desplazamiento X	Desplazamiento Y	Desplazamiento Z
N°	Texto	m	m	m
17	Combinación 2	2.752E-07	0.000121	0.000427

Fuente: Autores.

Cálculo de derivas

Tabla 3.68. Cálculo de derivas.

Deriva				
Δx	0.000	$\leq$	0.02	Cumple
Δy	0.002	$\leq$	0.02	Cumple
Δz	0.009	$\leq$	0.02	Cumple

Fuente: Autores.

3.8.7 Comprobación de la conexión necesaria para la vivienda mínima modular

Soldadura de filete (E2.4)

Para $L/t \geq 25$:

$$P_c = \varphi \times P_n \quad (\text{Ecuación 61})$$

Donde:

ϕ : Factor de resistencia para soldadura de filete (LRFD). (Valor: 0.55)

P_n : Resistencia nominal al corte de una soldadura de filete.

P_c : Resistencia última al corte de una soldadura de filete.

$$P_n = 0,75 \times t \times L \times F_u \quad (\text{Ecuación 62})$$

t : Espesor de la parte conectada más delgada.

L : Longitud de la soldadura de filete.

F_u : Resistencia a la tracción del acero.

Resistencia del elemento columna a tracción

$$T_c = \phi \times T_n \quad (\text{Ecuación 17})$$

Donde:

ϕ : Factor de resistencia para soldadura de filete (LRFD). (Valor: 0.85)

T_n : Resistencia nominal del elemento a tracción.

T_c : Resistencia última del elemento a tracción.

$$T_n = A \times F_y \quad (\text{Ecuación 18})$$

Donde:

A : Área de la sección.

F_y : Límite elástico del acero.

Comprobación adicional por espesor de perfil

Para $t > 3.81$ mm la resistencia nominal determinada anteriormente no debe superar el siguiente valor de P_n :

$$P_c = \phi \times P_n \quad (\text{Ecuación 61})$$

Donde:

ϕ : Factor de resistencia para soldadura de filete (LRFD). (Valor: 0.60)

P_n : Resistencia nominal al corte de una soldadura de filete.

$$P_n = 0.75 \times t_w \times L \times F_{xx} \quad (\text{Ecuación 62})$$

Donde:

t_w : Garganta efectiva = $0.707w_1$ ó $0.707w_2$, cualquiera sea el que resulte menor.

L : Longitud de la soldadura de filete.

w_1 y w_2 : Cantos de soldadura.

F_{xx} : Denominación de la resistencia del metal de relleno en la clasificación de electrodos AWS.

Resistencia del elemento columna a tracción

$$T_c = \varphi \times T_n \quad (\text{Ecuación 17})$$

Donde:

φ : Factor de resistencia para soldadura de filete (LRFD). (Valor: 0.85)

T_n : Resistencia nominal del elemento a tracción.

T_c : Resistencia última del elemento a tracción.

$$T_n = A \times F_y \quad (\text{Ecuación 18})$$

Donde:

A : Área de la sección.

F_y : Límite elástico del acero.

3.8.8 Resultados del cálculo y comprobación de la conexión necesaria para la vivienda mínima modular

Soldadura de filete (E2.4)

Para $L/t \geq 25$:

$$P_c = \varphi \times P_n \quad (\text{Ecuación 61})$$

φ : Factor de resistencia para soldadura de filete (LRFD).

P_n : Resistencia nominal al corte de una soldadura de filete .

$$\varphi = 0.55$$

$$P_n = 0.75 \times t \times L \times F_u \quad (\text{Ecuación 62})$$

t : Espesor de la parte conectada mas delgada.

L : Longitud de la soldadura de filete.

F_u : Resistencia a la tracción del acero.

$$\begin{aligned} t &= 0.40 && \text{cm} \\ F_u &= 3162.00 && \text{kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$P_n = 948.60 \times L$$

$$P_c = 521.73 \times L$$

Resistencia del elemento

$$T_c = \varphi \times T_n \quad (\text{Ecuación 17})$$

φ : Factor de resistencia para soldadura de filete (LRFD).

P_n : Resistencia nominal al corte de una soldadura de filete .

$$\varphi = 0.85$$

$$T_n = A \times F_y \quad (\text{Ecuación 18})$$

A : Área de la sección.

F_y : Límite elástico del acero.

$$\begin{aligned} A &= 19.36 & \text{cm}^2 \\ F_y &= 2548.42 & \text{kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_n &= 49337.41 & \text{kg} \\ T_c &= 41936.80 & \text{kg} \end{aligned}$$

$$L = 80.38 \quad \text{cm}$$

Para $t > 3,81 \text{ mm}$ la resistencia nominal determinada anteriormente no debe superar el siguiente valor de P_n :

$$P_c = \varphi \times P_n \quad (\text{Ecuación 61})$$

φ : Factor de resistencia para soldadura de filete (LRFD).

P_n : Resistencia nominal al corte de una soldadura de filete .

$$\varphi = 0.60$$

$$P_n = 0,75 \times t_w \times L \times F_{xx} \quad (\text{Ecuación 62})$$

t_w : Garganta efectiva = $0,707w_1$ ó $0,707w_2$, cualquiera sea el que resulte menor.

L : Longitud de la soldadura de filete.

w_1 y w_2 : Cantos de soldadura.

F_{xx} : Denominación de la resistencia del metal de relleno en la clasificación de electrodos AWS.

$$\begin{aligned} F_{xx} &= 4368.19 & \text{kg/cm}^2 \\ w_1 = w_2 &= 1.00 & \text{cm} \\ t_w &= 0.71 & \text{cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_n &= 2316.23 & \times L \\ P_c &= 1389.74 & \times L \end{aligned}$$

Resistencia del elemento

$$T_c = \varphi \times P_n \quad (\text{Ecuación 17})$$

φ : Factor de resistencia para soldadura de filete (LRFD).

P_n : Resistencia nominal al corte de una soldadura de filete .

$$\varphi = 0.85$$

$$T_n = A \times F_y \quad (\text{Ecuación 18})$$

A : Área de la sección.

F_y : Límite elástico del acero.

$$\begin{aligned} A &= 19.36 & \text{cm}^2 \\ F_y &= 2548.42 & \text{kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_n &= 49337.41 & \text{kg} \\ T_c &= 41936.80 & \text{kg} \end{aligned}$$

$$L = 30.18 \quad \text{cm}$$

La conexión de soldadura por filete tipo de 80.40 cm de cordón de soldadura cumple con la normativa y especificaciones establecidas por AISI. La conexión será empleada para la unión de los módulos de la vivienda mínima, aplicada en la cabeza y pie de los elementos tipo columna y distribuida en cordones de soldadura de 40.20 cm en las dos caras del elemento tipo columna en su cabeza y pie.

Referirse al Anexo13. Detalle del cordón de soldadura entre los módulos de la vivienda mínima modular.

Para la conexión entre elemento tipo columna y tipo viga se realizará un cordón de soldadura por todo el contorno de la sección del elemento tipo viga.

Para la conexión entre elemento tipo viga y tipo vigueta se realizará un cordón de soldadura por todo el contorno de la sección del elemento tipo viga.

Para las conexiones entre elementos se cumple con la condición de apoyo realizada en la modelación de la vivienda mínima modular en el programa comercial y tipo de soldadura recomendada para perfiles conformados en frío.

Referirse al Anexo 14. Detalle del cordón de soldadura de los elementos que conforman la estructura metálica de la vivienda mínima modular.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE COSTOS Y ESPECIFICACIONES DE LA VIVIENDA MÍNIMA MODULAR

4.1 Análisis de producción de la vivienda mínima modular

Con el objetivo de minimizar los costos de fabricación se plantea una producción que alcance una productividad eficiente y efectiva, donde la efectividad es establecida por el logro de objetivos y la eficiencia como la capacidad para lograr los objetivos con menor cantidad de recursos.

El tipo de fabricación a aplicarse es la producción esbelta basada en los principios de aproximación de la producción al mercado con estrecha orientación al cliente, alta velocidad de innovación, fuerte concentración sobre técnicas que agregen valor a los procesos y una permanente gestión operativa integrada en el aseguramiento de la calidad (Rivas, 2007).

Este tipo de producción permite múltiples reducciones de esfuerzos, costos, etc., proporcionando la capacidad de reducir los insumos (tiempo, espacio, inversión en equipo), disminuir defectos e inventarios (Arciniega Arce, 2003).

Los factores relacionados con la producción esbelta son: la modularidad, la estructuración, integración funcional, información descentralizada, logística, calidad, manipulación sincronizada y configuración de puestos (Rivas, 2007).

Para esta producción se debe optimizar las secciones tipo de los diferentes elementos que constituyen la vivienda mínima modular y minimizar los desperdicios de la materia prima.

Se considera las siguientes secciones tipo para mampostería vertical:

Tabla 4.1. Secciones tipo para mampostería vertical.

Tipo panel	Cantidad	Ancho (m)	Alto (m)	Área (m²)	Observación
I	4	2.7	2.2	23.76	
II	2	2.55	2.2	7.38	
Descuento	2	1.60	1.20	3.84	Perforación ventana
III	2	2.55	2.2	7.65	
Descuento	2	0.85	2.10	3.57	Perforación puerta
IV	2	1.8	2.2	7.92	
V	1	1.8	2.2	2.17	
Descuento	1	0.85	2.10	1.79	Perforación puerta
VI	2	2.75	2.2	4.69	
Descuento	2	1.60	1.20	3.84	Perforación ventana
Descuento	2	0.85	2.10	3.57	Perforación puerta
VII	1	0.65	2.2	1.43	

Fuente: Autores.

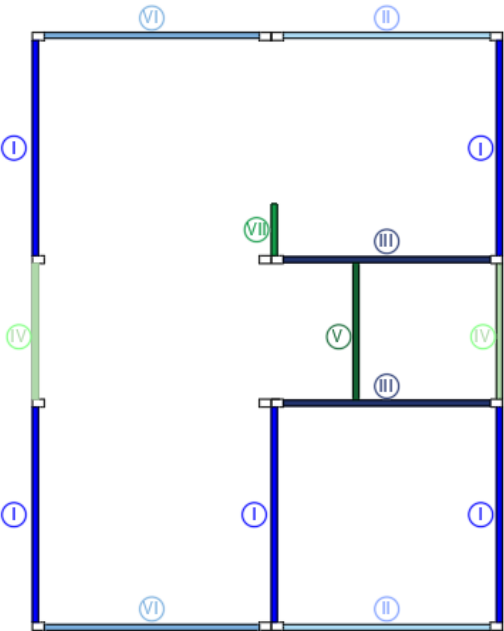


Figura 4.1. Vista en planta de las secciones tipo para mampostería vertical.

Fuente: Autores.

Se considera las siguientes secciones tipo para losas de entrepiso:

Tabla 4.2. Secciones tipo losas de entrepiso.

Tipo panel	Cantidad	Ancho (m)	Alto (m)	Área (m²)	Observación
1	16	1.925	2.025	62.37	
2	8	1.085	2.025	17.58	
3	8	0.985	2.025	15.96	

Fuente: Autores.

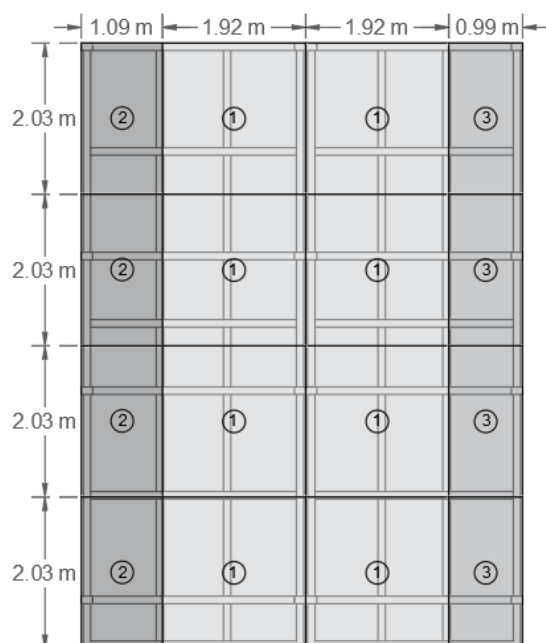


Figura 4.2. Vista en planta de las secciones tipo para losas de entepiso.

Fuente: Autores.

Se considera las siguientes secciones tipo para la perfilera metálica:

Tabla 4.3. Secciones tipo perfilera metálica.

Tipo de perfil	Cantidad (ml)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Espesor (mm)	Área (cm ²)	Observación
Columna	40.00	100	150	4	18.95	
Viga	138.60	100	150	3	14.41	
Vigueta	84.60	100	100	3	11.41	

Fuente: Autores.

Para la adquisición de los diferentes materiales necesarios para la construcción de la vivienda mínima modular se asume la compra por grandes cantidades de volumen. Cabe mencionar que los materiales adquiridos deberán ser utilizados de inmediato, lo que evitara la acumulación de inventarios y por ende disminuye los costos de producción. Se realizará la compra en grandes cantidades de volumen con el propósito de obtener las siguientes ventajas:

- Disminución de los precios de adquisición de los productos, al obtener mayores beneficios y descuentos por parte de los proveedores por compras en grandes cantidades.
- Disminución de los costes de procesos.
- Reducción de las inversiones de capital.
- Creación de una política y procedimientos de compra uniforme.

- Estandarización rápida de los productos y servicios.
- Calidad uniforme de los materiales adquiridos.
- Facilita la planificación de la producción y permite un mayor control de los pedidos.
- Mejora en la gestión de stocks (Begoña González, 2013).

4.2 Análisis de costo de la vivienda mínima modular

Por medio de un análisis de precios unitarios se realizará el correspondiente presupuesto de la vivienda mínima modular. Para la realización del análisis se considera solamente los costos directos provocados por efecto de la construcción de la parte estructural y las correspondientes divisiones de espacios.

Para este estudio no se considerará los costos indirectos, debido a la variación de demanda en mercado existente y diversa capacidad de producción de la industria nacional.

4.2.1 Definición de presupuesto

Presupuesto es el estudio de las actividades y elementos que intervienen en la ejecución del proyecto (Duarte Martínez, 2011). Esta herramienta permite planificar y programar una obra civil, con el fin de alcanzar un control y seguimiento óptimo del proyecto. Por lo cual existe la necesidad de elaborarlo de manera detallada y estimada (CAPECO, 2003).

4.2.2 Definición de análisis de precios unitarios

Es un análisis en el cual el contratante deberá reconocer al contratista por unidad de obra y por concepto de trabajo que se ejecute, siendo específicos para cada estimación realizada. Los costos unitarios son aproximados, pues se basan en suposiciones y la habilidad que tenga el analista para su estimación. (manual de costos de la construcción, cámara de la construcción de quito).

4.2.3 Definición de costo directo

Costo directo se define como la sumatoria de costos que se generan en el proceso productivo de la ejecución de una obra civil. Entre estos costos se encuentran: materiales, mano de obra, equipos, herramientas, transporte, etc. (CAPECO, 2003).

4.3 Análisis de precios unitarios

Para la elaboración del presupuesto de la vivienda mínima modular se considera los siguientes rubros:

Tabla 4.4. Presupuesto de la vivienda mínima modular.

Proyecto vivienda mínima modular prefabricada

Presupuesto conceptual						
Item	Código	Descripción	Unidad	Cantidad	P.Unitario	P.Total
1.001	A 1	Panel tipo pared para mampostería vertical	m ²	55	11.63	\$ 639.65
1.002	A 2	Panel losa para entepiso	m ²	95.91	16.57	\$ 1,589.23
1.003	A 3	Perfil metálico tipo columna (150x100x4 mm)	kg	594.80	1.67	\$ 994.51
1.004	A 4	Perfil metálico tipo viga (150x100x3 mm)	kg	1567.57	1.67	\$ 2,620.98
1.005	A 5	Perfil metálico tipo vigueta (100x100x3 mm)	kg	758.02	1.67	\$ 1,267.41
Costo directo total de producción						\$ 7,111.77

Fuente: Autores.

Para la elaboración del análisis de precios unitarios se considera que los rendimientos son superiores a la construcción tradicional, puesto que se obtienen procesos más eficientes y eficaces en fábrica. Además, se evita la exposición a los agentes atmosféricos que afectan a las obras civiles.

Tabla 4.5. Análisis de precios unitarios. Rubro: panel tipo pared.

