UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DISEÑO DE VIVIENDAS MODULARES PARA SITUACIONES DE EMERGENCIA EN GUAYAQUIL

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingeniero Civil

AUTOR: Josué Alexander Parra Ycaza

TUTOR: Ing. Leonardo Echeverria Fabre, DBA.

Guayaquil-Ecuador

2025

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Josué Alexander Parra Ycaza con documento de identificación N° 0925886947; manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 30 de Julio del año 2025

Atentamente,

Josué Alexander Parra Ycaza

0925886947

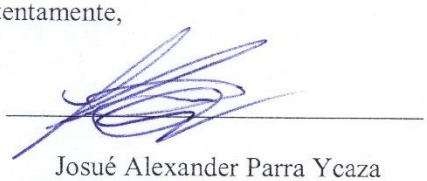
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Yo, Josué Alexander Parra Ycaza con documento de identificación N° 0925886947, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto Técnico: "Diseño de viviendas modulares para situaciones de emergencia en Guayaquil", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Civil, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 30 de Julio del año 2025

Atentamente,



Josué Alexander Parra Ycaza

0925886947

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Leonardo Javier Echeverría Fabre con documento de identificación N° 0902190883 docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: Diseño de viviendas modulares para situaciones de emergencia en Guayaquil, realizado por Josué Alexander Parra Ycaza con documento de identificación N° 0925886947, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 30 de Julio del año 2025

Atentamente,

Ing. Leonardo Javier Echeverría Fabre, DBA

0902190883

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a Jehová Dios por brindarme la fortaleza, la paciencia y la salud necesarias para completar esta etapa de mi vida académica. A mi familia, por su constante apoyo, confianza y amor incondicional. Su ejemplo y sacrificio han sido el motor que me ha impulsado a seguir adelante, incluso en los momentos más difíciles. A mis amigos, por estar presentes a lo largo de este camino, por sus palabras de aliento, su compañía sincera y por ser un soporte invaluable tanto en los momentos de estudio como en los de descanso. Gracias por ayudarme a mantener el equilibrio y recordarme que este proceso también se disfruta. A mis profesores, quienes a lo largo de la carrera me brindaron no solo conocimientos, sino también valores y una perspectiva crítica y ética de la profesión. Y a mis compañeros de universidad, con quienes compartí aprendizajes, desafíos y momentos que recordaré con gratitud.

Agradezco sinceramente al ingeniero Leonardo Echeverría Fabre, DBA, por su guía como tutor de este trabajo. Su compromiso, disposición y experiencia fueron fundamentales para la correcta dirección y culminación de esta tesis

Cada uno, desde su lugar, ha contribuido a que hoy este logro sea posible.

Josué Alexander Parra Ycaza

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia, pilar fundamental en mi vida. A mis padres, por su amor, sacrificio y por enseñarme que la constancia y la disciplina son la base de cualquier meta alcanzada. A mis seres queridos que, de una u otra forma, me han acompañado en este proceso, animándome a no rendirme y a confiar en mis capacidades. A mis amigos más cercanos, por su apoyo incondicional, por compartir conmigo alegrías, desvelos, desafíos, y por ayudarme a mantenerme firme cuando el camino se volvió difícil. Dedico también esta tesis a todos aquellos que creen en la educación como un medio para transformar vidas, y que me han inspirado a seguir adelante con pasión por lo que hago.

Este logro es para ustedes.

Josué Alexander Parra Ycaza

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I **1**

1.1 Problema de estudio **1**

1.2 Justificación **2**

1.3 Objetivo general **3**

1.4 Objetivos específicos **3**

1.5 Hipótesis **4**

CAPÍTULO II **5**

Marco Teórico **5**

2.1 Antecedentes históricos **5**

2.2 Introducción a la vivienda de emergencia **5**

2.3 Tipología de viviendas modulares **7**

2.4 Clasificación arquitectónica de las viviendas modulares **7**

2.5 Situaciones de emergencia en Guayaquil **8**

2.6 Análisis de riesgos naturales y vulnerabilidad territorial **8**

2.7 Criterios de diseño de viviendas de emergencia **9**

2.8 Materiales utilizados en viviendas modulares **9**

2.9 Materiales prefabricados **10**

2.10 Tecnologías de fabricación digital aplicadas al diseño modular **11**

2.11 Comparativa de sistemas modulares utilizados en América Latina **12**

2.12 Ejemplos de implementación a nivel internacional **12**

2.13 Análisis del contexto urbano de Guayaquil **13**

2.14 Aplicación al contexto de Guayaquil **14**

2.15 Logística y cadena de suministro para viviendas modulares 14

2.16 Ventajas y desventajas de las viviendas modulares en contextos de emergencia 14

2.17 Componentes funcionales de una vivienda de emergencia 15

2.18 Integración de servicios básicos a la vivienda temporal 16

2.19 Indicadores de calidad para viviendas modulares temporales.....16

2.20 Participación comunitaria y diseño participativo.....17

2.21 Factores sociales y culturales en el diseño del hábitat temporal 17

2.22 Cultura local y diseño habitacional contextualizado 18

2.23 Impacto psicológico del hábitat temporal 18

2.24 Perspectiva de género y derechos humanos 19

2.25 Diseño modular y construcción industrializada.....19

2.26 Normativas y estándares aplicables.....21

2.27 Marco legal ecuatoriano para la construcción temporal y emergencia 23

2.28 Enfoque sostenible en la vivienda modular.....23

2.29 Estrategias bioclimáticas y eficiencia energética 24

2.30 Evaluación del ciclo de vida (LCA) en viviendas modulares.....25

2.31 Sostenibilidad y economía circular en el diseño modular.....25

2.32 Financiamiento y modelos económicos para soluciones modulares 26

2.33 Rol de la academia y la innovación en la gestión del hábitat post-emergencia.....26

2.34 Rol del ingeniero civil en el diseño y ejecución de viviendas modulares.....27

2.35 Ética profesional en el diseño post-desastre.....27

2.36 Modelo de implementación en fases 28

2.37 Integración de la vivienda modular al planeamiento urbano.....28

2.38 Urbanismo táctico como herramienta de adaptación modular 29

2.39 Dimensión educativa y comunitaria en la vivienda temporal 29

2.40 Perspectiva de resiliencia urbana 30

2.41 Modelos de reasentamiento progresivo post-emergencia 30

2.42 Modelado y simulación estructural 31

CAPÍTULO III 33

Marco Metodológico 33

3.1 Tipo de estudio 33

3.2 Enfoque metodológico 33

3.3 Técnicas e instrumentos 33

3.4 Procedimiento metodológico 34

3.5 Limitaciones 35

CAPITULO IV 36

Desarrollo técnico del proyecto 36

4.1 Propuesta del modelo de vivienda modular 36

4.1.1 Ubicación y justificación del proyecto 36

4.1.2 Diseño del modelo de la vivienda modular 36

4.1.3 Materiales y sistema constructivo general 38

4.2 Diseño estructural 39

4.2.1 Descripción del sistema estructural 39

4.2.2 Modelado estructural 40

4.2.3 Resultados del análisis estructural 41

4.3 Análisis de cargas 41

4.3.1 Cargas consideradas 41

4.3.2 Distribución de cargas 42

4.3.3 Combinaciones de carga 43

4.4 Modelado estructural 43

4.4.1 Configuración inicial del modelo 43

4.4.2 Definición de elementos estructurales 44

4.4.3 Asignación de cargas 44

4.4.4 Restricciones y condiciones de frontera 45

4.4.5 Mallado 45

4.4.6 Verificación del modelo 45

4.5 Análisis de resultados 46

4.5.1 Desplazamientos 46

4.5.2 Esfuerzos internos 47

4.5.3 Factores de utilización. 47

4.5.4 Verificación de estabilidad 48

4.5.5 Conclusión del análisis estructural 48

4.6 Consideraciones constructivas y recomendaciones 48

4.6.1 Ensamblaje en sitio 48

4.6.2 Anclaje al terreno 49

4.6.3 Compatibilidad con paneles SIP 49

4.6.4 Transporte y reubicación 49

4.6.5 Protección y mantenimiento 50

4.6.6 Sostenibilidad y adaptabilidad 50

4.7 Resultados gráficos del análisis estructural 50

4.8 Comparativa de soluciones de vivienda de emergencia 76

CONCLUSIONES 78

RECOMENDACIONES 79

CRONOGRAMA DEL PLAN DE TRABAJO 81

PRESUPUESTO 82

ANEXOS 88

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Módulos de vivienda de emergencia. 19

Ilustración 2: Planta arquitectónica y distribución interior 37

Ilustración 3: Elevación frontal de la vivienda modular 38

Ilustración 4: Desplazamientos.....46

Ilustración 5: Diagrama de momentos flectores en el eje Y.....51

Ilustración 6: Diagrama de momentos flectores en el eje X.....52

Ilustración 7: Diagrama de carga axial.....52

Ilustración 8: Diagrama de cortante en el eje X 53

Ilustración 9: Diagrama de cortante en el eje Y 53

Ilustración 10: Análisis de la columna central.....54

Ilustración 11: Análisis de la columna central.....55

Ilustración 12: Análisis de la columna de esquina.....55

Ilustración 13: Análisis del perfil T de cerchado 56

Ilustración 14: Análisis de vigas de techo 57

Ilustración 15: Análisis del larguero 57

Ilustración 16: Suelo 58

Ilustración 17: Cimentación 5.....59

Ilustración 18: Cargas sobre la cimentación.....59

Ilustración 19: Suelo 60

Ilustración 20: Nota de cálculo 1 61

Ilustración 21: Nota de cálculo 2 62

Ilustración 22: Nota de cálculo 3 62

Ilustración 23: Nota de cálculo 4 63
Ilustración 24: Nota de cálculo 5 63
Ilustración 25: Suelo 64
Ilustración 26: Cimentación 1.....65
Ilustración 27: Cargas.....65
Ilustración 28: Suelo 66
Ilustración 29: Nota de cálculo 1 67
Ilustración 30: Nota de cálculo 2 68
Ilustración 31: Nota de cálculo 2 68
Ilustración 32: Nota de cálculo 3 69
Ilustración 33: Suelo 70
Ilustración 34: Cimentación 4.....71
Ilustración 35: Cargas.....71
Ilustración 36: Suelo 72
Ilustración 37: Nota de cálculo 1 73
Ilustración 38: Nota de cálculo 2 74
Ilustración 39: Nota de cálculo 3 74
Ilustración 40: Nota de cálculo 4 75
Ilustración 41: Nota de cálculo 5 75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Comparativa de sistemas modulares utilizados en América Latina 12

Tabla 2: Indicadores de calidad para viviendas modulares 16

Tabla 3: Sistema constructivo general de la vivienda modular 38

Tabla 4: Carga muerta estimada por componente estructural de la vivienda modular 42

Tabla 5: Carga viva considerada según uso del espacio habitable 42

Tabla 6: Comparativa técnica y funcional de sistemas habitacionales temporales 76

Tabla 7: Cronograma 81

Tabla 8: Presupuesto 82

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene como finalidad diseñar una propuesta de vivienda modular orientada a atender situaciones de emergencia habitacional en la ciudad de Guayaquil, con base en criterios técnicos, estructurales y normativos vigentes en el Ecuador. La necesidad de soluciones habitacionales temporales, eficientes y sostenibles se vuelve prioritaria en contextos de desastre natural, desplazamiento forzado o vulnerabilidad social. En este sentido, se plantea una alternativa constructiva que permita una rápida implementación, adecuada resistencia estructural y posibilidad de reubicación, sin comprometer la habitabilidad y durabilidad.

La metodología empleada comprende el levantamiento de información sobre normativas de diseño, condiciones climáticas y sociales del entorno, selección de materiales disponibles localmente y modelado estructural con el software Autodesk Robot Structural Analysis Professional. La vivienda propuesta posee una superficie de 40.95 m² y está compuesta por perfiles metálicos HEB e IPE, paneles tipo SIP para cerramiento y losa, y un sistema de uniones atornilladas que facilita su ensamblaje, desmontaje y transporte. El análisis estructural verificó el cumplimiento de los requisitos de estabilidad y resistencia mediante combinaciones de carga críticas, obteniéndose desplazamientos menores a 1.2 mm y esfuerzos internos dentro del rango elástico, con factores de utilización inferiores al 60 %.

Adicionalmente, se realizó una comparación técnica con otras soluciones de vivienda de emergencia ofrecidas por entidades como MIDUVI y TECHO, lo que permitió validar la propuesta como una solución intermedia en términos de costo y superior en términos de adaptabilidad, durabilidad y eficiencia estructural. La propuesta presentada constituye un aporte

técnico viable para enfrentar situaciones de emergencia, adaptable a distintos contextos y con potencial de réplica a mayor escala.

Palabras clave: vivienda modular, emergencia habitacional, análisis estructural, diseño rápido, Guayaquil.

ABSTRACT

This research project aims to design a modular housing proposal intended to address emergency shelter needs in the city of Guayaquil, based on technical, structural, and regulatory criteria established by Ecuadorian standards. The demand for temporary, efficient, and sustainable housing solutions becomes critical in contexts of natural disasters, forced displacement, or social vulnerability. Therefore, this study proposes a constructive alternative capable of rapid deployment, structural resistance, and relocation capacity, without compromising habitability or long-term durability.

The methodology involved the review of design regulations, local climate and social conditions, selection of available materials, and structural modeling using Autodesk Robot Structural Analysis Professional. The proposed housing unit has an area of 40.95 m^2 and is composed of HEB and IPE steel profiles, SIP panels for walls and slab, and a system of bolted joints that enables quick assembly, disassembly, and transport. Structural analysis verified the compliance with strength and stability requirements under critical load combinations, resulting in vertical displacements under 1.2 mm and internal forces within the elastic range, with utilization factors below 60%.

Additionally, a technical comparison was made with existing emergency housing solutions provided by organizations such as MIDUVI and TECHO. The proposed model demonstrated intermediate costs but superior performance in terms of durability, adaptability, and structural efficiency. This project constitutes a viable and technically sound alternative for emergency shelter implementation, adaptable to different scenarios and scalable for broader application.

Keywords: modular housing, emergency shelter, structural analysis, rapid construction, Guayaquil.