Análisis de precios unitarios

Item:	1.001
Código:	A 1
Descrip.:	Panel tipo pared para mampostería vertical
Unidad:	m ²
Específic.:	Mampostería vertical

Costos directos

Equipo y herramienta						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
EH1	Herramienta menor	Hora	1.0000	0.20	0.0750	0.02
EH2	Encofrado metálico	Día	3.00	3.70	0.0770	0.85
EH3	Puente grúa	Hora	1.00	12.00	0.0360	0.43
EH4	Equipo de corte	Hora	1.00	5.00	0.0120	0.06
EH5	Equipo de vibración	Hora	1.00	1.50	0.0250	0.04
EH6	Equipo de hormigonado	Hora	1.00	5.00	0.0250	0.13
EH7	Equipo para doblar	Hora	1.00	5.00	0.0120	0.06
Subtotal de equipo:						1.59

Materiales						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
M1	Cemento Portland	kg	15.75	0.17		2.68
M2	Arena lavada	m ³	0.03	22.00		0.73
M3	Agua	lt	5.40	0.01		0.05
M4	Aditivo superplastificante	lt	0.03	8.00		0.24
M5	Desencofrante	lt	0.09	1.00		0.09
M6	Poliestireno expandido 5 cm	m ²	1.00	3.00		3.00
M8	Malla hexagonal 188080	kg	0.90	2.20		1.99
M9	Conectores metálicos $\Phi = 6$ mm	U	16.00	0.02		0.32
Subtotal de materiales:						9.10

Transporte						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total
						0.00
Subtotal de transporte:						0.00

Mano de obra					
Código	Descripción	Número	S.R.H.	Rendim.	Total
MO1	Residente de obra (B1)	1	3.95	0.0250	0.10
MO2	Operadores de maquinaria (C1)	2	3.93	0.0250	0.20
MO3	Maestro mayor en la ejecución de Ob. Civil. (C1)	1	3.93	0.0250	0.10
MO4	Albañil (D2)	2	3.55	0.0250	0.18
MO5	Ayudante (D2)	2	3.55	0.0250	0.18
MO6	Peón (E2)	2	3.51	0.0250	0.18
Subtotal de mano de obra:					0.94

Costo directo total:	11.63
-----------------------------	--------------

Fuente: Autores.

Tabla 4.6. Análisis de precios unitarios. Rubro: panel tipo losa.

Análisis de precios unitarios						
Item:	1.002					
Código:	A 2					
Descrip.:	Panel losa para entrepiso					
Unidad:	m²					
Especific.:	Losa de entrepiso					
Costos directos						
Equipo y herramienta						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
EH1	Herramienta menor	Hora	1.0000	0.20	0.0750	0.02
EH2	Encofrado metálico	Día	3.00	3.70	0.0770	0.85
EH3	Puente grúa	Hora	1.00	12.00	0.0360	0.43
EH4	Equipo de corte	Hora	1.00	5.00	0.0120	0.06
EH5	Equipo de vibración	Hora	1.00	1.50	0.0250	0.04
EH6	Equipo de hormigonado	Hora	1.00	5.00	0.0250	0.13
EH7	Equipo para doblar	Hora	1.00	5.00	0.0120	0.06
Subtotal de equipo:						1.59
Materiales						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
M1	Cemento Portland	kg	15.75	0.17		2.68
M2	Arena lavada	m³	0.03	22.00		0.73
M3	Agua	lt	5.40	0.01		0.05
M4	Aditivo superplastificante	lt	0.03	8.00		0.24
M5	Desencofrante	lt	0.09	1.00		0.09
M6	Poliestireno expandido 5 cm	m²	1.00	3.00		3.00
M8	Malla hexagonal 188080	kg	0.90	2.20		1.99
M9	Conectores metálicos Φ= 6 mm	U	36.00	0.02		0.72
M10	Malla electrosoldada	kg	3.24	1.40		4.54
Subtotal de materiales:						14.04
Transporte						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total
						0.00
Subtotal de transporte:						0.00
Mano de obra						
Código	Descripción	Número	S.R.H.	Rendim.	Total	
MO1	Residente de obra (B1)	1	3.95	0.0250	0.10	
MO2	Operadores de maquinaria (C1)	2	3.93	0.0250	0.20	
MO3	Maestro mayor en la ejecución de Ob. Civil. (C1)	1	3.93	0.0250	0.10	
MO4	Albañil (D2)	2	3.55	0.0250	0.18	
MO5	Ayudante (D2)	2	3.55	0.0250	0.18	
MO6	Peón (E2)	2	3.51	0.0250	0.18	
Subtotal de mano de obra:						0.94
Costo directo total:						16.57

Fuente: Autores.

Tabla 4.7. Análisis de precios unitarios. Rubro: perfil metálico tipo columna.

Análisis de precios unitarios

Item:	1.003
Código:	A 3
Descrip.:	Perfil metálico tipo columna (150x100x4 mm)
Unidad:	kg
Especific.:	Suministro, corte, pintura e instalación.

Costos directos

Equipo y herramienta						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
EH1	Herramienta menor	Hora	1.00	0.20	0.010	0.002
EH3	Puente grúa	Hora	1.00	12.00	0.005	0.060
EH9	Equipo de pintura 2HP	Hora	1.00	0.60	0.020	0.010
EH10	Equipo de soldadura	Hora	1.00	3.00	0.020	0.060
Subtotal de equipo:						0.13

Materiales						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
M11	Perfil estructural metálico 150x100x4 mm	kg	1.00	1.00		1.00
M12	Electrodo de suelda tipo E 6012	kg	0.03	2.00		0.06
M13	Pintura anticorrosiva	gal	0.01	9.50		0.10
Subtotal de materiales:						1.16

Transporte						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total
Subtotal de transporte:						0.00

Mano de obra					
Código	Descripción	Número	S.R.H.	Rendim.	Total
MO1	Residente de obra (B1)	1.00	3.95	0.005	0.02
MO2	Operadores de maquinaria (C1)	1.00	3.93	0.020	0.08
MO6	Peón (E2)	1.00	3.51	0.045	0.16
MO7	Pintor (D2)	1.00	3.55	0.035	0.12
Subtotal de mano de obra:					0.38

Costo directo total:	1.67
-----------------------------	------

Fuente: Autores.

Tabla 4.8. Análisis de precios unitarios. Rubro: perfil metálico tipo viga.

Análisis de precios unitarios

Item:	1.004
Código:	A 4
Descrip.:	Perfil metálico tipo viga (150x100x3 mm)
Unidad:	kg
Especific.:	Suministro, corte, pintura e instalación.

Costos directos

Equipo y herramienta						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
EH1	Herramienta menor	Hora	1.00	0.20	0.010	0.0020
EH3	Puente grúa	Hora	1.00	12.00	0.005	0.0600
EH9	Equipo de pintura 2HP	Hora	1.00	0.60	0.020	0.0100
EH10	Equipo de soldadura	Hora	1.00	3.00	0.020	0.0600
Subtotal de equipo:						0.13

Materiales						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
M11	Perfil estructural metálico 150x100x4 mm	kg	1.00	1.00		1.00
M12	Electrodo de suelda tipo E 6012	kg	0.03	2.00		0.06
M13	Pintura anticorrosiva	gal	0.01	9.50		0.10
Subtotal de materiales:						1.16

Transporte						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total
Subtotal de transporte:						0.00

Mano de obra					
Código	Descripción	Número	S.R.H.	Rendim.	Total
MO1	Residente de obra (B1)	1.00	3.95	0.005	0.02
MO2	Operadores de maquinaria (C1)	1.00	3.93	0.020	0.08
MO6	Peón (E2)	1.00	3.51	0.045	0.16
MO7	Pintor (D2)	1.00	3.55	0.035	0.12
Subtotal de mano de obra:					0.38

Costo directo total:	1.67
-----------------------------	------

Fuente: Autores.

Tabla 4.9. Análisis de precios unitarios. Rubro: perfil metálico tipo vigueta.

Análisis de precios unitarios

Item:	1.005
Código:	A 5
Descrip.:	Perfil metálico tipo vigueta (100x100x3 mm)
Unidad:	kg
Especific.:	Suministro, corte, pintura e instalación.

Costos directos

Equipo y herramienta						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
EH1	Herramienta menor	Hora	1.00	0.20	0.010	0.002
EH3	Puente grúa	Hora	1.00	12.00	0.005	0.060
EH9	Equipo de pintura 2HP	Hora	1.00	0.60	0.020	0.010
EH10	Equipo de soldadura	Hora	1.00	3.00	0.020	0.060
Subtotal de equipo:						0.13

Materiales						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
M11	Perfil estructural metálico 150x100x4 mm	kg	1.00	1.00		1.00
M12	Electrodo de suelda tipo E 6012	kg	0.03	2.00		0.06
M13	Pintura anticorrosiva	gal	0.01	9.50		0.10
Subtotal de materiales:						1.16

Transporte						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total
Subtotal de transporte:						0.00

Mano de obra					
Código	Descripción	Número	S.R.H.	Rendim.	Total
MO1	Residente de obra (B1)	1.00	3.95	0.005	0.02
MO2	Operadores de maquinaria (C1)	1.00	3.93	0.020	0.08
MO6	Peón (E2)	1.00	3.51	0.045	0.16
MO7	Pintor (D2)	1.00	3.55	0.035	0.12
Subtotal de mano de obra:					0.38

Fuente: Autores.

A continuación, se procede a describir de las cantidades de obra necesarias de los distintos rubros del presupuesto conceptual para vivienda mínima modular, en el cual no se considera los acabados de la misma.

Tabla 4.10. Descripción de la cantidad de obra del rubro: panel tipo pared.

Tipo panel	Cantidad	Ancho (m)	Alto (m)	Área (m²)	Observación
I	4	2.7	2.2	23.76	
II	2	2.55	2.2	7.38	
Descuento	2	1.60	1.20	3.84	Perforación ventana
III	2	2.55	2.2	7.65	
Descuento	2	0.85	2.10	3.57	Perforación puerta
IV	2	1.8	2.2	7.92	
V	1	1.8	2.2	2.17	
Descuento	1	0.85	2.10	1.79	Perforación puerta
VI	2	2.75	2.2	4.69	
Descuento	2	1.60	1.20	3.84	Perforación ventana
Descuento	2	0.85	2.10	3.57	Perforación puerta
VII	1	0.65	2.2	1.43	

Área Total 55 m²

Fuente: Autores.

Tabla 4.11. Descripción de la cantidad de obra del rubro: panel tipo losa.

Tipo panel	Cantidad	Ancho (m)	Alto (m)	Área (m²)	Observación
1	16	1.925	2.025	62.37	
2	8	1.085	2.025	17.58	
3	8	0.985	2.025	15.96	

Área Total 95.91 m²

Fuente: Autores.

Tabla 4.12. Descripción de la cantidad de obra del rubro: perfil metálico tipo columna.

Perfil tipo	Cantidad	Alto (m)	Longitud (m)	Observación	Peso kg/ml
150x100x4	8	2.500	20.00	Módulo 3 m	14.87
150x100x4	8	2.500	20.00	Módulo 2.80 m	

Longitud Total 40.00 m
Peso Total 594.8 kg

Fuente: Autores.

Tabla 4.13. Descripción de la cantidad de obra del rubro: perfil metálico tipo viga.

Perfil tipo	Cantidad	Ancho (m)	Longitud (m)	Observación	Peso kg/ml
150x100x3	2	8.100	15.40	Módulo 3 m	11.31
Descuento	8	0.100	0.80	Descuento columna	
150x100x3	2	7.500	14.20	Módulo 3 m	11.31
Descuento	8	0.100	0.80	Descuento columna	
150x100x3	8	3.000	22.00	Módulo 3 m	11.31
Descuento	8	0.150	1.20	Descuento columna	
Descuento	8	0.100	0.80	Descuento viga	11.31
150x100x3	7	3.000	19.20	Módulo 3 m	
Descuento	8	0.150	1.20	Descuento columna	11.31
Descuento	6	0.100	0.60	Descuento viga	
150x100x3	2	8.100	15.40	Módulo 2.80 m	11.31
Descuento	8	0.100	0.80	Descuento columna	
150x100x3	2	7.500	14.20	Módulo 2.80 m	11.31
Descuento	8	0.100	0.80	Descuento columna	
150x100x3	8	2.800	20.40	Módulo 2.80 m	11.31
Descuento	8	0.150	1.20	Descuento columna	
Descuento	8	0.100	0.80	Descuento viga	11.31
150x100x3	7	2.800	17.80	Módulo 2.80 m	
Descuento	8	0.150	1.20	Descuento columna	11.31
Descuento	6	0.100	0.60	Descuento viga	

Longitud Total 138.60 m
 Peso Total 1567.57 kg

Fuente: Autores.

Tabla 4.14. Descripción de la cantidad de obra del rubro: perfil metálico tipo vigueta.

Perfil tipo	Cantidad	Ancho (m)	Longitud (m)	Observación	Peso kg/ml
100x100x3	3	8.100	21.90	Módulo 3 m	8.96
Descuento	24	0.100	2.40	Descuento viga	
100x100x3	3	7.500	20.40	Módulo 3 m	8.96
Descuento	21	0.100	2.10	Descuento viga	
100x100x3	3	8.100	21.90	Módulo 2.80 m	8.96
Descuento	24	0.100	2.40	Descuento viga	
100x100x3	3	7.500	20.40	Módulo 2.80 m	8.96
Descuento	21	0.100	2.10	Descuento viga	

Longitud Total 84.60 m
 Peso Total 758.02 kg

Fuente: Autores.

Para el transporte y montaje de la vivienda mínima modular se prevé la subcontratación de estas actividades. Según información proporcionada por el Ing. Vladimir Carrasco Castro, los costos incurridos por estas tareas dentro de la ciudad de Cuenca serán los descritos a continuación:

Tabla 4.15. Presupuesto conceptual del transporte y montaje de la vivienda mínima modular.

Presupuesto conceptual						
Item	Código	Descripción	Unidad	Cantidad	P.Unitario	P.Total
1.006	T1	Transporte de módulo 2.80 m	Ton	6.74	9.39	\$ 63.29
1.007	T2	Transporte de módulo 3.00 m	Ton	5.73	156.94	\$ 899.27
1.008	M1	Montaje de módulo 2.80 m	Ton	6.74	8.58	\$ 57.83
1.009	M2	Montaje de módulo 3.00 m	Ton	5.73	152.92	\$ 876.23
Costo total de transporte y montaje						\$ 1,896.62

Fuente: Autores.

Para el costo total de la vivienda mínima modular se prevé acabados e instalaciones tipo económico, los cuales serán descritos en la siguiente tabla:

Tabla 4.16. Presupuesto conceptual de acabados de la vivienda mínima modular.

Presupuesto conceptual						
Item	Código	Descripción	Unidad	Cantidad	P.Unitario	P.Total
1.010	A 10	Cerámica de piso	m²	10.84	15.01	\$ 162.71
1.011	A 11	Cerámica de pared y mesón cocina	m²	14.89	13.51	\$ 201.16
1.012	A 12	Piso flotante	m²	29.20	14.83	\$ 433.01
1.013	A 13	Impermeabilización cubierta lámina asfáltica 3 mm	m²	47.79	11.28	\$ 539.17
1.014	A 14	Pintura paredes exteriores	m²	55.96	4.44	\$ 248.71
1.015	A 15	Pintura paredes interior	m²	80.66	3.24	\$ 261.34
1.016	A 16	Accesorios sanitarios y cocina	Unidad	1.00	447.50	\$ 447.50
1.017	A 17	Puerta principal de madera	m²	3.57	162.76	\$ 581.05
1.018	A 18	Puerta corrediza de dormitorio	m²	3.57	65.09	\$ 232.37
1.019	A 19	Puerta de madera para baño	m²	1.79	119.39	\$ 213.71
1.020	A 20	Rastreras de madera	ml	38.29	5.89	\$ 225.49
1.021	A 21	Closet madera	m²	2.35	112.29	\$ 263.88
1.022	A 22	Ventanas aluminio y vidrio 4 mm	m²	7.68	68.85	\$ 528.74
1.023	A 23	Conexión domiciliaria A.P. 1/2" incluye caja de medidor	Unidad	1.00	121.97	\$ 121.97
1.024	A 24	Punto agua potable fría	Unidad	5.00	21.06	\$ 105.32
1.025	A 25	Punto agua servida	Unidad	7.00	23.62	\$ 165.36
1.026	A 26	Bajante agua lluvia PVC 110 mm	m	10.00	10.27	\$ 102.73
1.027	A 27	Tablero y caja medidor eléctrico	Unidad	1.00	170.22	\$ 170.22
1.028	A 28	Acometida telefónica	m	7.00	2.77	\$ 19.38
1.029	A 29	Punto luz	Unidad	8.00	33.50	\$ 267.98
1.030	A 30	Punto tomacorriente 110 V	Unidad	13.00	33.46	\$ 434.98
1.031	A 31	Breakers de 1 polo de 40 AMP	Unidad	1.00	8.69	\$ 8.69
1.032	A 32	Cielo raso gypsum normal	m²	40.04	10.23	\$ 409.69
Costo directo total de acabados						\$ 6,145.16

Fuente: Autores.