CAPÍTULO I

1.1 Problema de estudio

La vivienda de emergencia que generalmente se adopta en escenarios post-desastre carece en muchos aspectos técnicos y sociales. Estos edificios tienden a tener características estructurales deficientes, baja resistencia a eventualidades como terremotos o inclemencias del tiempo, y poca durabilidad a largo plazo. Su limitado desempeño ambiental y falta de adaptación a las diversas condiciones geográficas y climáticas donde se introducen es el factor que más socava la funcionalidad y aceptación de tales estructuras. Esto genera una mala calidad de vida ya que el territorio impacta la psique y el alma; las personas, escapando de lo físico, psicológico y social, llevan vidas en construcción: construidas para días, semanas, meses, no años. Guayaquil tiene muchas áreas vulnerables expuestas a eventos naturales como inundaciones y terremotos. Las soluciones de refugio proporcionadas en post emergencia a menudo no tienen suficientes parámetros técnicos, resultando en refugios con bajo nivel de resistencia, baja durabilidad y baja aceptación social. Por lo tanto, hay una demanda en diseñar alternativas modulares a la vivienda que respondan a la situación local de Guayaquil. Estos refugios necesitan ser simples de construir, seguros, sostenibles y culturalmente aceptables para una rápida respuesta urbana ante desastres. Esta necesidad se aborda en esta investigación desarrollando diseños de viviendas modulares sostenibles y resistentes a terremotos que se puedan realizar rápidamente, de manera versátil y de forma repetible, para una variedad de situaciones de emergencia. Por lo tanto, se espera que esta contribución ayude a cambiar el paradigma existente hacia soluciones más robustas, seguras y centradas en el ser humano.

1.2 Justificación

Guayaquil es un centro urbano que es repetidamente azotado por peligros naturales y con sectores de comunidades ciudadanas cuyas viviendas son vulnerables. Como resultado, el uso de un sistema de viviendas modulares tiene el potencial de ser un beneficio sustancial en términos de menor riesgo post-desastre y mayor capacidad de respuesta institucional.

Desde un punto de vista académico y profesional, el estudio añade conocimiento en ingeniería civil con referencia particular a estructuras y diseño sísmico, investigando la respuesta dinámica de sistemas modulares y su cumplimiento con el (NEC-SE-DS, 2015). También proporciona orientación técnica para futuras políticas públicas y programas de reconstrucción sostenible. Además, ayuda a reducir el impacto ambiental de la industria de la construcción, teniendo en cuenta consideraciones ambientales para el diseño y selección de materiales, y fomentando modelos de construcción más responsables y resilientes. En conjunto, esta investigación no solo sugiere un avance material en la generación de viviendas de emergencia, sino que también aborda una demanda social, ambiental y económica que exige soluciones holísticas, flexibles y sostenibles.

1.3 Objetivo general

Diseñar una vivienda modular para situaciones de emergencia, priorizando resistencia estructural, rapidez de instalación y sostenibilidad.

1.4 Objetivos específicos

- Identificar los criterios técnicos, estructurales y normativos para el diseño de viviendas modulares de emergencia.
- Diseñar una propuesta de vivienda modular adaptable a situaciones de emergencia en Guayaquil, que responda a criterios de sostenibilidad, rapidez constructiva y adecuación al contexto urbano y social.
- Modelar y simular estructuralmente una propuesta de vivienda modular usando software especializado.

1.5 Hipótesis

La innovación proporciona a Guayaquil un hogar de emergencia modular que es técnicamente viable, estructuralmente seguro, ambientalmente sostenible y que puede adaptarse a una variedad de estilos de vida sociales, y contribuye a resolver el problema de vivienda de los grupos sociales más vulnerables para enfrentar catástrofes naturales (terremotos, inundaciones). Combinando esto con requisitos como velocidad constructiva, resistencia a terremotos, durabilidad, transporte y facilidad de montaje, este tipo de apoyo puede resolver las debilidades de las soluciones actualmente ofrecidas en situaciones post-desastre, basadas en poca resistencia, casi ninguna funcionalidad y baja adaptación al contexto urbano y climático.

Se propone que, utilizando los principios del diseño modular y la elección de materiales livianos y prefabricados apropiados, se pueda desarrollar una propuesta de vivienda que se adapte a diferentes escenarios familiares y territoriales. Este producto sería más duradero que las soluciones temporales tradicionales. Esta idea se basa en la creencia de que, aunque el propósito de las viviendas de emergencia es ser refugios temporales y una respuesta urgente para la protección de la vida y la dignidad humana, debe garantizar las condiciones mínimas de seguridad, dignidad, higiene y habitabilidad extendidas a lo largo de su proceso de uso.

CAPÍTULO II

Marco Teórico

2.1 Antecedentes históricos

El concepto de vivienda modular tiene raíces que se remontan al siglo XIX, cuando se diseñaron estructuras prefabricadas para colonos en Australia y África. Sin embargo, su aplicación como respuesta a emergencias se consolidó en el siglo XX, especialmente después de conflictos bélicos y desastres naturales.

Un ejemplo notable es la reconstrucción de Europa tras la Segunda Guerra Mundial, donde se implementaron sistemas modulares para reubicar a millones de personas. En América Latina, este concepto se fortaleció después de terremotos significativos como el de México en 1985 y el de Chile en 2010.

En Ecuador, tras el terremoto del 16 de abril de 2016 en Manabí y Esmeraldas, el gobierno implementó soluciones modulares temporales denominadas "Soluciones Habitacionales Provisionales" (SHP), aunque estas enfrentaron críticas por la baja calidad de los materiales y su escasa adaptabilidad al clima tropical (Pérez & Jiménez, 2017).

2.2 Introducción a la vivienda de emergencia

Las viviendas de emergencia surgen como una respuesta humanitaria inicial a las crisis inducidas por eventos catastróficos, que de otro modo se conocen como desastres. Estas instalaciones, típicamente temporales, están destinadas a ofrecer un lugar seguro para dormir, escapar del clima y vivir con cierto sentido de dignidad mientras se abordan mejores remedios a largo plazo. De acuerdo con él (Project Sphere, 2011), las viviendas de emergencia deben

satisfacer una serie de criterios fundamentales, entre ellos la garantía de dignidad humana, la protección física y la seguridad de las personas afectadas. Con el tiempo, la concepción de estas viviendas ha evolucionado, si bien en un inicio se recurría a estructuras improvisadas como carpas o refugios de lona, actualmente se promueve el uso de tecnologías apropiadas, sistemas modulares, y enfoques basados en normas internacionales que combinan criterios técnicos, humanitarios y de sostenibilidad (Project Sphere, 2011).

La Federación Internacional de la Cruz Roja (Informe mundial sobre desastres 2018, 2021) señala que muchos de los refugios erigidos no alcanzaron un estándar humanitario mínimo, resultando en enfermedades transmisibles elevadas, así como en un deterioro de la salud psicológica entre los grupos objetivo. A través de esta experiencia, hay una nueva realización de la necesidad de enfoques más integrados, que no solo consideren el refugio como una entidad física, sino como parte de un sistema social y urbano más amplio (Informe mundial sobre desastres 2018, 2021).

La Oficina de Coordinación de Asuntos Humanitarios de las Naciones Unidas (OCHA Annual Report, 2018) señala que uno de los mayores desafíos en contextos post-desastre es la falta de coordinación entre los actores involucrados en la reconstrucción y el desconocimiento del riesgo sísmico por parte de los equipos técnicos y decisores políticos. En este sentido, OCHA destaca la importancia de desarrollar estrategias que integren el análisis de riesgos naturales, la planificación urbana participativa y el uso de tecnologías apropiadas para lograr respuestas habitacionales más resilientes. La incorporación de sistemas constructivos innovadores y adaptables al contexto local no solo puede mejorar la seguridad estructural de las viviendas de emergencia, sino también facilitar su reutilización, mantenimiento y eventual transformación en

soluciones permanentes, promoviendo una reconstrucción sostenible y centrada en las necesidades reales de las comunidades afectadas (OCHA Annual Report, 2018).

Según el Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Refugiados (ACNUR, 2022), una vivienda de emergencia debe ser rápida de instalar, adaptable al entorno y a las condiciones climáticas, y construida con materiales de fácil transporte y montaje.

2.3 Tipología de viviendas modulares

Las viviendas modulares son estructuras prefabricadas compuestas por módulos independientes que pueden ensamblarse de manera flexible. Su principal ventaja es la rapidez en la construcción y la capacidad de adaptarse a diferentes necesidades y contextos. Se dividen principalmente en:

- **Modulares temporales**: Diseñadas para eventos emergentes, de corta duración.
- **Modulares permanentes**: Aptas para ser adaptadas como vivienda definitiva.
- **Expandibles**: Que permiten el crecimiento progresivo.

2.4 Clasificación arquitectónica de las viviendas modulares

Las viviendas modulares no solo se dividen por temporalidad (permanente o temporal), sino también por su configuración técnica, según su sistema constructivo.

- **Panelizado**: Se basa en paneles prefabricados que se ensamblan in situ. Ej: Paneles SIP, placas de fibrocemento.
- **Volumétrico o 3D**: Módulos completos (tipo contenedor) que se transportan armados y solo requieren conexión de servicios.

- **Híbrido**: Combinación de sistemas panelizados y volumétricos, ideal para adaptar funciones diversas (dormitorio, cocina, baño).

2.5 Situaciones de emergencia en Guayaquil

Guayaquil, como ciudad costera y densamente poblada, es altamente vulnerable a eventos como inundaciones, deslizamientos, incendios estructurales y terremotos. Según la Secretaría de Gestión de Riesgos (Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, 2021), los sectores más expuestos son aquellos con alta densidad poblacional, infraestructura precaria y limitada planificación urbana.

Además, los efectos del cambio climático y fenómenos como El Niño intensifican la probabilidad de desastres naturales en zonas bajas y asentamientos informales (Cruz, 2020).

2.6 Análisis de riesgos naturales y vulnerabilidad territorial

La localización de viviendas de emergencia debe considerar los mapas de amenaza natural del Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias (Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, 2021). Las principales amenazas en Guayaquil son:

- Inundaciones por crecidas del río Guayas y lluvias intensas.
- Sismos debido a la interacción de placas tectónicas.
- Deslizamientos en zonas de ladera, como Monte Sinaí o El Fortín.

El uso de herramientas SIG (Sistemas de Información Geográfica) permite identificar áreas seguras y planificar respuestas efectivas (Ministerio de desarrollo urbano y vivienda [MIDUVI], 2023).

2.7 Criterios de diseño de viviendas de emergencia

El diseño de viviendas modulares para emergencia debe cumplir con ciertos criterios fundamentales:

Rapidez de construcción

La estructura debe poder ser armada en cuestión de horas o días. Los sistemas de unión, anclaje y montaje deben ser simples, sin necesidad de maquinaria pesada (UN-Habitat, 2018).

Transporte y logística

Los materiales deben ser livianos, apilables y de fácil transporte. Los módulos deben ajustarse a contenedores o camiones estándar (Ballesteros & Vera, 2022).

Sostenibilidad

Es ideal que las soluciones incorporen materiales reciclables o de bajo impacto ambiental, así como fuentes de energía limpia cuando sea posible (González & Jofré, 2019).

Habitabilidad

Debe asegurarse una ventilación adecuada, iluminación natural, aislamiento térmico e impermeabilización. Asimismo, se requiere garantizar la privacidad y seguridad (Sphere Project, 2011).

2.8 Materiales utilizados en viviendas modulares

Entre los materiales más usados para viviendas modulares de emergencia se encuentran:

- **Madera contrachapada tratada**: Liviana y de bajo costo.
- **Paneles SIP (Structural Insulated Panels)**: Alta eficiencia térmica.
- **Plásticos reciclados y polímeros resistentes**: Ligeros e impermeables.
- **Acero galvanizado**: Resistente a la corrosión y con alta durabilidad.

- **Bambú estructural**: Material renovable de rápido crecimiento con buena resistencia sísmica (Torres, Paredes, & Ávila, 2021).

2.9 Materiales prefabricados

Hay un elemento de prefabricación involucrado en la construcción modular que juega un papel importante, particularmente en viviendas temporales, dada su rápida construcción, su facilidad de transporte, su facilidad de montaje y el control de calidad que se puede realizar en entornos industrializados. La fabricación se lleva a cabo en un entorno controlado de la fábrica, reduciendo las posibilidades de error mientras se logra un aumento en la calidad, un mejor uso de los materiales y un rendimiento estructural mejorado. Los materiales elegidos también deben desempeñarse técnicamente y estar adaptados a la disponibilidad específica ambiental, cultural y contextual.

Entre los materiales más comúnmente empleados en sistemas modulares se encuentran:

- Madera tratada: Se utiliza mucho en proyectos modulares, y por una buena razón: es ligera, fácil de trabajar y fácil de manejar. Particularmente, es adecuada para estructuras portantes ligeras y cerramientos. No obstante, la Norma (INEN, 2017), estipula que la madera debe someterse a tratamientos químicos contra la humedad, el ataque xilófago y la propagación del fuego, que son características fundamentales en áreas tropicales o lluviosas. El hecho de que se vea bien y pueda mantenerse con limpiezas y protección la hace una opción no tan mala.
- Fibrocemento: Conocido por su resistencia a la humedad, al fuego y al movimiento térmico, el fibrocemento se utiliza con gran eficacia en cerramientos exteriores, revestimientos e incluso techos. Se puede cortar y fijar relativamente fácil, siendo ligero y

permitiendo un montaje ágil, clave en situaciones de emergencia. También es altamente efectivo contra peligros biológicos y su ciclo de vida es largo y no necesita mantenimiento.

- Estructuras metálicas ligeras: Generalmente están hechas con perfiles de acero galvanizado y permiten una alta resistencia mecánica con un bajo peso, lo que facilita el transporte y montaje de la unidad, especialmente en zonas de difícil acceso. Su ductilidad y resistencia sísmica son las principales razones para su aplicación en regiones sísmicamente sensibles. La galvanización inhibe la corrosión y extiende la vida útil del sistema estructural, incluso en condiciones húmedas y salinas (INEN, 2017).