Para la elaboración del análisis de precios unitarios se considera que los rendimientos son superiores a la construcción tradicional, puesto que se obtienen procesos más eficientes y eficaces en fábrica. Además, se evita la exposición a los agentes atmosféricos que afectan a las obras civiles.

Referirse al anexo 16. Plano instalaciones eléctricas, hidrosanitarias y distribución de cerámica y piso flotante.

Tabla 4.17. Análisis de precios unitarios. Rubro: cerámica de piso.

Análisis de precios unitarios						
Item:	1.010					
Código:	A 10					
Descrip.:	Cerámica de piso					
Unidad:	m²					
Especific.:	Suministro, corte e instalación.					
Costos directos						
Equipo y herramienta						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
EH1	Herramienta menor	Hora	1.00	0.20	0.050	0.010
Subtotal de equipo:						0.01
Materiales						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
M14	Cerámica alabastrino 43 x 43 cm	m²	1.00	9.50		9.500
M15	Bondex plus cerámica 25 kg	saco	0.25	6.90		1.725
M16	Adhesivo de juntas cerámica 2 kg	funda	0.15	2.76		0.414
M4	Agua	lt	0.05	0.01		0.001
Subtotal de materiales:						11.64
Transporte						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total
Subtotal de transporte:						0.00
Mano de obra						
Código	Descripción	Número	S.R.H.	Rendim.		Total
MO1	Residente de obra (B1)	1.00	3.95	0.050		0.20
MO6	Peón (E2)	2.00	3.51	0.450		3.16
Subtotal de mano de obra:						3.36
Costo directo total:						15.01

Fuente: Autores.

Tabla 4.18. Análisis de precios unitarios. Rubro: cerámica de pared y mesón cocina.

Análisis de precios unitarios

Item:	1.011
Código:	A 11
Descrip.:	Cerámica de pared y mesón cocina
Unidad:	m²
Especific.:	Suministro, corte e instalación.

Costos directos

Equipo y herramienta						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
EH1	Herramienta menor	Hora	1.00	0.20	0.050	0.010
Subtotal de equipo:						0.01

Materiales						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
M17	Cerámica breccia 30.5 x 45 cm	m²	1.00	8.00		8.000
M15	Bondex plus cerámica 25 kg	saco	0.25	6.90		1.725
M16	Emporador de cerámica 2 kg	funda	0.15	2.76		0.414
M4	Agua	lt	0.05	0.01		0.001
Subtotal de materiales:						10.14

Transporte						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total
Subtotal de transporte:						0.00

Mano de obra						
Código	Descripción	Número	S.R.H.	Rendim.	Total	
MO1	Residente de obra (B1)	1.00	3.95	0.050	0.20	
MO6	Peón (E2)	2.00	3.51	0.450	3.16	
Subtotal de mano de obra:						3.36

Costo directo total:						13.51
-----------------------------	--	--	--	--	--	-------

Fuente: Autores.

Tabla 4.19. Análisis de precios unitarios. Rubro: piso flotante.

Análisis de precios unitarios

Item:	1.012
Código:	A 12
Descrip.:	Piso flotante
Unidad:	m ²
Específic.:	Suministro, corte e instalación.

Costos directos

Equipo y herramienta						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
EH1	Herramienta menor	Hora	1.00	0.20	0.010	0.002
Subtotal de equipo:						0.00

Materiales						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
M18	Piso laminado 8 mm AC3 alto tráfico	m ²	1.00	10.50		10.500
M19	Polietileno transparente 2 x 3 m	m ²	1.00	0.20		0.198
M20	Espuma niveladora 10 m ²	m ²	1.00	0.80		0.799
M21	Adhesivo de montaje sin solvente 300 ml	Unidad	0.10	3.20		0.320
Subtotal de materiales:						11.82

Transporte						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total
Subtotal de transporte:						0.00

Mano de obra					
Código	Descripción	Número	S.R.H.	Rendim.	Total
MO1	Residente de obra (B1)	1.00	3.95	0.050	0.20
MO6	Peón (E2)	2.00	3.51	0.400	2.81
Subtotal de mano de obra:					3.01

Costo directo total:					14.83
-----------------------------	--	--	--	--	-------

Fuente: Autores.

Tabla 4.20. Análisis de precios unitarios. Rubro: impermeabilización cubierta lámina asfáltica 3 mm.

Análisis de precios unitarios

Item:	1.013
Código:	A 13
Descrip.:	Impermeabilización cubierta lámina asfáltica 3 mm
Unidad:	m ²
Específic.:	Suministro e instalación de impermeabilizante

Costos directos

Equipo y herramienta						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
EH1	Herramienta menor	Hora	1.00	0.20	0.100	0.020
EH11	Soplete de acetileno	Hora	1.00	3.00	0.400	1.200
Subtotal de equipo:						1.22

Materiales						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
M22	Emulsión asfáltica	gal	0.12	2.21		0.265
M23	Membrana asfáltica texturizada	m ²	1.03	5.91		6.087
Subtotal de materiales:						6.35

Transporte						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total
Subtotal de transporte:						0.00

Mano de obra						
Código	Descripción	Número	S.R.H.	Rendim.		Total
MO1	Residente de obra (B1)	1.00	3.95	0.050		0.20
MO6	Peón (E2)	2.00	3.51	0.500		3.51
Subtotal de mano de obra:						3.71

Costo directo total:						11.28
-----------------------------	--	--	--	--	--	-------

Fuente: Autores.

Tabla 4.21. Análisis de precios unitarios. Rubro: pintura paredes exteriores.

Análisis de precios unitarios

Item:	1.014
Código:	A 14
Descrip.:	Pintura paredes exteriores
Unidad:	m ²
Especific.:	Pintura latex aplicar 2 manos

Costos directos

Equipo y herramienta						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
EH1	Herramienta menor	Hora	1.00	0.20	0.100	0.020
Subtotal de equipo:						0.02

Materiales						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
M24	Pintura látex exteriores	gal	0.046	8.05		0.370
M25	Aditec empaste exterior	kg	0.080	23.93		1.914
M4	Agua	lt	0.046	0.01		0.001
Subtotal de materiales:						2.28

Transporte						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total
Subtotal de transporte:						0.00

Mano de obra						
Código	Descripción	Número	S.R.H.	Rendim.		Total
MO1	Residente de obra (B1)	1.00	3.95	0.005		0.02
MO7	Pintor (D2)	1.00	3.55	0.400		1.42
MO6	Peón (E2)	1.00	3.51	0.200		0.70
Subtotal de mano de obra:						2.14

Costo directo total:						4.44
-----------------------------	--	--	--	--	--	------

Fuente: Autores.

Tabla 4.22. Análisis de precios unitarios. Rubro: pintura paredes interiores.

Análisis de precios unitarios

Item:	1.015
Código:	A 15
Descrip.:	Pintura paredes interior
Unidad:	m ²
Especific.:	Pintura latex interior no lavable aplicar 2 manos

Costos directos

Equipo y herramienta						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
EH1	Herramienta menor	Hora	1.00	0.20	0.100	0.020
Subtotal de equipo:						0.02

Materiales						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
M26	Pintura látex interiores	gal	0.046	4.59		0.211
M27	Aditec empaste interior	kg	0.070	12.41		0.869
M4	Agua	lt	0.046	0.01		0.000
Subtotal de materiales:						1.08

Transporte						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total
Subtotal de transporte:						0.00

Mano de obra						
Código	Descripción	Número	S.R.H.	Rendim.	Total	
MO1	Residente de obra (B1)	1.00	3.95	0.005	0.02	
MO7	Pintor (D2)	1.00	3.55	0.400	1.42	
MO6	Peón (E2)	1.00	3.51	0.200	0.70	
Subtotal de mano de obra:						2.14

Costo directo total:						3.24
-----------------------------	--	--	--	--	--	------

Fuente: Autores.

Tabla 4.23. Análisis de precios unitarios. Rubro: accesorios sanitarios y de cocina.

Análisis de precios unitarios

Item:	1.016
Código:	A 16
Descrip.:	Accesorios sanitarios y cocina
Unidad:	Unidad
Específic.:	Suministro, corte e instalación.

Costos directos

Equipo y herramienta						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
EH1	Herramienta menor	Hora	2.00	0.20	0.300	0.120
Subtotal de equipo:						0.12

Materiales						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
M28	Lavamanos sin pedestal	Unidad	1.00	45.00		45.000
M29	Inodoro	Unidad	1.00	70.00		70.000
M30	Ducha eléctrica 3 temperaturas	Unidad	1.00	14.00		14.000
M31	Llave para lavamanos	Unidad	1.00	20.00		20.000
M32	Fregadero acero inoxidable falda derecha	Unidad	1.00	40.00		40.000
M33	Llave para cocina	Unidad	1.00	20.00		20.000
M34	Llave para ducha	Unidad	1.00	25.00		25.000
M35	Extractor de aire (baño)	Unidad	1.00	15.00		15.000
M36	Llave lavandería	Unidad	1.00	10.00		10.000
M37	Juego accesorios (toallero, papelería, gancho)	Unidad	1.00	15.00		15.000
M38	Sifón de acordeón lavamanos	Unidad	1.00	7.50		7.500
M39	Manguera lavamanos ac. inox.	Unidad	1.00	8.50		8.500
M40	Manguera inodoro ac. inox.	Unidad	1.00	9.00		9.000
M41	Tubo para cortina de ducha	m	1.90	2.00		3.800
M42	Topes para cortinero	Unidad	2.00	1.60		3.200
M112	Mesón cocina y lavador	m ²	7.26	16.57		120.300
Subtotal de materiales:						426.30

Transporte						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total
Subtotal de transporte:						0.00

Mano de obra					
Código	Descripción	Número	S.R.H.	Rendim.	Total
MO1	Residente de obra (B1)	1.00	3.95	0.005	0.02
MO6	Peón (E2)	3.00	3.51	2.000	21.06
Subtotal de mano de obra:					21.08

Costo directo total:	447.50
-----------------------------	--------

Fuente: Autores.

Tabla 4.24. Análisis de precios unitarios. Rubro: puerta principal de madera.

Análisis de precios unitarios

Item:	1.017
Código:	A 17
Descrip.:	Puerta principal de madera
Unidad:	m ²
Especific.:	Suministro e intalación de puerta de madera

Costos directos

Equipo y herramienta						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
EH1	Herramienta menor	Hora	1.00	0.20	0.100	0.020
Subtotal de equipo:						0.02

Materiales						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
M43	Cerradura principal d/pomo lockset cromada	Unidad	1.000	14.04		14.040
M44	Bisagras 3 X 3 (caja de 2 unidades)	Unidad	1.500	3.58		5.370
M45	Puerta embut. seike 2.0x0.90	Unidad	1.000	95.00		95.000
M46	Batiente de laurel	Jgo	1.000	15.00		15.000
M47	Jambas de laurel	Jgo	2.000	6.00		12.000
Subtotal de materiales:						141.41

Transporte						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total
Subtotal de transporte:						0.00

Mano de obra					
Código	Descripción	Número	S.R.H.	Rendim.	Total
MO1	Residente de obra (B1)	1.00	3.95	0.005	0.02
MO5	Ayudante (D2)	1.00	3.55	1.500	5.33
MO8	Carpintero (D2)	2.00	3.55	2.250	15.98
Subtotal de mano de obra:					21.33

Costo directo total:	162.76
-----------------------------	--------

Fuente: Autores.

Tabla 4.25. Análisis de precios unitarios. Rubro: puerta corrediza de dormitorio.

Análisis de precios unitarios

Item:	1.018
Código:	A 18
Descrip.:	Puerta corrediza de dormitorio
Unidad:	m ²
Especific.:	Suministro e instalación de puerta de aluminio incluye vidrio claro 4 mm

Costos directos

Equipo y herramienta						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
EH1	Herramienta menor	Hora	1.00	0.20	0.100	0.020
Subtotal de equipo:						0.02

Materiales						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
M48	Puerta mampara al. incluye vidrio	Unidad	1.000	52.00		52.000
Subtotal de materiales:						52.00

Transporte						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total
Subtotal de transporte:						0.00

Mano de obra						
Código	Descripción	Número	S.R.H.	Rendim.		Total
MO1	Residente de obra (B1)	1.00	3.95	0.005		0.02
MO5	Ayudante (D2)	1.00	3.55	1.500		5.33
MO6	Peón (E2)	2.00	3.51	1.100		7.72
Subtotal de mano de obra:						13.07

Costo directo total:						65.09
-----------------------------	--	--	--	--	--	-------

Fuente: Autores.

Tabla 4.26. Análisis de precios unitarios. Rubro: puerta de madera para baño.

Análisis de precios unitarios

Item:	1.019
Código:	A 19
Descrip.:	Puerta de madera para baño
Unidad:	m ²
Específic.:	Suministro e instalación de puerta de madera

Costos directos

Equipo y herramienta						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
EH1	Herramienta menor	Hora	1.00	0.20	0.100	0.020
Subtotal de equipo:						0.02

Materiales						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
M49	Cerradura baño pomo nova oro blanco	Unidad	1.000	9.67		9.670
M44	Bisagras 3 X 3 (caja de 2 unidades)	Unidad	1.500	3.58		5.370
M46	Batiente de laurel	Jgo	1.000	15.00		15.000
M47	Jambas de laruel	Jgo	2.000	6.00		12.000
M50	Puerta embut. seike 2.00x0.80	Unidad	1.000	56.00		56.000
Subtotal de materiales:						98.04

Transporte						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total
Subtotal de transporte:						0.00

Mano de obra					
Código	Descripción	Número	S.R.H.	Rendim.	Total
MO1	Residente de obra (B1)	1.00	3.95	0.005	0.02
MO5	Ayudante (D2)	1.00	3.55	1.500	5.33
MO8	Carpintero (D2)	2.00	3.55	2.250	15.98
Subtotal de mano de obra:					21.33

Costo directo total:	119.39
-----------------------------	--------

Fuente: Autores.

Tabla 4.27. Análisis de precios unitarios. Rubro: rastreras de madera.

Análisis de precios unitarios

Item:	1.020
Código:	A 20
Descrip.:	Rastreras de madera
Unidad:	ml
Específic.:	Suministro e instalación de rastreras de madera

Costos directos

Equipo y herramienta						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
EH1	Herramienta menor	Hora	1.00	0.20	0.100	0.020
Subtotal de equipo:						0.02

Materiales						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
M51	Sellador para madera (vernín altos sólidos)	4000 cc	0.010	20.79		0.208
M52	Laca transparente brillante	4000 cc	0.010	20.54		0.205
M53	Rastreras de madera 12x240	Unidad	1.000	2.89		2.890
M54	Blancola	lt	0.080	1.45		0.116
M55	Tornillo aleta 3.9x35 mm hierro	Unidad	6.000	0.02		0.120
Subtotal de materiales:						3.54

Transporte						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total
Subtotal de transporte:						0.00

Mano de obra					
Código	Descripción	Número	S.R.H.	Rendim.	Total
MO1	Residente de obra (B1)	1.00	3.95	0.005	0.02
MO5	Ayudante (D2)	1.00	3.55	0.200	0.71
MO8	Carpintero (D2)	1.00	3.55	0.450	1.60
Subtotal de mano de obra:					2.33

Costo directo total:	5.89
-----------------------------	------

Fuente: Autores.

Tabla 4.28. Análisis de precios unitario. Rubro: closet de madera.

Análisis de precios unitarios

Item:	1.021
Código:	A 21
Descrip.:	Closet madera
Unidad:	m ²
Especific.:	Suministro e instalación de closet

Costos directos

Equipo y herramienta						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
EH1	Herramienta menor	Hora	1.00	0.20	0.100	0.020
Subtotal de equipo:						0.02

Materiales						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
M56	Closet lacado e instalado	m ²	1.000	100.00		100.000
Subtotal de materiales:						100.00

Transporte						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total
Subtotal de transporte:						0.00

Mano de obra						
Código	Descripción	Número	S.R.H.	Rendim.	Total	
MO1	Residente de obra (B1)	1.00	3.95	0.005	0.02	
MO5	Ayudante (D2)	1.00	3.55	1.200	4.26	
MO8	Carpintero (D2)	1.00	3.55	2.250	7.99	
Subtotal de mano de obra:						12.27

Costo directo total:						112.29
-----------------------------	--	--	--	--	--	--------

Fuente: Autores.