Más allá de los materiales convencionales, organismos internacionales como (Principios de vivienda sostenible, 2020) enfatizan la necesidad de priorizar el uso de materiales locales, reciclables y de bajo impacto ambiental, con el fin de asegurar la sostenibilidad de los proyectos habitacionales. Esta sostenibilidad no solo se relaciona con el origen del material, sino también con su durabilidad, facilidad de mantenimiento, posibilidades de reutilización o reciclaje, y su disposición final al término de la vida útil de la vivienda.

2.10 Tecnologías de fabricación digital aplicadas al diseño modular

El avance de la fabricación digital permite el desarrollo de viviendas modulares más eficientes, accesibles y sostenibles. Algunas tecnologías relevantes incluyen:

- **Corte CNC**: para paneles estructurales precisos en madera, polímeros o acero.
- **Impresión 3D** de componentes no estructurales o mobiliario.
- **Modelado paramétrico**: diseños adaptables a distintas configuraciones y necesidades.
- **Prototipado rápido** para validación de módulos antes de su fabricación a gran escala.

Estas herramientas permiten reducir desperdicio, optimizar recursos y responder rápidamente ante catástrofes.

2.11 Comparativa de sistemas modulares utilizados en América Latina

Tabla 1: Comparativa de sistemas modulares utilizados en América Latina

País	Proyecto	Materiales Principales	Tiempo de Montaje	Costo Aproximado	Observaciones
Chile	Vivienda de emergencia MINVU (2010)	Madera + zinc	2-3 días	USD 1,500	Diseño básico; fácil de ampliar.
Perú	Sumaq Wasi (post-terremoto 2007)	Panel SIP + estructura metálica	1 día	USD 1,800	Alta aislación térmica.
Colombia	Viviendas modulares para desplazados	Contenedor + acero	2 días	USD 2,000	Reutilización de contenedores marítimos.
Ecuador	SHP Manabí (2016)	Madera + OSB	3 días	USD 1,200	Alta vulnerabilidad a humedad.
México	Vivienda temporal ReAcciona	Madera + policarbonato	1 día	USD 1,400	Modularidad y diseño participativo.

Fuente: Elaboración propia con base en (Pérez & Jiménez, 2017); (Ballesteros & Vera, 2022); (Torres, Paredes, & Ávila, 2021)

2.12 Ejemplos de implementación a nivel internacional

Existen múltiples casos exitosos de viviendas modulares aplicadas en contextos de emergencia, como:

- **ShelterBox (Reino Unido)**: Kits modulares listos para transporte aéreo (ShelterBox).
- **Better Shelter (ACNUR + IKEA Foundation)**: Viviendas desmontables para zonas de conflicto (Better shelter).
- **Casas modulares en Chile post-terremoto (2010)**: Diseñadas para 5 años de uso, con opción de ampliación.

Estos modelos han demostrado eficacia en minimizar la exposición de las poblaciones vulnerables y acelerar los procesos de rehabilitación post-desastre.

2.13 Análisis del contexto urbano de Guayaquil

Guayaquil, la ciudad más poblada del Ecuador, presenta una dinámica urbana compleja caracterizada por:

- Rápida expansión urbana informal.
- Altos índices de pobreza y déficit habitacional.
- Exposición a riesgos naturales: inundaciones, terremotos y deslizamientos.

Según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT, 2019) del Municipio de Guayaquil (GAD Municipal de Guayaquil, 2023), el 38 % del suelo urbano está ocupado por asentamientos irregulares con deficiente acceso a servicios básicos. Esto genera una alta vulnerabilidad estructural y social, condiciones críticas ante situaciones de emergencia.

La localización de las viviendas modulares debe considerar zonas seguras y accesibles, cercanas a redes de agua potable, electricidad, centros de salud y escuelas, respetando el Plan de Uso y Gestión del Suelo local.

2.14 Aplicación al contexto de Guayaquil

El uso de viviendas modulares en Guayaquil debe responder a:

- Altas temperaturas y humedad relativa.
- Inestabilidad de suelos en zonas marginales.
- Requiere sistemas de drenaje y ventilación efectivos.
- Necesidad de rápida respuesta post-inundación, incendio o terremoto.
- Posibilidad de ser instaladas en terrenos públicos, escuelas o canchas abiertas.

La identificación previa de zonas seguras y la capacitación comunitaria también son fundamentales para su éxito.

2.15 Logística y cadena de suministro para viviendas modulares

El éxito en la implementación de viviendas modulares depende en gran medida de la logística y de una cadena de suministro eficiente:

- Fabricación local o regional para reducir tiempos de entrega.
- Transporte modularizado por camión o contenedor.
- Montaje rápido sin requerir maquinaria pesada.
- Mantenimiento programado para garantizar la durabilidad.

En zonas como Guayaquil, con infraestructura vial en zonas de riesgo limitada, se deben considerar rutas seguras y soluciones modulares de bajo volumen o peso por componente.

2.16 Ventajas y desventajas de las viviendas modulares en contextos de emergencia

Ventajas:

- **Rapidez de respuesta**: Ideal para reducir tiempo de exposición de las víctimas.

- **Facilidad logística**: Se pueden transportar a zonas de difícil acceso.
- **Reducción de residuos**: Menor desperdicio en comparación con construcción tradicional.
- **Adaptabilidad cultural y climática**: Pueden personalizarse según necesidades locales.
- **Sostenibilidad**: Uso de materiales reciclables o naturales como el bambú.

Desventajas:

- **Percepción de baja calidad**: Algunas comunidades las ven como viviendas "precarias".
- **Vida útil limitada**: En muchos casos se diseñan para 2-5 años.
- **Falta de integración urbana**: Suelen ubicarse en zonas marginales sin infraestructura.
- **Mantenimiento difícil**: Algunos materiales requieren revisiones periódicas.

2.17 Componentes funcionales de una vivienda de emergencia

Una vivienda modular para situaciones de emergencia debe incluir los siguientes componentes básicos:

- **Estructura portante**: Marco resistente (acero, madera, aluminio).
- **Envolvente térmica**: Aislamiento térmico y acústico (lana mineral, poliuretano, EPS).
- **Cubierta e impermeabilización**: Techo inclinado, canaletas, lonas impermeables.
- **Revestimientos internos**: Materiales higiénicos y fáciles de limpiar.
- **Ventilación e iluminación natural**: A través de ventanas, aleros, celosías.
- **Servicios básicos**: Incluye instalaciones eléctricas, agua potable, baños secos o biodigestores cuando sea posible.

De acuerdo con UNHCR (UNHCR, 2020), una vivienda debe ofrecer al menos 3.5 m² por persona para garantizar condiciones de salubridad y privacidad.

2.18 Integración de servicios básicos a la vivienda temporal

Una vivienda modular no es suficiente si no está conectada o provista con:

- Sistemas autónomos de agua potable (tanques elevados, filtros de cerámica).
- Baños secos o biodigestores (donde no hay alcantarillado).
- Energía solar fotovoltaica para iluminación básica.
- Recolección de aguas lluvias para uso no potable.

Estos sistemas deben diseñarse considerando el uso temporal, bajo costo y facilidad de mantenimiento.

2.19 Indicadores de calidad para viviendas modulares temporales

La evaluación de la calidad de estas soluciones puede realizarse mediante indicadores multidimensionales, tales como:

Tabla 2: Indicadores de calidad para viviendas modulares

Dimensión	Indicador clave
Técnica	Resistencia estructural mínima, aislamiento térmico
Funcional	Superficie útil por persona (>3.5 m² por habitante)
Social	Participación en el diseño y adecuación cultural
Sanitaria	Acceso a agua, baño y ventilación natural
Ambiental	Uso de materiales reciclables o biodegradables
Económica	Costo por unidad inferior al promedio regional

Fuente: Elaboración propia basado en (Sphere Project, 2011)

Normas como las del Sphere Project (Sphere Project, 2011) ofrecen criterios mínimos internacionales para alojamientos temporales en emergencias humanitarias.

2.20 Participación comunitaria y diseño participativo

> Los procesos de diseño participativo son claves para el éxito de estas soluciones. Según UN-Habitat (Principios de vivienda sostenible, 2020), cuando las comunidades participan en el diseño y construcción de sus viviendas, la apropiación del espacio es mayor, se fortalece el tejido social y se reducen actos vandálicos.

En zonas como Guayaquil, donde existe una cultura comunitaria fuerte y redes de apoyo vecinal, el diseño debe permitir cierta flexibilidad para personalizar la vivienda, incorporar áreas sociales o extender el módulo con el tiempo.

2.21 Factores sociales y culturales en el diseño del hábitat temporal

Los factores culturales influyen en la aceptación y el uso de la vivienda:

- **Configuración familiar**: Algunas familias en Guayaquil superan las 5 personas, lo que requiere viviendas escalables.
- **Uso del espacio exterior**: Importancia de patios y áreas sociales.
- **Prácticas alimenticias**: Necesidad de incorporar cocina o al menos espacio para estufa portátil.
- **Normas de género y privacidad**: Requiere espacios diferenciados para hombres, mujeres y niños.

Diseños culturalmente sensibles aumentan la apropiación del espacio y reducen el rechazo a las viviendas modulares (Principios de vivienda sostenible, 2020).

2.22 Cultura local y diseño habitacional contextualizado

Una vivienda adecuada debe respetar las costumbres, hábitos y estructuras familiares locales. En zonas urbanas de Guayaquil es común encontrar:

- Familias extensas multigeneracionales.
- Uso intensivo del espacio exterior (patio, vereda).
- Costumbres de cocina al aire libre.
- Necesidad de sombra y circulación del aire.

Por eso, un diseño modular exitoso debe permitir cierta flexibilidad distributiva y facilitar la autoconstrucción o ampliación posterior, sin perder la seguridad estructural ni la lógica del ensamblaje.

Esto implica considerar módulos expandibles y configurables en "L", "U" o en bloque lineal, con núcleos sanitarios que puedan compartirse entre dos familias.

2.23 Impacto psicológico del hábitat temporal

Más allá de lo técnico, la psicología del espacio es fundamental:

- Espacios hacinados, sin privacidad ni identidad generan estrés, ansiedad y trastornos conductuales.
- El diseño debe permitir la personalización, contacto con el exterior, iluminación natural y sensación de control sobre el espacio.
- Estudios de la Cruz Roja señalan que las familias que viven más de 6 meses en albergues inadecuados sufren deterioro en la salud mental (IFRC, 2020).

Por tanto, una vivienda modular digna, aún temporal, contribuye a la recuperación emocional de las familias afectadas.

2.24 Perspectiva de género y derechos humanos

La vivienda, incluso en emergencia, debe garantizar derechos fundamentales como:

- Privacidad y seguridad para mujeres y niñas.
- Accesibilidad para personas con discapacidad.
- Protección frente a violencia de género.
- Igualdad de acceso a la vivienda y a los recursos.

Por ello, el diseño debe incluir espacios diferenciados, iluminación exterior adecuada, y condiciones sanitarias dignas, tal como recomiendan UN-Women (UN-Women, 2020) y ACNUR (ACNUR, 2022).

2.25 Diseño modular y construcción industrializada

Ilustración 1: Módulos de vivienda de emergencia.

Fuente: Herocont (2025)

En la construcción modular, los bloques de construcción se forman en una fábrica y luego se transportan a un sitio para apilar. Su precisión, incluyendo garantías en la relajación de rango formulada, permite una planificación más predecible, una ejecución más rápida y una utilización de recursos más eficiente. Como señalan Lawson, Ogden y Goodier (Lawson, Ogden, & Goodier, 2014), esta aplicación de módulos repetibles hace un caso más fuerte para el diseño estandarizado, simplificando la producción, el transporte y el ensamblaje, así como haciendo posibles sistemas de control de calidad más rígidos efectivamente desde el comienzo de la cadena de producción. Además, al maximizar el trabajo fuera del sitio, se puede minimizar el desperdicio de materiales y utilizar la mano de obra de manera más eficiente. Este modularidad está estrechamente entrelazado con la construcción industrializada, que crea un cierto modelo de procesos de producción industrial ordinarios, como el proceso de producción en línea, por ejemplo, automatización, o mejora incremental de procesos, y lo aplica en la industria de la construcción. Como resultado, se puede realizar una construcción más sostenible y segura, con menos daño ambiental, dado que el trabajo se lleva a cabo bajo condiciones controladas de fábrica que promueven la calidad y consistencia (Lawson, Ogden, & Goodier, 2014).

(Smith, 2010), en la misma línea, sugiere una lista de ventajas comparativas clave entre la construcción modular y la construcción tradicional. Una de las ventajas más pertinentes es una reducción del tiempo de construcción terminado en un 50%. Esto es crítico cuando se involucra urgencia, como en entornos post-desastre. Además, los tiempos de construcción se acortan, la eficiencia se mejora y los errores humanos se minimizan a través de ahorros en el trabajo de construcción, logística, etc. Por último, pero no menos importante, el diseño modular proporciona gran flexibilidad en la adaptación a requisitos climáticos, culturales y sociales específicos de soluciones de vivienda sin perjudicar la eficiencia o calidad de la misma manera

que la construcción. La combinación de estas cualidades hace que el diseño modular sea una solución muy atractiva para la vivienda de emergencia, donde a menudo se necesita una respuesta rápida, segura y flexible (Smith, 2010). En América Latina, varias entidades sociales, humanitarias y empresariales han optado por desarrollar viviendas utilizando construcción modular como solución para resolver la escasez de viviendas en sectores desfavorecidos de la población. De la organización, hay una experiencia que es particularmente relevante.

2.26 Normativas y estándares aplicables

Las construcciones ubicadas en zonas de alta sismicidad deben diseñarse cumpliendo estrictamente con normativas que garanticen un comportamiento estructural adecuado frente a eventos sísmicos de diversas magnitudes. En Ecuador, la normativa vigente que regula este aspecto es la Norma Ecuatoriana de la Construcción – Diseño Sismorresistente (NEC-SE-DS, 2015), la cual establece criterios técnicos fundamentales para la seguridad estructural de edificaciones, tanto permanentes como temporales. Esta norma contempla aspectos como la clasificación de suelos, zonificación sísmica, factores de riesgo, y niveles mínimos de desempeño estructural, estableciendo lineamientos específicos según el tipo de uso, ocupación y tipología estructural del edificio.