Tabla 4.29. Análisis de precios unitarios. Rubro: ventanas aluminio y vidrio 4 mm.

Análisis de precios unitarios

Item:	1.022
Código:	A 22
Descrip.:	Ventanas aluminio y vidrio 4 mm
Unidad:	m²
Especific.:	Suministro e instalación ventanas de aluminio incluye vidrio claro de 4 mm

Costos directos

Equipo y herramienta						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
EH1	Herramienta menor	Hora	1.00	0.20	0.100	0.020
Subtotal de equipo:						0.02

Materiales						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
M57	Vidrio flotado bronce 4 mm	m²	1.0500	8.30		8.715
M58	Base celosia nat 6.40m	Unidad	1.6700	10.39		17.351
M59	Cabezal celosia nat. 6.40m	Unidad	1.6700	10.10		16.867
M60	Barra operadora economica nat. 6.40m	Unidad	2.4000	2.86		6.864
M61	Operador manual (vent. celosia)	Unidad	1.0000	1.87		1.870
M62	Remaches (ventana celosia)	Unidad	16.0000	0.02		0.320
M63	Malla fija con bisel standard nat. 6.40m	Unidad	0.160	5.25		0.840
M64	Esquinero malla fija	Unidad	4.000	0.32		1.280
M65	Clips	Unidad	8.000	0.25		2.000
Subtotal de materiales:						56.11

Transporte						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total
Subtotal de transporte:						0.00

Mano de obra					
Código	Descripción	Número	S.R.H.	Rendim.	Total
MO1	Residente de obra (B1)	1.00	3.95	0.005	0.02
MO5	Ayudante (D2)	1.00	3.55	1.600	5.68
MO6	Peón (E2)	2.00	3.51	1.000	7.02
Subtotal de mano de obra:					12.72

Costo directo total:	68.85
-----------------------------	-------

Fuente: Autores.

Tabla 4.30. Análisis de precios unitarios. Rubro: conexión domiciliaria A.P. 1/2" incluye caja de medidor.

Análisis de precios unitarios

Item:	1.023
Código:	A 23
Descrip.:	Conexión domiciliaria A.P. 1/2" incluye caja de medidor
Unidad:	Unidad
Específic.:	Suministro e instalación de conexión domiciliaria

Costos directos

Equipo y herramienta						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
EH1	Herramienta menor	Hora	1.00	0.20	0.100	0.020
Subtotal de equipo:						0.02

Materiales						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
M66	Codo 90 gr. PVC roscable 1/2"	Unidad	2.000	0.38		0.760
M67	Medidores agua 3M3/Hmagnéticos Tavira1/2"	Unidad	1.000	31.00		31.000
M68	Tubería PVC 1/2" (29 MPa)	m	0.330	5.24		1.729
M69	Unión PVC roscable 1/2"	Unidad	3.000	0.32		0.960
M70	Llave de paso 1 metal PP roscable 1/2"	Unidad	1.000	12.85		12.850
M71	Caja de medidor	Unidad	1.000	60.00		60.000
Subtotal de materiales:						107.30

Transporte						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total
Subtotal de transporte:						0.00

Mano de obra					
Código	Descripción	Número	S.R.H.	Rendim.	Total
MO1	Residente de obra (B1)	1.00	3.95	0.005	0.02
MO9	Plomero (D2)	1.00	3.55	1.750	6.21
MO6	Peón (E2)	2.00	3.51	1.200	8.42
Subtotal de mano de obra:					14.65

Costo directo total:	121.97
-----------------------------	--------

Fuente: Autores.

Tabla 4.31. Análisis de precios unitarios: Rubro: punto de agua potable fría.

Análisis de precios unitarios

Item:	1.024
Código:	A 24
Descrip.:	Punto agua potable fría
Unidad:	Unidad
Específic.:	Suministro e instalación de punto de agua potable

Costos directos

Equipo y herramienta						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
EH1	Herramienta menor	Hora	1.00	0.20	0.100	0.020
Subtotal de equipo:						0.02

Materiales						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
M66	Codo 90 gr. PVC roscable 1/2"	Unidad	5.000	0.38		1.900
M72	Tee PVC roscable 1/2"	Unidad	2.000	0.58		1.160
M73	Tubería PVC 1/2" (420 psi)	m²	6.000	1.60		9.600
M74	Cinta de telón (12 mm x 10 m)	Unidad	2.200	0.42		0.924
Subtotal de materiales:						13.58

Transporte						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total
Subtotal de transporte:						0.00

Mano de obra						
Código	Descripción	Número	S.R.H.	Rendim.		Total
MO1	Residente de obra (B1)	1.00	3.95	0.005		0.02
MO9	Plomero (D2)	1.00	3.55	1.500		5.33
MO6	Peón (E2)	1.00	3.51	0.600		2.11
Subtotal de mano de obra:						7.46

Costo directo total:						21.06
-----------------------------	--	--	--	--	--	-------

Fuente: Autores.

Tabla 4.32. Análisis de precios unitarios. Rubro: punto de agua servida.

Análisis de precios unitarios

Item:	1.025
Código:	A 25
Descrip.:	Punto agua servida
Unidad:	Unidad
Especific.:	Suministro e intalación de punto de agua servida

Costos directos

Equipo y herramienta						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
EH1	Herramienta menor	Hora	1.00	0.20	0.100	0.020
Subtotal de equipo:						0.02

Materiales						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
M75	Codo 90 gr. PVC desagüe roscable 50 mm	Unidad	3.000	0.95		2.850
M76	Codo 90 gr. PVC desagüe roscable 110 mm	Unidad	1.000	4.22		4.220
M77	Tubería PVC 50 mm x 3 m desagüe	Unidad	0.500	6.06		3.030
M78	Tubería PVC 110 mm x 3 m desagüe	Unidad	0.330	14.99		4.947
M79	Polipega 3.785 cc	gal	0.020	54.82		1.096
Subtotal de materiales:						16.14

Transporte						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total
Subtotal de transporte:						0.00

Mano de obra					
Código	Descripción	Número	S.R.H.	Rendim.	Total
MO1	Residente de obra (B1)	1.00	3.95	0.005	0.02
MO9	Plomero (D2)	1.00	3.55	1.500	5.33
MO6	Peón (E2)	1.00	3.51	0.600	2.11
Subtotal de mano de obra:					7.46

Costo directo total:	23.62
-----------------------------	-------

Fuente: Autores.

Tabla 4.33. Análisis de precios unitarios. Rubro: bajante agua lluvia PVC 110 mm.

Análisis de precios unitarios

Item:	1.026
Código:	A 26
Descrip.:	Bajante agua lluvia PVC 110 mm
Unidad:	m
Especific.:	Suministro e instalación de bajante agua lluvia

Costos directos

Equipo y herramienta						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
EH1	Herramienta menor	Hora	1.00	0.20	0.100	0.020
Subtotal de equipo:						0.02

Materiales						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
M78	Tubo PVC 110 mm x 3 m desagüe	Unidad	0.350	14.99		5.247
M80	Polilimpia PVC para tub.	cc	0.010	33.14		0.331
M79	Polipega PVC 3.785cc	cc	0.030	54.82		1.645
Subtotal de materiales:						7.22

Transporte						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total
Subtotal de transporte:						0.00

Mano de obra						
Código	Descripción	Número	S.R.H.	Rendim.		Total
MO1	Residente de obra (B1)	1.00	3.95	0.005		0.02
MO9	Plomero (D2)	1.00	3.55	0.600		2.13
MO6	Peón (E2)	1.00	3.51	0.250		0.88
Subtotal de mano de obra:						3.03

Costo directo total:						10.27
-----------------------------	--	--	--	--	--	-------

Fuente: Autores.

Tabla 4.34. Análisis de precios unitarios. Rubro: tablero y caja de medidor eléctrico.

Análisis de precios unitarios

Item:	1.027
Código:	A 27
Descrip.:	Tablero y caja medidor eléctrico
Unidad:	Unidad
Específic.:	Suministro e instalación de tablero y caja de medidor

Costos directos

Equipo y herramienta						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
EH1	Herramienta menor	Hora	1.00	0.20	0.100	0.020
Subtotal de equipo:						0.02

Materiales						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
M81	Codo HG 1 1/2" x 90	Unidad	3.000	6.78		20.340
M82	Breaker 2 polos 100 AMP. SD.	Unidad	1.000	38.71		38.710
M83	Alambre sólido THHN 10 AWG	m	3.000	0.91		2.730
M84	Alambre sólido THHN 12 AWG	m	12.000	0.58		6.960
M85	Tubería galv. EMT 1 1/2"x3m	Unidad	1.000	15.45		15.450
M86	Reversible EMT de 2"	Unidad	1.000	9.75		9.750
M87	Varilla copperweld y conector 16x24	Unidad	1.500	9.55		14.325
M88	Caja medidor clase 200	Unidad	1.000	43.50		43.500
Subtotal de materiales:						151.77

Transporte						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total
Subtotal de transporte:						0.00

Mano de obra						
Código	Descripción	Número	S.R.H.	Rendim.	Total	
MO1	Residente de obra (B1)	1.00	3.95	0.005	0.02	
MO10	Electricista (D2)	1.00	3.55	1.750	6.21	
MO6	Peón (E2)	2.00	3.51	1.400	9.83	
MO11	Maestro eléctrico (B1)	1.00	3.95	0.600	2.37	
Subtotal de mano de obra:						18.43

Costo directo total:	170.22
-----------------------------	--------

Fuente: Autores.

Tabla 4.35. Análisis de precios unitarios. Rubro: acometida telefónica.

Análisis de precios unitarios

Item:	1.028
Código:	A 28
Descrip.:	Acometida telefónica
Unidad:	m
Especific.:	Suministro e intalación de acometida telefónica

Costos directos

Equipo y herramienta						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
EH1	Herramienta menor	Hora	1.00	0.20	0.100	0.020
Subtotal de equipo:						0.02

Materiales						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
M89	Tubo conduit liviano 1/2"	3 m	0.330	1.21		0.399
M90	Alambre telefonico awg 2x20	m	4.000	0.05		0.200
Subtotal de materiales:						0.60

Transporte						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total
Subtotal de transporte:						0.00

Mano de obra					
Código	Descripción	Número	S.R.H.	Rendim.	Total
MO1	Residente de obra (B1)	1.00	3.95	0.005	0.02
MO10	Electricista (D2)	1.00	3.55	0.500	1.78
MO6	Peón (E2)	1.00	3.51	0.100	0.35
Subtotal de mano de obra:					2.15

Costo directo total:	2.77
-----------------------------	------

Fuente: Autores.

Tabla 4.36. Análisis de precios unitarios. Rubro: punto de luz.

Análisis de precios unitarios

Item:	1.029
Código:	A 29
Descrip.:	Punto luz
Unidad:	Unidad
Especific.:	Suministro e instalación de punto de luz

Costos directos

Equipo y herramienta						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
EH1	Herramienta menor	Hora	1.00	0.20	0.100	0.020
Subtotal de equipo:						0.02

Materiales						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
M91	Alambre galvanizado No.18	kg	0.130	2.54		0.330
M84	Alambre sólido THHN 12 AWG	m	15.000	0.58		8.700
M92	Caja PVC octogonal	Unidad	1.000	0.79		0.790
M93	Caja PVC rectangular	Unidad	1.000	0.79		0.790
M94	Conectores EMT 1/2"	Unidad	2.000	0.32		0.640
M95	Tubo conduit EMT 1/2" x 3m	Unidad	2.350	3.62		8.507
M96	Unión conduit 1/2"	Unidad	2.000	0.30		0.600
M97	Interruptor simple	Unidad	1.000	2.00		2.000
M98	Boquilla colgante sencilla de baquelita	Unidad	1.000	0.40		0.400
M99	Cinta aislante 19mm x 9m x 0.13 mm	Unidad	1.000	0.59		0.590
Subtotal de materiales:						23.35

Transporte						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total
Subtotal de transporte:						0.00

Mano de obra					
Código	Descripción	Número	S.R.H.	Rendim.	Total
MO1	Residente de obra (B1)	1.00	3.95	0.005	0.02
MO10	Electricista (D2)	1.00	3.55	1.400	4.97
MO6	Peón (E2)	1.00	3.51	0.900	3.16
MO11	Maestro eléctrico (B1)	1.00	3.95	0.500	1.98
Subtotal de mano de obra:					10.13

Costo directo total:	33.50
-----------------------------	-------

Fuente: Autores.

Tabla 4.37. Análisis de precios unitarios. Rubro: punto tomacorriente 110 V.

Análisis de precios unitarios

Item:	1.030
Código:	A 30
Descrip.:	Punto tomacorriente 110 V
Unidad:	Unidad
Específic.:	Suministro e instalación de punto de tomacorriente

Costos directos

Equipo y herramienta						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
EH1	Herramienta menor	Hora	1.00	0.20	0.100	0.020
Subtotal de equipo:						0.02

Materiales						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
M91	Alambre galvanizado No.18	kg	0.130	2.54		0.330
M84	Alambre sólido THHN 12 AWG	m	14.000	0.58		8.120
M93	Caja PVC rectangular	Unidad	1.000	0.79		0.790
M94	Conectores EMT 1/2"	Unidad	2.000	0.32		0.640
M95	Tubo conduit EMT 1/2" x 3m	Unidad	2.000	3.62		7.240
M96	Unión conduit 1/2"	Unidad	2.000	0.30		0.600
M99	Cinta aislante 19mm x 9m x 0.13 mm	Unidad	1.000	0.59		0.590
M100	Tomacorriente industrial polarizado con tapa 21-220w	Unidad	1.000	5.00		5.000
Subtotal de materiales:						23.31

Transporte						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total
Subtotal de transporte:						0.00

Mano de obra					
Código	Descripción	Número	S.R.H.	Rendim.	Total
MO1	Residente de obra (B1)	1.00	3.95	0.005	0.02
MO10	Electricista (D2)	1.00	3.55	1.400	4.97
MO6	Peón (E2)	1.00	3.51	0.900	3.16
MO11	Maestro eléctrico (B1)	1.00	3.95	0.500	1.98
Subtotal de mano de obra:					10.13

Costo directo total:	33.46
-----------------------------	-------

Fuente: Autores.

Tabla 4.38. Análisis de precios unitarios. Rubro: breakers de 1 polo de 40 AMP.

Análisis de precios unitarios

Item:	1.031
Código:	A 31
Descrip.:	Breakers de 1 polo de 40 AMP
Unidad:	Unidad
Específic.:	Suministro e instalación de breaker

Costos directos

Equipo y herramienta						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
EH1	Herramienta menor	Hora	1.00	0.20	0.100	0.020
Subtotal de equipo:						0.02

Materiales						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
M101	Breaker 1P-40 AMP	Unidad	1.000	5.99		5.990
Subtotal de materiales:						5.99

Transporte						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total
Subtotal de transporte:						0.00

Mano de obra						
Código	Descripción	Número	S.R.H.	Rendim.	Total	
MO1	Residente de obra (B1)	1.00	3.95	0.005	0.02	
MO10	Electricista (D2)	1.00	3.55	0.500	1.78	
MO6	Peón (E2)	1.00	3.51	0.250	0.88	
Subtotal de mano de obra:						2.68

Costo directo total:						8.69
-----------------------------	--	--	--	--	--	------

Fuente: Autores.

Tabla 4.39. Análisis de precios unitarios. Rubro: cielo raso gypsum normal.

Análisis de precios unitarios

Item:	1.032
Código:	A 32
Descrip.:	Cielo raso gypsum normal
Unidad:	m²
Específic.:	Suministro e intalación de cielo raso gypsum normal

Costos directos

Equipo y herramienta						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
EH1	Herramienta menor	Hora	1.00	0.20	0.100	0.020
Subtotal de equipo:						0.02

Materiales						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
M91	Alambre galvanizado No.18	kg	0.100	2.54		0.254
M102	Plancha Gypsum regular 4'x8'x1/2". Importada Chile	Unidad	0.370	9.02		3.337
M103	Perfil primario 15/8"x12"x1mm	Unidad	0.200	2.78		0.556
M104	Perfil secundario 2 1/2"x12"	Unidad	0.500	2.62		1.310
M105	Clavo de acero negro	lb	0.020	1.50		0.030
M106	Angulo perimetral galvanizado	Unidad	0.350	0.93		0.326
M107	Tornillos BH para plancha	Unidad	14.820	0.01		0.148
M108	Fulminantes y clavo	Unidad	0.700	0.55		0.385
M109	Tornillos LH para estructura	Unidad	4.580	0.01		0.046
M110	Cinta para junta de papel	Unidad	0.030	4.66		0.140
M111	Masilla Romeral 30kg	Saco	0.030	16.00		0.480
Subtotal de materiales:						7.01

Transporte						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total
Subtotal de transporte:						0.00

Mano de obra					
Código	Descripción	Número	S.R.H.	Rendim.	Total
MO1	Residente de obra (B1)	1.00	3.95	0.005	0.02
MO5	Ayudante (D2)	1.00	3.55	0.500	1.78
MO6	Peón (E2)	1.00	3.51	0.400	1.40
Subtotal de mano de obra:					3.20

Costo directo total:	10.23
-----------------------------	-------

Fuente: Autores.