El cumplimiento riguroso de estas disposiciones adquiere especial importancia incluso en el caso de viviendas de emergencia o temporales, ya que, en muchos contextos, estas construcciones permanecen en uso por periodos prolongados que pueden superar los cinco o incluso diez años, lo cual exige que su comportamiento estructural no sea precario ni improvisado. Según la (NEC-SE-DS, 2015), todas las edificaciones deben diseñarse considerando las cargas gravitacionales (peso propio y cargas muertas), cargas vivas (uso y

ocupación), y acciones sísmicas horizontales y verticales. En el caso de estructuras livianas y modulares, como las empleadas en soluciones habitacionales de emergencia, se vuelve crucial evaluar parámetros adicionales como la distribución del centro de rigidez, para evitar efectos torsionales; el análisis de diafragmas y conexiones, y, sobre todo, el anclaje adecuado al suelo, para evitar el deslizamiento o vuelco de los módulos durante un evento sísmico. La ligereza de estas estructuras no debe confundirse con fragilidad, ya que una correcta aplicación del diseño puede permitirles ofrecer un desempeño seguro y eficiente.

Además de la normativa nacional, existen recomendaciones internacionales que refuerzan los principios de seguridad estructural desde un enfoque humanitario. El (The International Building Code), ampliamente usado como referencia en proyectos internacionales, establece lineamientos específicos para edificaciones livianas, modulares y temporales, incorporando criterios de análisis dinámico y uso de materiales con comportamiento dúctil.

En cuanto a las normativas arquitectónicas y urbanísticas se tendrán como base:

- **Código Orgánico de Organización Territorial (COOTAD)**: Define competencias municipales para urbanismo y vivienda.
- **Manual de gestión de riesgos y albergues de emergencia del SNGRE** (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2020).
- **Guías del INEN** para materiales y construcción modular.

El diseño también debe responder a las condiciones climáticas y geográficas de Guayaquil, cumpliendo con las exigencias sísmicas y de ventilación para climas tropicales.

2.27 Marco legal ecuatoriano para la construcción temporal y emergencia

En Ecuador, el marco legal que respalda el desarrollo de soluciones habitacionales en emergencia incluye:

- **Ley de Gestión de Riesgos (2016)**: Permite declarar estados de emergencia para acelerar procesos constructivos.
- **Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD)**: Faculta a los GADs a desarrollar normativa para viviendas transitorias.
- **Normativa MIDUVI sobre asentamientos precarios y soluciones temporales (2022)**.
- **Código de la Edificación Ecuatoriano (CEE)**: Si bien enfocado en estructuras permanentes, proporciona criterios de resistencia mínima.

En situaciones de desastre, los procedimientos de licenciamiento, adquisición y uso de suelo pueden flexibilizarse con base en los decretos ejecutivos correspondientes.

2.28 Enfoque sostenible en la vivienda modular

El enfoque sostenible en la construcción de viviendas de emergencia va más allá del impacto ambiental inmediato; abarca también la equidad social, el bienestar de los usuarios y la viabilidad económica de las soluciones habitacionales a largo plazo. Según los principios establecidos en la Agenda 2030 de la ONU (pactomundial, s.f.), la vivienda debe ser un componente clave para alcanzar ciudades y comunidades resilientes, inclusivas y sostenibles, contribuyendo así a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente el ODS 11 (ciudades y comunidades sostenibles) y el ODS 13 (acción por el clima).

Dentro de este marco, las viviendas modulares temporales pueden y deben incorporar criterios de sostenibilidad, incluso en situaciones de emergencia. Para ello, deben garantizar

eficiencia energética, confort térmico, minimización del uso de recursos no renovables, reutilización de materiales y una baja huella de carbono en su ciclo de vida. Esto implica no solo un diseño inteligente, sino también una selección adecuada de materiales y tecnologías que faciliten la implementación de soluciones sostenibles en contextos adversos. De acuerdo con Habitat for Humanity (habitat, 2022), la aplicación de estos principios ha demostrado ser efectiva no solo en la reducción de costos operativos y mejora de la calidad de vida, sino también en la prolongación del uso de estas viviendas más allá de la emergencia inicial, favoreciendo su transformación en viviendas transitorias o permanentes en algunos casos. Este enfoque integral fomenta un modelo de reconstrucción con resiliencia, donde la sostenibilidad no se percibe como un lujo, sino como una condición necesaria para brindar soluciones habitacionales dignas, adaptadas al medioambiente y socialmente responsables.

2.29 Estrategias bioclimáticas y eficiencia energética

En climas tropicales como el de Guayaquil (con temperaturas promedio entre 24 °C y 34 °C y alta humedad), es imprescindible incorporar soluciones pasivas que mejoren la habitabilidad:

- **Orientación solar**: Ubicar la fachada menor hacia el oeste para evitar el sobrecalentamiento.
- **Ventilación cruzada**: Mediante aberturas opuestas y de tamaño adecuado.
- **Aleros y pérgolas**: Protección frente a la radiación solar directa.
- **Colores claros**: Para reflejar la radiación térmica.
- **Paneles solares**: Para generación básica de energía en áreas sin red eléctrica.

Estas estrategias no solo mejoran el confort térmico, sino que reducen la dependencia de sistemas activos (aires acondicionados, ventiladores), favoreciendo la sostenibilidad (González & Jofré, 2019).

2.30 Evaluación del ciclo de vida (LCA) en viviendas modulares

La metodología del Análisis del Ciclo de Vida (ACV o LCA por sus siglas en inglés) permite evaluar los impactos ambientales asociados a cada etapa:

1. Extracción de materias primas
2. Fabricación
3. Transporte e instalación
4. Uso y mantenimiento
5. Desmontaje o reciclaje

Aplicar esta metodología permite seleccionar materiales de bajo impacto ambiental, reutilizar componentes y reducir emisiones de CO_2, contribuyendo a la economía circular (Cabeza, Rincón, Vilariño, Pérez, & Castell, 2014).

2.31 Sostenibilidad y economía circular en el diseño modular

El diseño de viviendas modulares puede alinearse con los principios de la economía circular:

- **Reducción**: Minimizar uso de recursos mediante diseño eficiente.
- **Reutilización**: Uso de componentes desmontables y reutilizables.
- **Reciclaje**: Incorporación de materiales reciclados (plásticos, aceros, madera reconstituida).

- **Reparación**: Sistemas de fácil mantenimiento.

Algunas soluciones innovadoras incluyen estructuras con perfiles de acero reciclado, paneles de plástico PET recuperado, y revestimientos con fibras naturales como cáscara de arroz o bagazo de caña.

2.32 Financiamiento y modelos económicos para soluciones modulares

El costo de producción y despliegue de viviendas modulares puede ser asumido por:

- Gobiernos locales y nacionales (fondos de emergencia o reconstrucción).
- Organismos internacionales (UNHCR, Banco Mundial, BID).
- ONGs y fundaciones privadas (Habitat for Humanity, Techo).
- Alianzas público-privadas (APPP): empresas que fabrican o donan componentes.

Además, los modelos de microfinanzas sociales permiten que las familias participen con pagos mínimos, fomentando su autonomía progresiva en la mejora de su vivienda.