En la siguiente tabla se puede apreciar el costo total de la vivienda mínima modular, el cual incluye costos de producción con acabados, transporte y montaje de la misma.

Tabla 4.40. Costo total de la vivienda mínima modular.

Costo directo total de producción	\$ 7,111.77
Costo total de transporte y montaje	\$ 1,896.62
Costo directo total de acabados	\$ 6,145.16
Costo total de vivienda mínima modular	\$ 15,153.55

Fuentes: Autores.

En síntesis, podemos decir que el costo total de la vivienda mínima modular con una superficie de 44.25 m² es de \$15,153.55 dólares americanos. Este costo no incluye el costo indirecto, el cual puede variar entre 8 - 10 % del costo directo total (\$ 16,214.10 – \$ 16,479.24). Se debe tener en cuenta que este tipo de propuestas son lideradas por organizaciones de economía popular y solidaria o grupos de población organizada sin fines de lucro. Este costo es inferior al rango establecido (\$ 20,000.00 a \$ 25,000.00 para una superficie de 42.01 a 54 m² respectivamente) por el Ministerio de Desarrollo Urbano y de Vivienda (MDUV) del año 2011 y infimamente superior al determinado por los lineamientos mínimos para registro y validación de tipologías de vivienda del programa “casa para todos” del MDUV, con un valor máximo de \$12,500.00 para una superficie de 49 m² (Ministerio de Desarrollo Urbano y de Vivienda, 2018).

En la propuesta de la vivienda mínima modular no se consideran los siguientes rubros:

- Replanteo y nivelación del terreno.
- Movimiento de tierra (corte y relleno del suelo).
- Cimentación de la vivienda.
- Conexión a matrices de las acometidas de servicio básicos (agua potable, alcantarillado, tendido eléctrico y telefónico).
- Mobiliario interno (juego de sala, comedor y dormitorio).
- Adquisición del terreno.
- Cerramiento de la vivienda.

4.4 Incidencia del terreno en el costo total de la vivienda

El costo del terreno es un factor importante a tener en cuenta al momento de referirnos al costo total de la vivienda debido a que este costo se puede incrementar significativamente. En la ciudad de Cuenca el costo de los terrenos es muy alto en

comparación con el resto país, por lo que se deberá coordinar con los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADs) la gestión del suelo urbano requerido para los programas de vivienda de interés social conforme con sus respectivas planificaciones. El costo del suelo deberá estar regido a la valoración catastral en suelos destinados a este tipo de proyectos, el cual refleja el valor real de los inmuebles descontando aquellos valores producto de la distorsión del mercado. Es competencia de los GADs elaborar normas que contemplen y favorezcan este tipo de producción para facilitar el acceso a: suelo, financiamiento, crédito y asistencia técnica (Ministerio de Desarrollo Urbano y de Vivienda, 2011).

En el presente trabajo no se contempla el emplazamiento de la vivienda en un terreno específico, pero para aprovechar de manera eficiente los espacios se plantea un adosamiento lateral doble para las viviendas (una vivienda junto a otra). Este adosamiento es favorable porque la vivienda posee una mayor dimensión de fondo que de frente (fondo= 12.10 m, frente= 5.90 m).

4.5 Especificaciones técnicas de rubros

4.5.1 Panel tipo pared para mampostería vertical

Descripción

Para la construcción de paredes exteriores e interiores se utilizará un panel tipo simple conformado por 2 láminas externas de micro hormigón vibro prensado de 1.20 cm de espesor cada una, 1 lámina central de poliestireno expandido con espesor de 5.00 cm y malla hexagonal en cada cara de la capa de poliestireno.

Unidad

Metro cuadrado (m²).

Materiales mínimos

Cemento tipo Portland, arena lavada, agua, aditivo súper fluido, desencofrante, poliestireno expandido 5.00 cm espesor, malla hexagonal 188080 y conectores metálicos $\Phi = 6.00$ mm de 12.00 cm.

Equipo Mínimo

Herramienta menor, encofrado metálico, puente grúa, equipo de corte, equipo de vibración, equipo de hormigonado, equipo para doblar hierro y grúa en obra.

Mano de obra mínima calificada

Peón (Estrc. Oc. E2), Albañil (Estrc. Oc. D2), Ayudante (Estrc. Oc. D2), Operadores de maquinaria (Estrc. Oc. C1), Residente de Obra (Estrc. Oc. B1), Maestro mayor en la ejecución de Obra Civil (Estrc. Oc. C1).

Procedimiento

Se deben efectuar los siguientes pasos que se describen a continuación:

- 1.- Colocar la malla hexagonal adosada a las dos caras del alma del poliestireno expandido.
- 2.- Realizar el número de perforaciones establecidas de acuerdo al tipo de panel; en este caso se realizarán 16 perforaciones por m² (un conector cada 25.00 cm).
- 3.- Colocar los conectores tipo C de diámetro de 5.00 mm. Adicionalmente se procederá a unir éstos a las mallas hexagonales mediante alambre de amarre.
- 4.- Adecuar los cofres de tal manera que se garantice un vertido uniforme en toda la superficie y se evite la adherencia al momento de hormigonar.
- 5.- Verter una capa de 1.20 cm de microhormigón de resistencia a la compresión de 400.00 kg/cm², inmediatamente se debe colocar la armadura previamente elaborada sobre la capa de hormigón colocada anteriormente.
- 6.- Verter la segunda capa de microhormigón de resistencia a la compresión de 400.00 kg/cm².
- 7.- Esperar el tiempo especificado de fraguado para realizar el desencofrado y efectuar el curado correspondiente.

Requerimientos previos

Para la instalación de este tipo de elementos se debe conformar previamente la estructura metálica en su totalidad.

Medición y pago

La unidad de medición de este rubro será el metro cuadrado (m^2) y su forma pago se realizará en función de la cantidad de metros cuadrados (m^2) de panel que sean instalados.

4.5.2 Panel tipo losa para entepiso

Descripción

Para la construcción utilizará un panel tipo losa de entepiso conformado por 2 láminas externas micro hormigón vibro prensado de 1.20 cm de espesor cada una, 1 lámina central de poliestireno expandido con espesor de 5.00 cm, malla de alambre de $\Phi = 0.50$ mm en cada cara del alma del poliestireno expandido y malla electrosoldada de $\Phi = 5.50$ mm en la cara inferior de la lámina de poliestireno.

Unidad

Metro cuadrado (m^2).

Materiales mínimos

Cemento tipo Portland, arena lavada, agua, aditivo súper fluido, desencofrante, poliestireno expandido 5.00 cm espesor, malla hexagonal 188080, conectores metálicos $\Phi = 6.00$ mm de 12.00 cm y malla electrosoldada.

Equipo Mínimo

Herramienta menor, encofrado metálico, puente grúa, equipo de corte, equipo de vibración, equipo de hormigonado, equipo para doblar hierro y grúa en obra.

Mano de obra mínima calificada

Peón (Estrc. Oc. E2), Albañil (Estrc. Oc. D2), Ayudante (Estrc. Oc. D2), Operadores de maquinaria (Estrc. Oc. C1), Residente de Obra (Estrc. Oc. B1), Maestro mayor en la ejecución de Obra Civil (Estrc. Oc. C1).

Procedimiento

Se deben efectuar los siguientes pasos que se describen a continuación:

1.- Colocar la malla hexagonal adosada a las dos caras del alma del poliestireno expandido.

- 2.- Colocar la malla electrosoldada adosada a una de las caras de la malla hexagonal.
- 3.- Realizar el número de perforaciones establecidas de acuerdo al tipo de panel; en este caso se realizarán 36 perforaciones por m² (un conector cada 15.00 cm).
- 4.- Colocar los conectores tipo C de diámetro de 5.00 mm. Adicionalmente se procederá a unir éstos a las mallas (hexagonal y electrosoldada), mediante alambre de amarre.
- 5.- Adecuar los cofres de tal manera que se garantice un vertido uniforme en toda la superficie y se evite la adherencia al momento de hormigonar.
- 6.- Verter una capa de 1.20 cm de microhormigón de resistencia a la compresión de 400.00 kg/cm², inmediatamente se debe colocar la armadura previamente elaborada sobre la capa de hormigón colocada anteriormente.
- 7.- Verter la segunda capa de microhormigón de resistencia a la compresión de 400.00 kg/cm².
- 8.- Esperar el tiempo especificado de fraguado para realizar el desencofrado y efectuar el curado correspondiente.

NOTA: para la instalación de este tipo de panel (losa de entrepiso) se debe apoyar la cara del elemento que contenga a la malla electrosoldada sobre la estructura de metálica.

Requerimientos previos

Para la instalación de este tipo de elementos se debe conformar previamente la estructura metálica en su totalidad.

Medición y pago

La unidad de medición de este rubro será el metro cuadrado (m²) y su forma pago se realizará en función de la cantidad de metros cuadrados (m²) de panel que sean instalados.

4.5.3 Perfil metálico tipo columna (150x100x4 mm)

Descripción

Para la construcción utilizará el tubo estructural rectangular laminado en frío con las siguientes especificaciones: dimensión 150x100x4 mm, con un área de 18.95 cm², un peso de 14.87 kg/m y con recubrimiento negro. Este perfil metálico debe cumplir con las normas de fabricación ASTM A500 e INEN 241.

Unidad

Kilogramo (kg).

Materiales mínimos

Tubo estructural rectangular laminado en frío (150x100x4 mm), electrodo de suelda E 6012, pintura anticorrosiva.

Equipo Mínimo

Herramientas varias, equipo de pintura (2 HP), equipo de soldadura, puente grúa.

Mano de obra mínima calificada

Peón (Estrc. Oc. E2), Residente de Obra (Estrc. Oc. B1), Pintor (Estrc. Oc. D2) Operador de grúa puente de elevación (Estrc. Oc. C1).

NOTA: La mano de obra que efectuó los trabajos de soldadura deberá ser calificada según Normas AWS.

Procedimiento

Se deben efectuar los siguientes pasos que se describen a continuación:

- 1.- Recubrir los elementos con la pintura anticorrosiva.
- 2.- Ensamblar los elementos tipo columna y viga por medio de una conexión soldada tipo filete según lo especificado los planos. Previo a realizar la soldadura se debe verificar que en las zonas de conexión no existan superficies húmedas y estén limpias.

NOTA: Se considera que los perfiles metálicos son suministrados por el proveedor de acuerdo a las dimensiones especificados en los planos.

Medición y pago

La unidad de medición de este rubro el kilogramo (kg) y su forma pago se realizará en función de la cantidad de kilogramos (kg) de perfilaría metálica que sean suministrados, pintados e instalados.

4.5.4 Perfil metálico tipo viga (150x100x3 mm)

Descripción

Para la construcción utilizará el tubo estructural rectangular laminado en frío con las siguientes especificaciones: dimensión 150x100x3 mm, con un área de 14.41 cm², un peso de 11.31 kg/m y con recubrimiento negro. Este perfil metálico debe cumplir con las normas de fabricación ASTM A500 e INEN 241.

Unidad

Kilogramo (kg).

Materiales mínimos

Tubo estructural rectangular laminado en frío (150x100x3 mm), electrodo de suelda E 6012, pintura anticorrosiva.

Equipo Mínimo

Herramientas varias, equipo de pintura (2 HP), equipo de soldadura, puente grúa.

Mano de obra mínima calificada

Peón (Estrc. Oc. E2), Residente de Obra (Estrc. Oc. B1), Pintor (Estrc. Oc. D2) Operador de grúa puente de elevación (Estrc. Oc. C1).

Procedimiento

Se deben efectuar los siguientes pasos que se describen a continuación:

- 1.- Recubrir los elementos con la pintura anticorrosiva.
- 2.- Ensamblar los elementos tipo columna y viga por medio de una conexión soldada tipo filete según lo especificado los planos. Previo a realizar la soldadura se debe verificar que en las zonas de conexión no existan superficies húmedas y estén limpias.

NOTA: Se considera que los perfiles metálicos son suministrados por el proveedor de acuerdo a las dimensiones especificados en los planos.

Medición y pago

La unidad de medición de este rubro el kilogramo (kg) y su forma pago se realizará en función de la cantidad de kilogramos (kg) de perfilaría metálica que sean suministrados, pintados e instalados.

4.5.5 Perfil metálico tipo vigueta (100x100x3 mm)

Descripción

Para la construcción utilizará el tubo estructural cuadrado laminado en frío con las siguientes especificaciones: dimensión 100x100x3 mm, con un área de 9.74 cm², un peso de 7.64 kg/m y con recubrimiento negro. Este perfil metálico debe cumplir con las normas de fabricación ASTM A500 e INEN 241.

Unidad

Kilogramo (kg).

Materiales mínimos

Tubo estructural rectangular laminado en frío (100x100x3 mm), electrodo de suelda E 6012, pintura anticorrosiva.

Equipo Mínimo

Herramientas varias, equipo de pintura (2 HP), equipo de soldadura, puente grúa.

Mano de obra mínima calificada

Peón (Estrc. Oc. E2), Residente de Obra (Estrc. Oc. B1), Pintor (Estrc. Oc. D2) Operador de grúa puente de elevación (Estrc. Oc. C1).

Procedimiento

Se deben efectuar los siguientes pasos que se describen a continuación:

1.- Recubrir los elementos con la pintura anticorrosiva.

2.- Ensamblar los elementos tipo viga y vigueta por medio de una conexión soldada tipo filete según lo especificado los planos. Previo a realizar la soldadura se debe verificar que en las zonas de conexión no existan superficies húmedas y estén limpias.

NOTA: Se considera que los perfiles metálicos son suministrados por el proveedor de acuerdo a las dimensiones especificados en los planos.

Medición y pago

La unidad de medición de este rubro el kilogramo (kg) y su forma pago se realizará en función de la cantidad de kilogramos (kg) de perfilaría metálica que sean suministrados, pintados e instalados.

CONCLUSIONES

Con la finalización del trabajo se exponen las siguientes conclusiones:

- Mediante el proceso de elección del material se determinó que el sistema de estructura metálica con mampostería vertical y losas de entepiso de micro hormigón es el más conveniente a utilizar en vivienda mínima modular, los cuales existen en el medio local y presentan mayores beneficios conforme a los criterios economía, condiciones de servicio, durabilidad, tiempo de construcción, mantenimiento y reparación que estos brindan.
- Se estableció las dimensiones óptimas del módulo que brindan mayores ventajas de movilización, colocación en obra y cumplimiento de los criterios arquitectónicos. Además, se normalizó bajos los mismos criterios una posible ampliación de la vivienda mínima modular.
- Para el cálculo del diseño estructural mediante la modelación matemática del comportamiento se consideró las cargas y combinaciones que establece la NEC. Como resultado se obtuvo que el escenario más desfavorable a analizar es la que considera la ampliación de la planta alta de la vivienda mínima modular, debido al incremento de cargas que se aplican sobre la estructura base (planta baja).
- Al realizar el análisis de los resultados de la modelación se identificó que la combinación de cargas que genera los esfuerzos máximos es la combinación 2, la cual contempla: carga viva, muerta y de granizo. Adicionalmente, se identificó que los elementos estructurales diseñados cumplen ampliamente a los requerimientos que establece el AISI en su normativa. Esto representa una ventaja para la vivienda propuesta frente a otras viviendas de interés social, debido a que la estructura de la vivienda permite una ampliación en altura sin comprometer la resistencia de ésta.
- Mediante un análisis de precios unitarios se establece que la vivienda mínima modular presenta un precio accesible para la población con un monto de \$ 15,153.55 para una vivienda de 44.25 m² de superficie. Este precio incluye costos de transporte e instalación, representando un costo directo de \$ 342.45 por m² de vivienda con acabados. Finalmente, se puede concluir que la vivienda modular es una opción factible para los programas de vivienda solidaria del país e inclusive para competir dentro del mercado inmobiliario ecuatoriano.

RECOMENDACIONES

Al concluir con el trabajo de graduación se presenta las siguientes recomendaciones:

- Realizar un estudio de mercado con el fin de conocer la demanda existente, la percepción acerca de las viviendas modulares y la factibilidad del proyecto.
- Para la elección del sistema estructural de la vivienda mínima modular se sugiere realizar un análisis más detallado de costos y la realización de ensayos de resistencia para elementos que conforman cada sistema.
- Para la comparación de los diferentes sistemas estructurales considerados se recomienda realizar un modelo físico a escala de la vivienda mínima modular con el fin de obtener una mejor información sobre el comportamiento de cada sistema.
- Para el diseño de la perfilería metálica se recomienda optimizar las secciones de los perfiles estructurales, debido a que en las comprobaciones realizadas sobre los elementos cumplieron con un gran margen de seguridad.
- Para la producción de la vivienda mínima modular se propone realizar un modelo de producción en serie y analizar la configuración óptima de la planta que genere procesos eficaces y eficientes.

ANEXOS

Anexo N°1. Vista exterior de la vivienda mínima modular



Anexo N°2. Vista del interior de la vivienda mínima modular



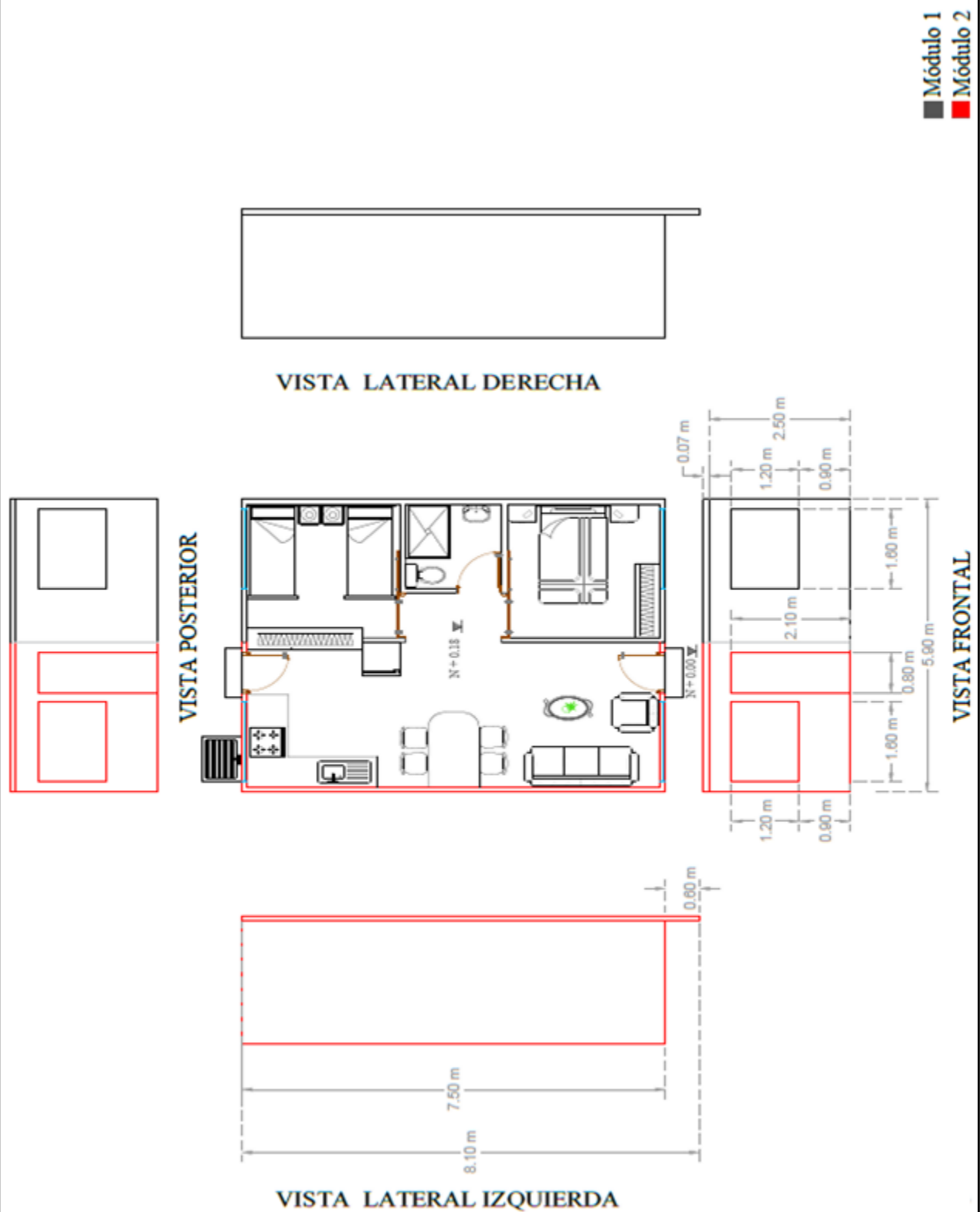
Anexo N°3. Vista en corte del interior del módulo 1 de la vivienda mínima modular



Anexo N°4. Vista en corte del interior del módulo 2 de la vivienda mínima modular



Anexo N° 5. Plano: Dimensionamiento y vistas de los perfiles de la vivienda mínima modular.

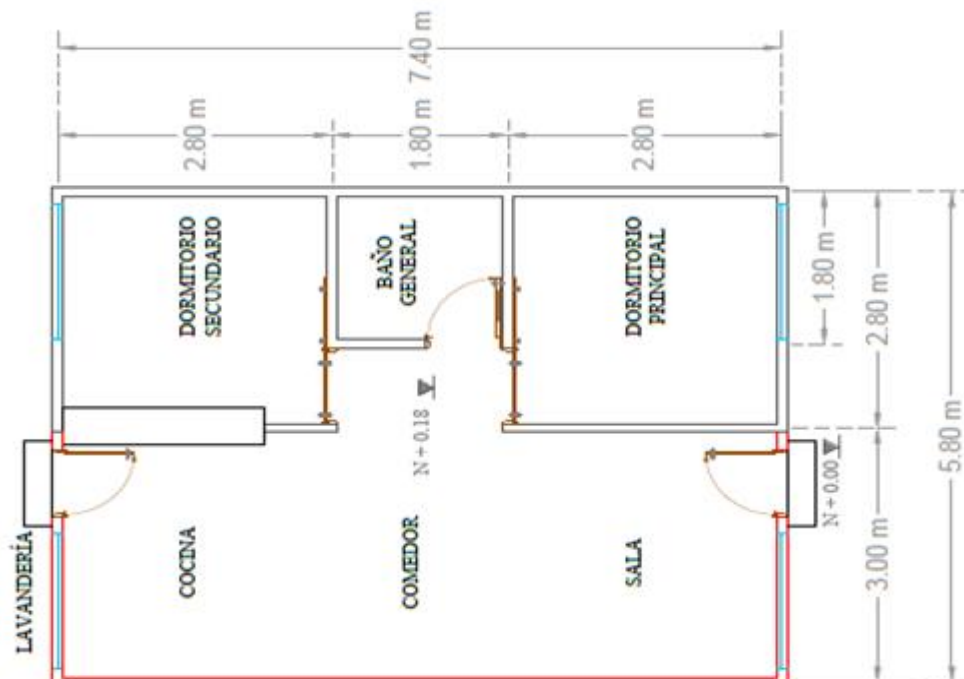


Anexo N° 6. Plano: Dimensionamiento, distribución de espacios y mobiliario de la planta baja de la vivienda mínima modular.



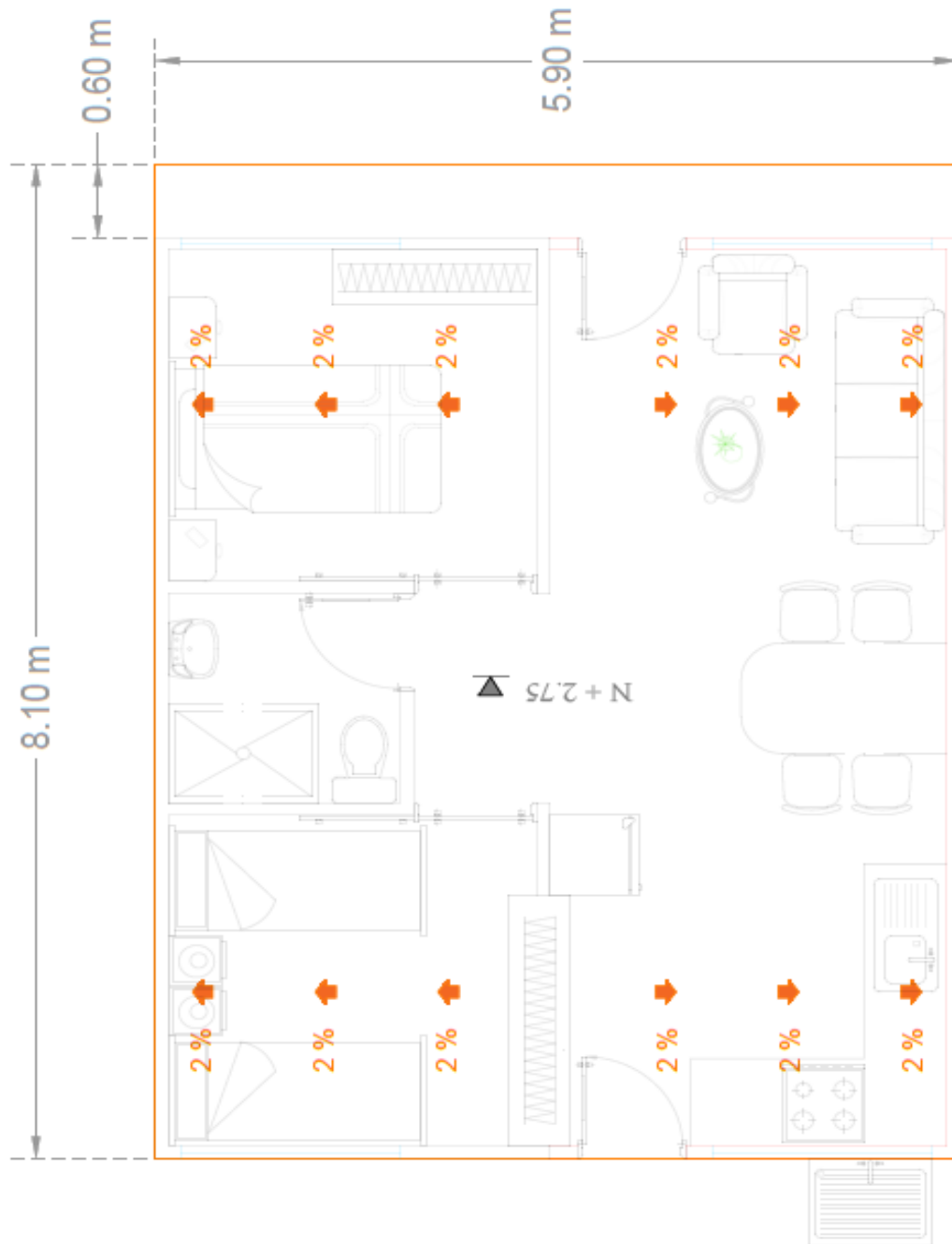
PLANTA BAJA DE VIVIENDA

■ Módulo 1
■ Módulo 2



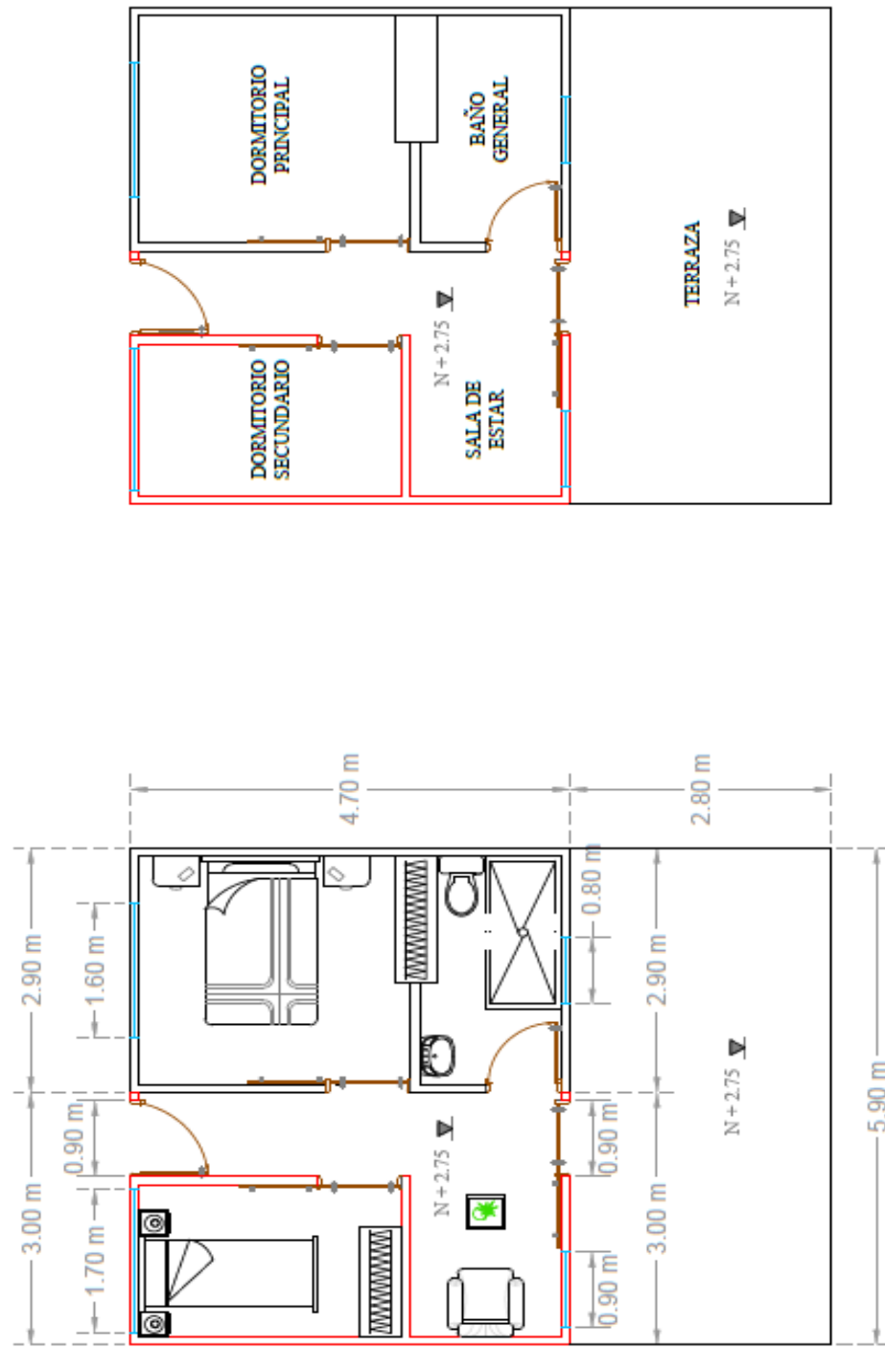
**DISTRIBUCIÓN DE ESPACIOS
PLANTA BAJA**

Anexo N° 7. Plano: Dimensionamiento y vista en planta de la losa de cubierta nivel 2.50 m de la vivienda mínima modular.



VISTA EN PLANTA DE LOSA DE CUBIERTA. NIVEL: 2.50 m

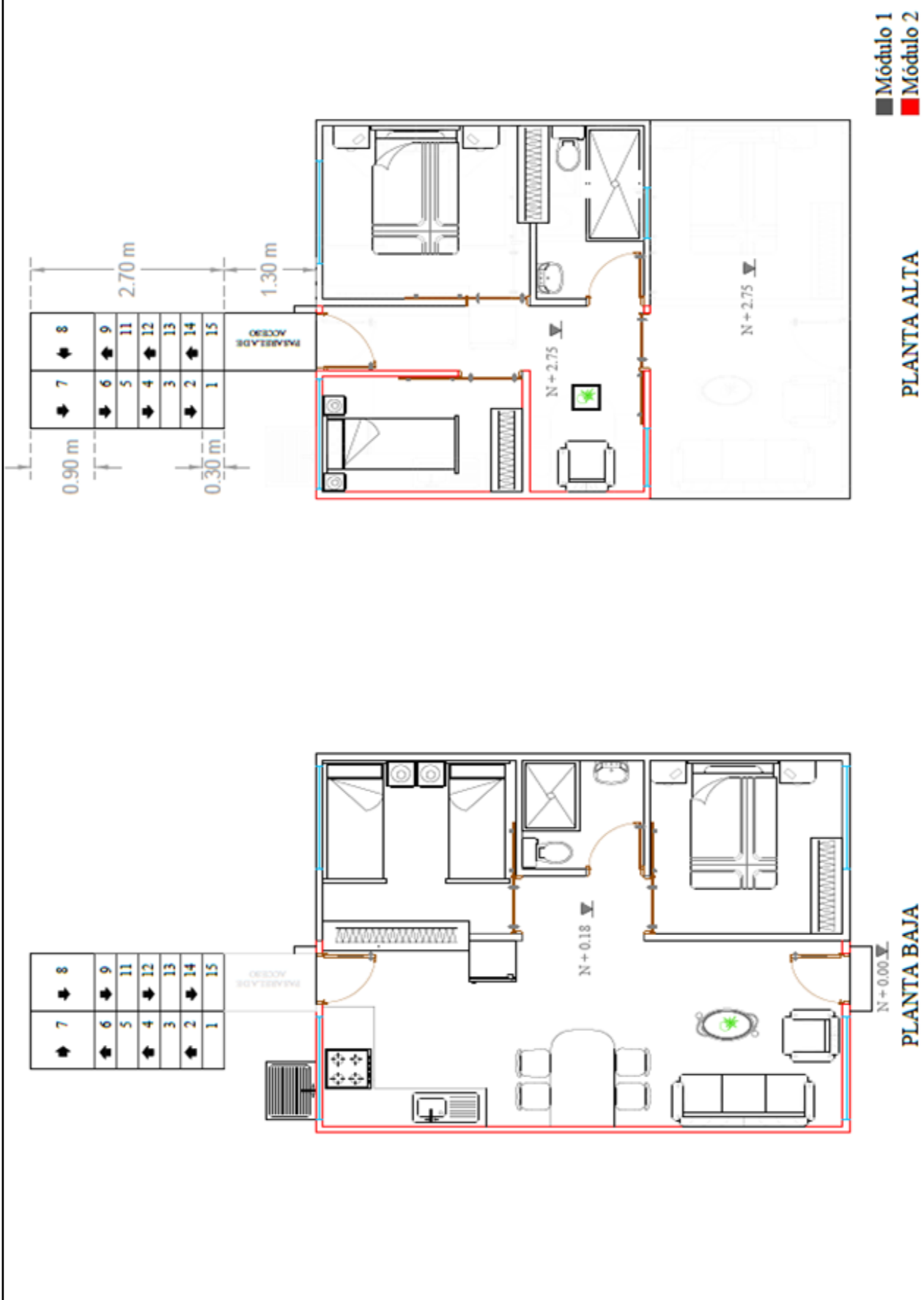
Anexo N° 8. Plano: Dimensionamiento, distribución de espacios y mobiliario de la planta alta de la vivienda mínima modular.



PROYECCIÓN PLANTA ALTA DE VIVIENDA

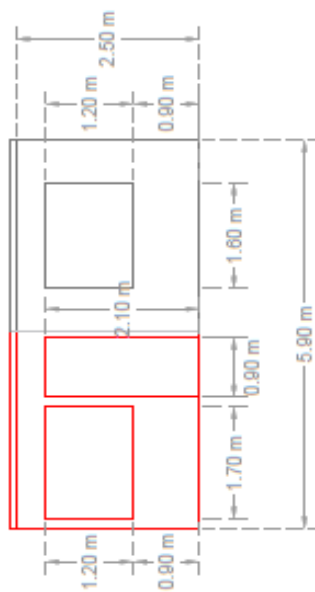
DISTRIBUCIÓN DE ESPACIOS PLANTA ALTA

Anexo N° 9. Plano: Acceso a la planta alta de la vivienda mínima modular.



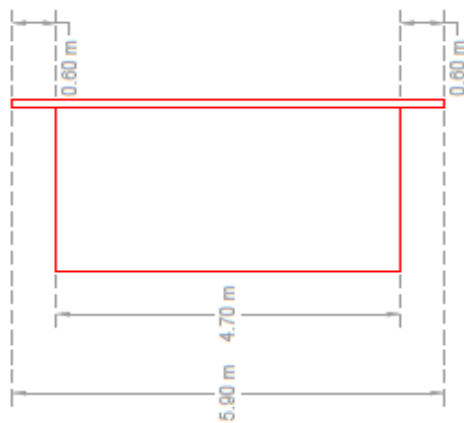
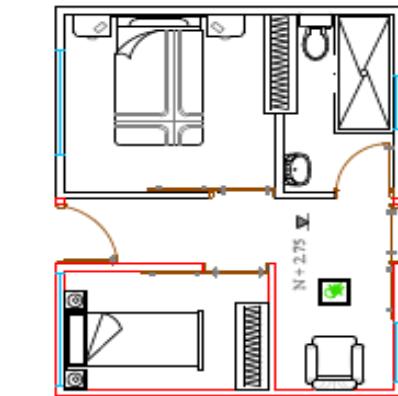
Anexo N° 10. Plano: Dimensionamiento, mobiliario y vista de los perfiles de la planta alta de la vivienda mínima modular.

■ Módulo 1
■ Módulo 2

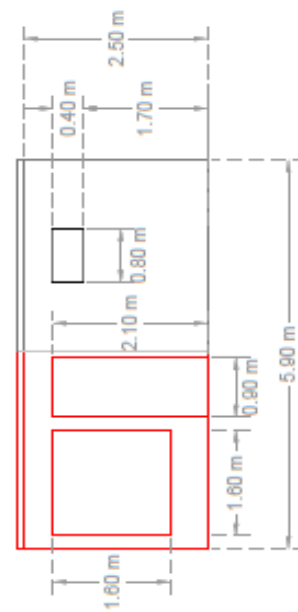


VISTA POSTERIOR

VISTA LATERAL DERECHA

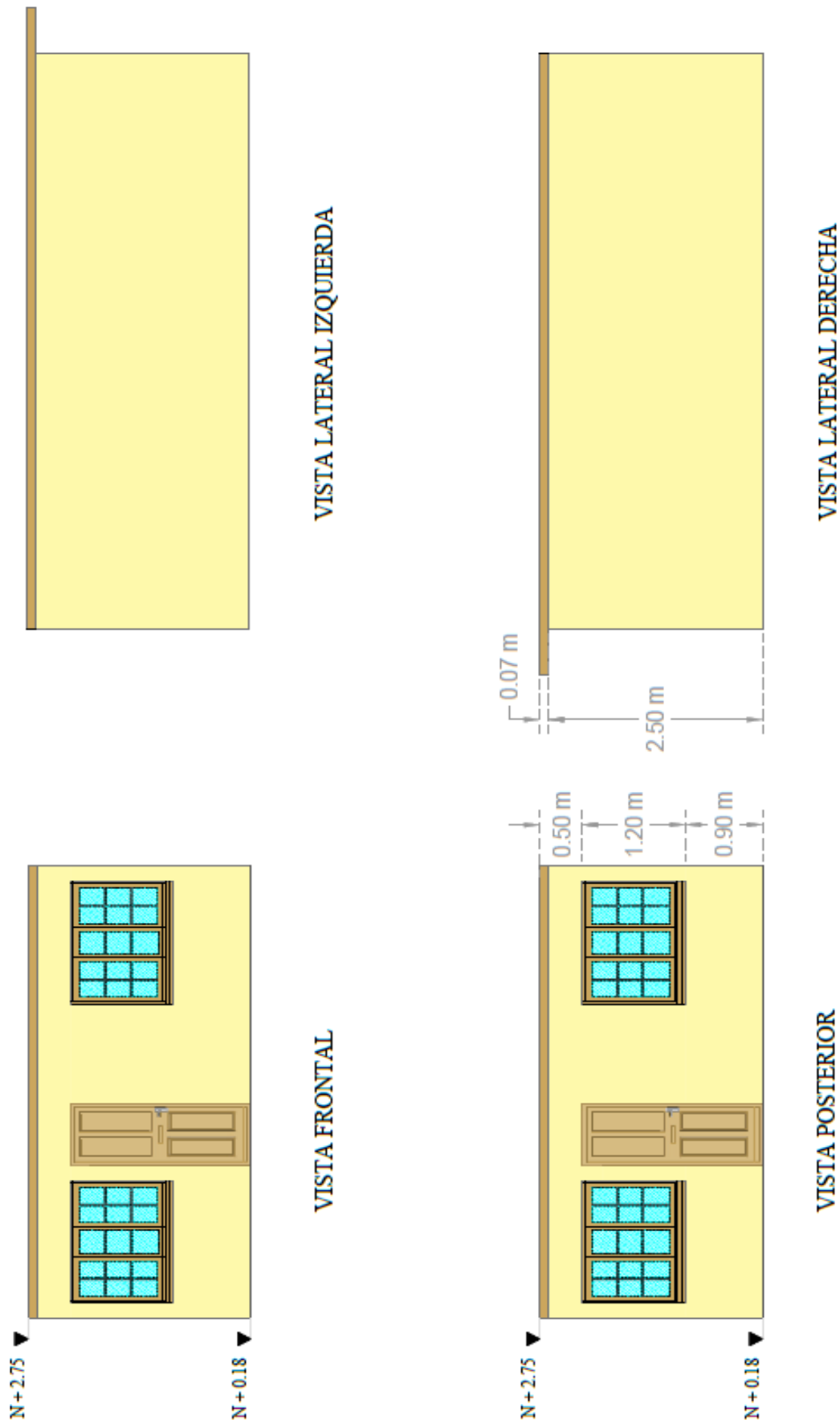


VISTA LATERAL IZQUIERDA

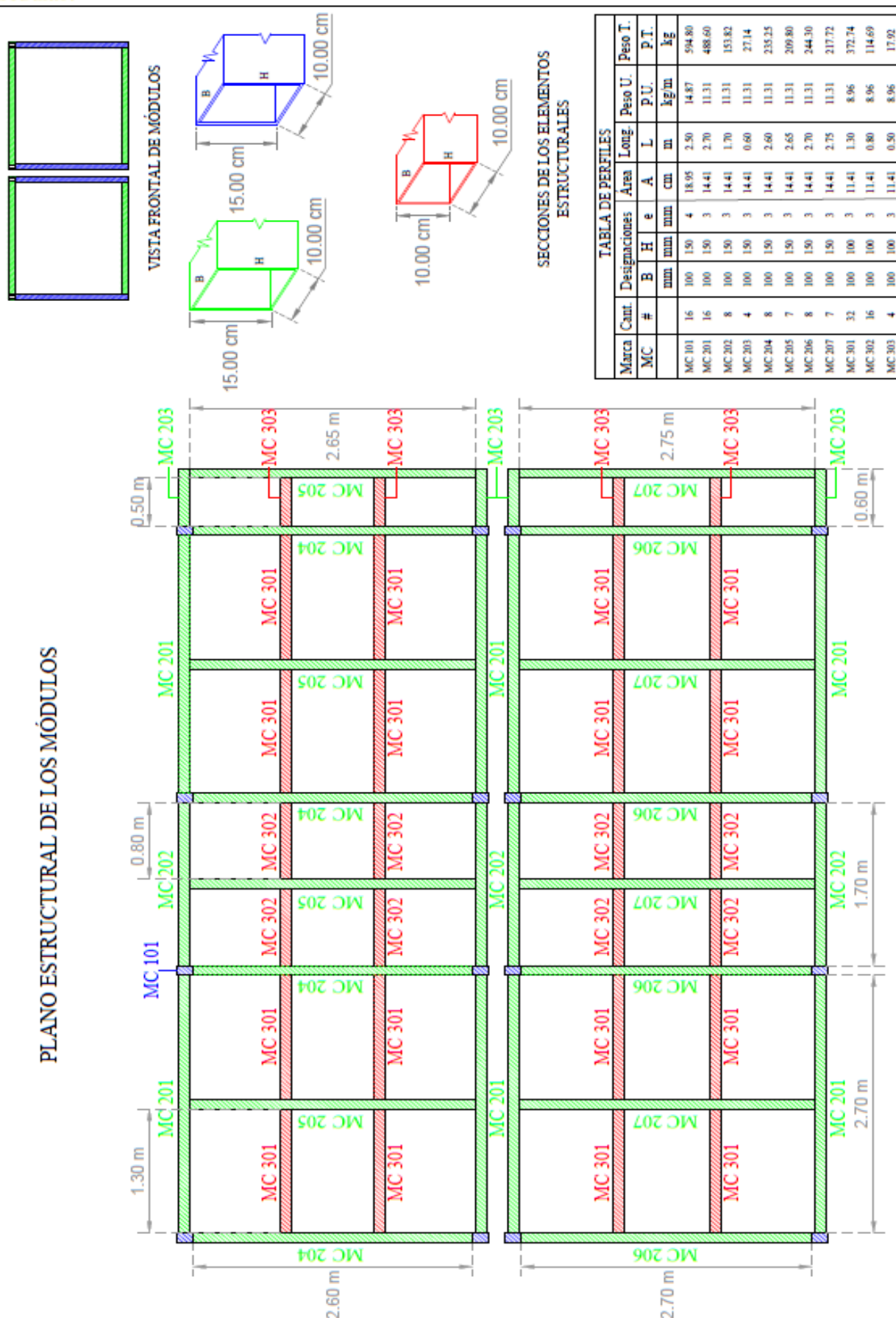


VISTA FRONTAL

Anexo N° 11. Plano: Vista arquitectónica de los perfiles de la vivienda mínima modular.

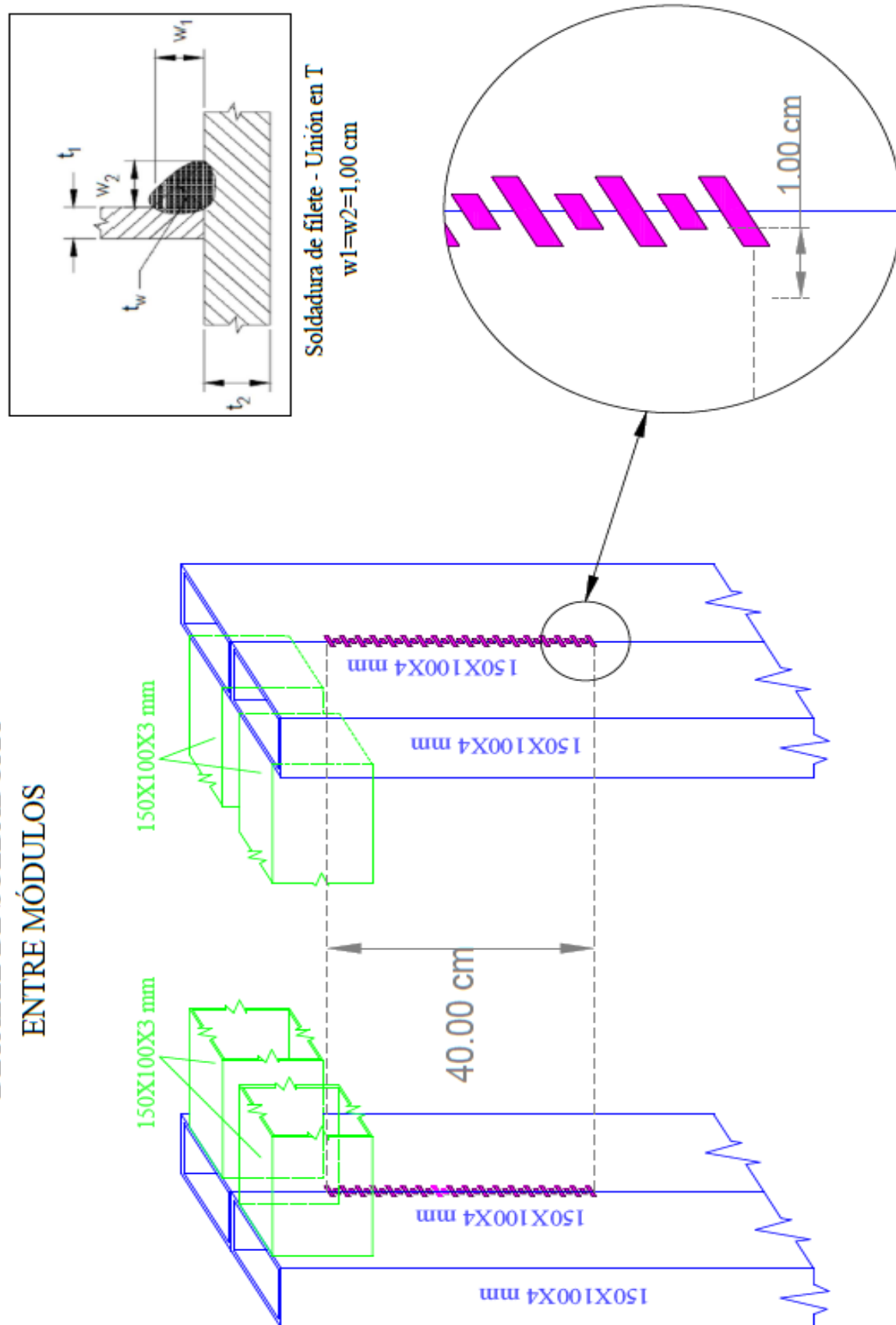


Anexo N° 12. Plano: Detalle estructural de los elementos que conforman la vivienda mínima modular.

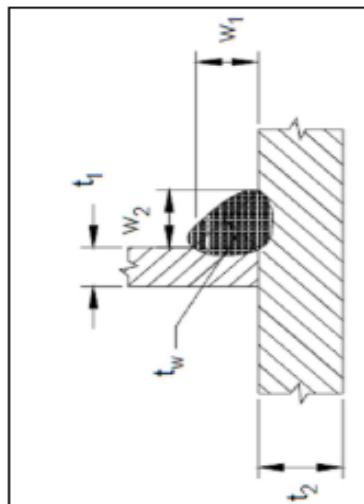


Anexo N° 13. Plano: Detalle del cordón de soldadura entre los módulos de la vivienda mínima modular.

DETALLE DE SOLDADURA
ENTRE MÓDULOS



Anexo N° 14. Plano: Detalle del cordón de soldadura de los elementos que conforman la estructura metálica de la vivienda mínima modular.



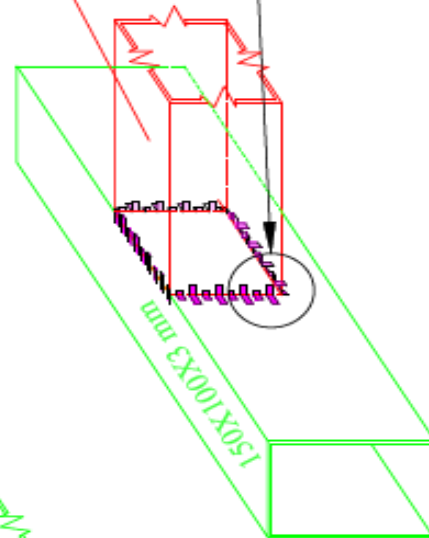
Soldadura de filete - Unión en T
 $w1=w2=1,00\text{ cm}$

DETALLE DE SOLDADURA
COLUMNA - VIGA
VIGA - VIGUETA

150X100X3 mm

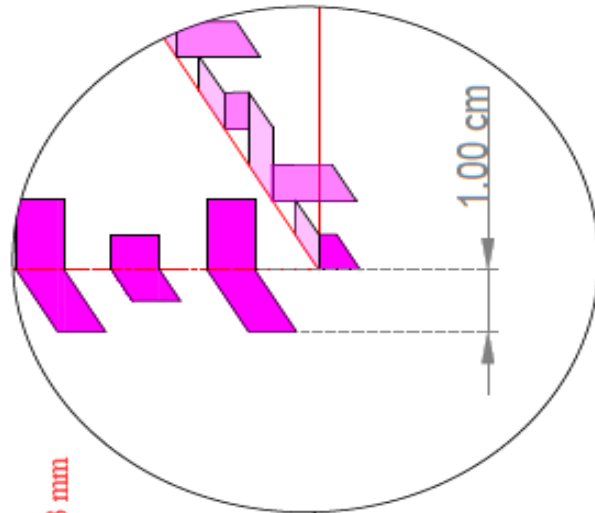


150X100X4 mm



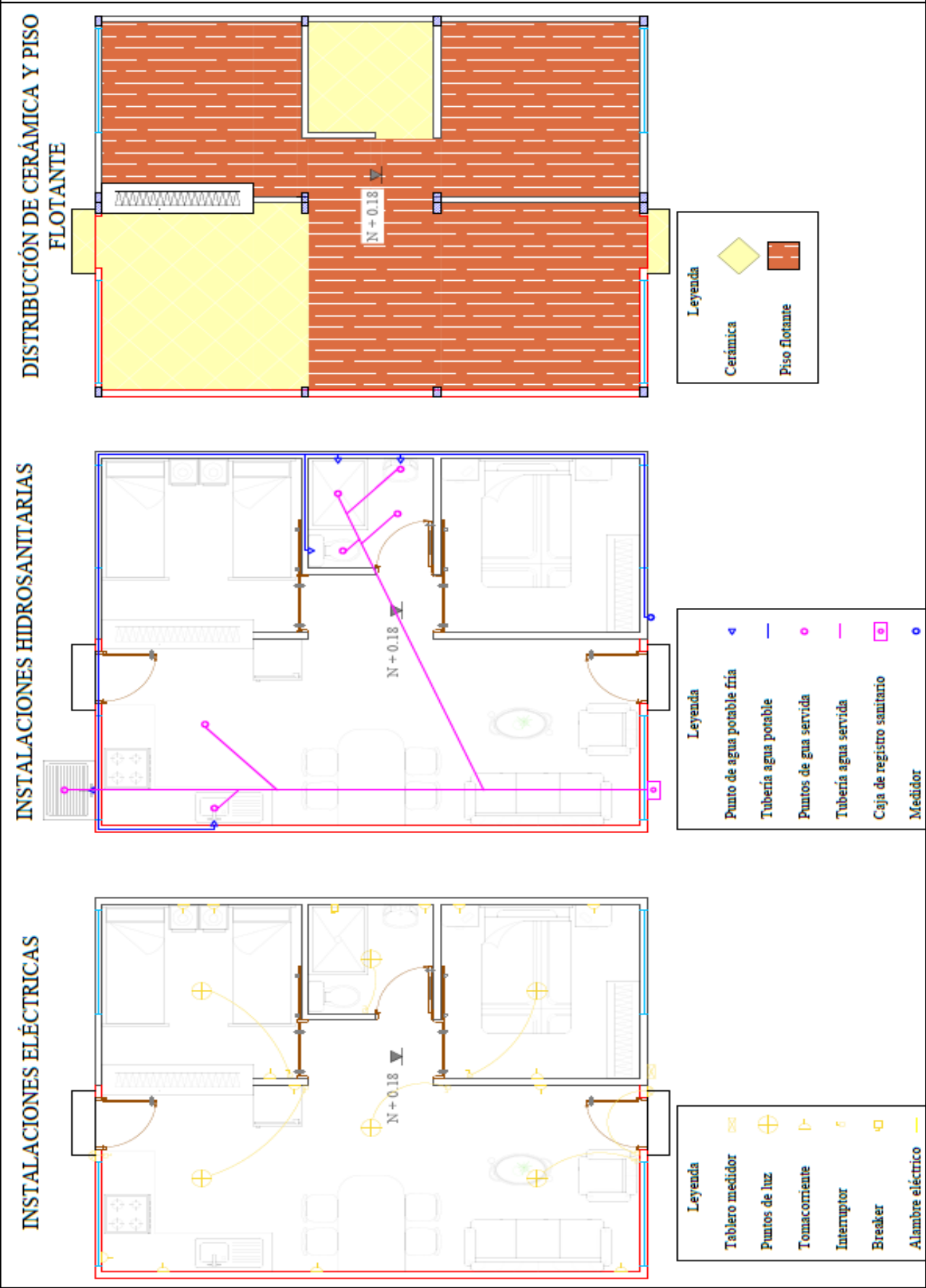
150X100X3 mm

100X100X3 mm



1.00 cm

Anexo N° 15. Plano: Instalaciones eléctricas, hidrosanitarias y distribución de cerámica y piso flotante.



BIBLIOGRAFÍA

- AceroTEC. (2016). Light Steel Framing Ecuador. Retrieved April 23, 2018, from <http://www.acerotec.com.ec/>
- AISI. ESPECIFICACIÓN PARA EL DISEÑO DE MIEMBROS ESTRUCTURALES DE ACERO CONFORMADO EN FRÍO (1996). Estados Unidos.
- ALQUIMODUL sac. (2015). VIVIENDAS PREFABRICADAS | ALQUIMODUL SAC – Construcción modular, módulos prefabricados y contenedores. Retrieved April 24, 2018, from <http://www.alquimodul-peru.com/noticias/viviendas-prefabricadas/>
- American designe construction. (2018). Casas con estructura de acero steel frame. Retrieved June 11, 2018, from <https://casasamericanas.jimdo.com/casas-estructura-de-acero-steel-frame/>
- Arciniega Arce, R. S. (2003). *Globalización, industria y reestructuración productiva. Convergencia. Revista de Ciencias Sociales* (Vol. 10). Universidad Autónoma del Estado de México. Retrieved from <http://www.redalyc.org/html/105/10503110/>
- Arias, A. G., & Malo, D. E. (2013). *Coordinación Modular Para La Vivienda Económica Con Elementos Prefabricados*. Universidad de Cuenca.
- Arquitectura de casas. (2018). Casas prefabricadas de concreto premoldeado. Retrieved June 11, 2018, from <http://www.arquitecturadecasas.info/casas-prefabricadas-de-concreto-premoldeado/>
- Arredondo Zambrano, C. E., & Reyes Bernal, E. (2013). *Manual de vivienda sustentable.pdf*. México D.F.: Editorial Trillas S.A.
- Asamblea Nacional, E. Ley orgánica de ordenamiento territorial, uso y gestión del suelo (2016). Ecuador. Retrieved from <http://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/08/Ley-Organica-de-Ordenamiento-Territorial-Uso-y-Gestion-de-Suelo1.pdf>
- Baca Urbina, G. (2001). *Evaluacion de Proyectos Gabriel Baca Urbina.pdf*. (McGraw-Hill, Ed.) (4ta ed.). México.
- Begoña González. (2013). Tipos de compras. Ventajas y desventajas. Retrieved May 30, 2018, from <https://begonagonzalezlejabarrieta.wordpress.com/2013/02/21/tipos-de-compras-ventajas-y-desventajas/>

- Bermejo, M., Santos, A. P., Goicolea, J. M., Pérez, A., & Pérez, A. (2015). Evaluación de acciones explosivas sobre estructuras de hormigón armado mediante elementos finitos. *Informes de La Construcción*, 67(539), e095. <https://doi.org/10.3989/ic.13.121>
- Candiracci, A., Lacayo, G., & Maltez, J. (2014). *Manual Técnico M2 EMMEDUE*. España: SUMINSA.
- CAPECO. (2003). *Costos y presupuestos en edificación*. Perú. Retrieved from https://civilyedaro.files.wordpress.com/2014/08/costos_y_presupuestos_en_edificacion_-_capeco_r.pdf
- Carigliano, S. (2015). ¿Qué es el Análisis Estructural? Retrieved April 23, 2018, from <https://skyciv.com/es/education/what-is-structural-analysis/>
- Carpio Rodríguez, E. (2016). *Modelo de una vivienda de bajo costo con uso de materiales termoacústico para la población de clase media en Machala*. Universidad Técnica de Machala. Retrieved from http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/7904/1/TTUAIC_2016_IC_CD0008.pdf
- Casa Mía. (2015). Casas Prefabricadas. Retrieved April 23, 2018, from <http://www.casamia.com.ec/single-project-2col.html>
- Casa Pronta. (2011). *MANUAL TÉCNICO DE CONSTRUCCIÓN Sistema Constructivo M2*. Bolivia.
- Concejo Metropolitano de Quito, Q. Ordenanza 3445 Normas de Arquitectura y Urbanismo (2003). Ecuador. Retrieved from http://www7.quito.gob.ec/mdmq_ordenanzas/Ordenanzas/ORDENANZAS AÑOS ANTERIORES/ORD-3457 - NORMAS DE ARQUITECTURA Y URBANISMO.pdf
- Del Águila, A. (1996). Sistemas constructivos industrializados. *Informes de La Construcción*, 48(c), 27–38. <https://doi.org/10.3989/ic.1996.v48.i446.983>
- Duarte Martínez, A. S. (2011). *Manual Práctico De Control De Costos En Obras Civiles , Aplicado a Construcción De Edificaciones* . Universidad Católica Andrés Bello, Venezuela. Retrieved from <http://biblioteca2.ucab.edu.ve/anexos/biblioteca/marc/texto/AAS0661.pdf>
- Ecoliving. (2018). Proyectos realizados - Smart Steel Framing Homes. Retrieved June 11, 2018, from <http://www.construccioncasasecuador.com/Proyectos-Realizados>
- Gutierrez Pulido, H. (2010). Calidad total y productividad.

<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

- Hormi2. (2001). *MANUAL PRÁCTICO DEL CONSTRUCTOR*. Ecuador.
- Hormypol. (2018). Viviendas Económicas. Retrieved April 23, 2018, from http://hormypol.com/precios-de-construccion-costos-materiales-prefabricados-hormigon-quito-guayaquil-cuenca-loja-ecuador.php?tablajb=precios_de_construccion&p=43&t=VIVIENDA-ECONOMICA-TIPO-FENIX-SRR-01---COSTOS--
- INEC. (2010). Resultados censo 2010. Retrieved April 23, 2018, from <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/resultados/>
- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, C. REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE (2010). Colombia.
- Ministerio de Desarrollo Urbano y de Vivienda, E. Acuerdo Ministerial N° 220 (2011). Ecuador. Retrieved from https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/11/acuerdo_ministerial_no._220_-_27-NOV-2013.pdf
- Ministerio de Desarrollo Urbano y de Vivienda, E. Cargas (no sísmicas) (2015). Ecuador.
- Ministerio de Desarrollo Urbano y de Vivienda, E. Peligro Sísmico: Diseño Sismo Resistente, Peligro Sísmico: Diseño Sismo Resistente § (2015). Ecuador. Retrieved from <http://www.indeci.gob.pe/proyecto58530/objetos/archivos/20110606102841.pdf>
- Ministerio de Desarrollo Urbano y de Vivienda, E. Lineamientos mínimos para registro y validación de tipologías de vivienda. (2018). Ecuador. Retrieved from <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/04/LINEAMIENTOS-MINIMOS-PARA-REGISTRO-Y-VALIDACION-DE-TIPOLOGIAS-DE-VIVIENDA.pdf>
- Modular Building Institute. (2018). Modular Building Institute. Retrieved May 30, 2018, from http://www.modular.org/HtmlPage.aspx?name=why_modular
- Modular Home. (2016). Cédula de habitabilidad. Retrieved April 24, 2018, from https://www.modularhome.es/cedula-de-habitabilidad/#El_concepto_de_habitabilidad
- Municipalidad de Cuenca, C. Ordenanza plan de ordenamiento territorial (2002). Ecuador.

- Nieto Cardenas, J. (2014). *Diseño de una vivienda de dos plantas con soluciones prefabricadas*. Universidad de Cuenca. Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/>
- Novas Cabrera, J. (2010). *Sistemas Constructivos Prefabricados Aplicables a La Construcción De Edificaciones En Países En Desarrollo*. Universidad Politécnica de Madrid. Retrieved from http://oa.upm.es/4514/1/TESIS_MASTER_JOEL_NOVAS_CABRERA.pdf
- Panelais Producciones. (2016). Construcción modular. Retrieved April 24, 2018, from <http://www.panelais.com/proyectos/construccion-Modular>
- Rivas, R. R. (2007). *Ergonomía en el diseño y la producción industrial*. Nobuko. Retrieved from <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=QBoGOgb2b5cC&oi=fnd&pg=PA9&dq=producción+industrial+definición&ots=xge0aP-dOL&sig=TLQDttQ41UpKQ7iWeAmjvMCGjXE#v=onepage&q=producción industrial definición&f=false>
- Rodríguez Reinoso, E. E. (2015). *ANÁLISIS Y DISEÑO COMPARATIVO ENTRE UNA TORRE AUTOSOPORTADA TRIANGULAR DE 40M DE ALTURA CON MONTANTES UV Y UNA CON MONTANTES CIRCULARES*. Universidad de Cuenca. Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/21262/1/Monografia.pdf>
- Sistemas de Información Ejecutiva. (2013). *Sistemas Constructivos. Apunte N°:1 - Conceptos Básicos*, 3. Retrieved from http://www.eis.unl.edu.ar/z/adjuntos/446/Apunte_N_1.pdf
- Terrados-Cepeda, F. J., Baco-Castro, L., Moreno-Rangel, D., & Moreno-Rangel, D. (2015). Vivienda prefabricada, sostenible, autosuficiente y energéticamente eficiente. Participación en la competición Solar Decathlon Europe 2012. *Informes de La Construcción*, 67(538), e088. <https://doi.org/10.3989/ic.13.138>
- Vizuite Víctor. (2014, August 12). La construcción informal es la de mayor vulnerabilidad. Retrieved from <http://www.elcomercio.com/actualidad/construccion-informal-vulnerabilidad-sismos-quito.html>