2.33 Rol de la academia y la innovación en la gestión del hábitat post-emergencia

Las universidades, como generadoras de conocimiento técnico y social, pueden asumir un papel clave en:

- Desarrollo de prototipos experimentales de vivienda.
- Investigación sobre materiales locales e innovadores.
- Creación de observatorios del hábitat de emergencia.
- Capacitación a estudiantes y profesionales en arquitectura humanitaria.
- Diseño de manuales técnicos aplicables a contextos ecuatorianos.

En el caso de Guayaquil, alianzas entre el municipio, universidades como la ESPOL, la UCSG y la ULEAM, y entidades como MIDUVI o la Cruz Roja, pueden permitir proyectos piloto de vivienda modular con enfoque técnico y comunitario.

2.34 Rol del ingeniero civil en el diseño y ejecución de viviendas modulares

El ingeniero civil tiene una función clave en la implementación de soluciones modulares:

- **Diseño estructural**: Cálculo de cargas, análisis sísmico y elección de materiales.
- **Evaluación de suelos**: Para asegurar estabilidad y elección del tipo de cimentación (pilotes, zapatas, losa flotante).
- **Logística y construcción**: Planificación de transporte, ensamble, control de calidad.
- **Interdisciplinariedad**: Colaboración con arquitectos, urbanistas y sociólogos.

La intervención del ingeniero asegura la viabilidad técnica, seguridad estructural y eficiencia del recurso en cada etapa.

2.35 Ética profesional en el diseño post-desastre

Finalmente, el rol del ingeniero civil y del arquitecto no es solo técnico, sino ético: están diseñando para personas en situaciones de pérdida, dolor o vulnerabilidad.

El profesional debe considerar:

- La dignidad del usuario, incluso en condiciones precarias.
- El respeto por la diversidad cultural.
- La transparencia en los costos y materiales.
- La eficiencia sin perder humanidad.

Como señala el Consejo de Arquitectura Humanitaria (2020), *"una buena vivienda de emergencia no solo salva vidas; también ayuda a reconstruirlas"*.

2.36 Modelo de implementación en fases

Un modelo ampliamente utilizado es el modelo en tres fases:

1. **Fase de emergencia** (0–30 días):
    - Provisión rápida de refugios básicos (carpas, lonas, módulos prefabricados).
2. **Fase transicional** (1–6 meses):
    - Viviendas modulares de media duración con servicios mínimos.
3. **Fase de reconstrucción** (6 meses–2 años):
    - Posibilidad de convertir las viviendas en definitivas o integrarlas a urbanismos planificados.

Este enfoque permite una escalabilidad gradual sin descuidar la dignidad de los usuarios (Inter-Agency Standing Committee, 2020).

2.37 Integración de la vivienda modular al planeamiento urbano

Uno de los mayores desafíos es la integración progresiva de estas soluciones al entorno construido. Esto requiere:

- Zonificación especial temporal.
- Infraestructura básica extensible (agua, alcantarillado, energía).
- Diseño modular flexible que permita ampliación o conversión en vivienda permanente.
- Vinculación con políticas públicas de vivienda social (Ministerio de desarrollo urbano y vivienda [MIDUVI], 2023).

El modelo “core housing” o vivienda núcleo (Davis, 1978) ha sido aplicado exitosamente en varios países, donde se entrega una unidad mínima habitable, con posibilidad de crecimiento por autoconstrucción asistida.

2.38 Urbanismo táctico como herramienta de adaptación modular

El urbanismo táctico es un enfoque que emplea intervenciones de bajo costo, reversibles y rápidas para reorganizar el espacio urbano de forma temporal o experimental. En contextos post-emergencia, puede:

- Organizar campamentos modulares con lógica urbana (calles, plazas, espacios públicos).
- Adaptarse a necesidades cambiantes (ej. expansión del campamento, reasentamiento progresivo).
- Favorecer la participación de la comunidad en el diseño del entorno.

Autores como Lydon & Garcia (2015) destacan que estas acciones fomentan resiliencia, apropiación del espacio y reducción de conflictos sociales.

2.39 Dimensión educativa y comunitaria en la vivienda temporal

Además del módulo habitacional, un asentamiento temporal digno debe prever infraestructura social como:

- Aulas escolares temporales (de lona o estructuras modulares).
- Espacios para actividades comunitarias (capacitaciones, asambleas, reuniones).
- Áreas recreativas para niños y jóvenes.

Estas infraestructuras promueven la reconstrucción del tejido social, la reactivación emocional y el desarrollo comunitario. En contextos urbanos como Guayaquil, también pueden ser espacios multipropósito útiles en futuras contingencias.

2.40 Perspectiva de resiliencia urbana

El diseño de viviendas de emergencia debe entenderse como parte de una estrategia de resiliencia urbana:

- **Prevención y mitigación**: Urbanismo planificado, zonas seguras, monitoreo de riesgos.
- **Preparación**: Pre-identificación de espacios de montaje, manuales de respuesta rápida.
- **Respuesta**: Activación de protocolos de instalación, distribución equitativa de viviendas.
- **Recuperación**: Integración de las viviendas a la trama urbana o su traslado.

La resiliencia no solo se construye en la infraestructura, sino también en la capacidad de la comunidad para adaptarse y reorganizarse ante crisis (Cutter, Burton, & Emrich, 2008).

2.41 Modelos de reasentamiento progresivo post-emergencia

La vivienda modular puede ser parte de un modelo de transición, donde se planea:

1. **Alojamiento inmediato**: carpas, refugios mínimos.
2. **Vivienda temporal modular**: estructuras más resistentes y dignas.
3. **Reasentamiento permanente**: mejora o reubicación con autoconstrucción asistida.

Este enfoque ha sido promovido por organizaciones como UN-Habitat y Shelter Cluster, priorizando soluciones escalables y sostenibles.

En Ecuador, tras el terremoto de 2016, se aplicó un modelo similar en zonas como Pedernales, donde las familias habitaron módulos prefabricados mientras se gestionaban planes de vivienda definitiva.

2.42 Modelado y simulación estructural

Las herramientas de modelado estructural son esenciales para evaluar y pronosticar la respuesta dinámica de los edificios, en particular en regiones propensas a la actividad sísmica. Para poder hacer eso, estas herramientas han sido concebidas para estimar el rendimiento de un sistema de construcción bajo diferentes combinaciones de carga, geometrías y condiciones de soporte, lo cual es particularmente interesante en estructuras ligeras y ensambladas, en las que la masa, rigidez y configuración juegan un papel importante en la respuesta ante terremotos.

Una de las herramientas más utilizadas en este campo es Autodesk Robot Structural Analysis Professional, que permite realizar análisis estructurales avanzados, incluyendo análisis estático lineal, análisis modal espectral y análisis dinámico simplificado. Este software proporciona resultados detallados sobre fuerzas internas, desplazamientos, deformaciones, modos de vibración y factores de participación modal, lo que permite optimizar el diseño estructural según las especificaciones normativas vigentes. Su versatilidad lo convierte en una herramienta adecuada para evaluar el desempeño de sistemas modulares en contextos de riesgo sísmico, facilitando un diseño estructural seguro, eficiente y normativamente compatible (Soporte de Robot Structural Analysis Professional, 2025).

Resalta (Chopra, 2017) que el análisis modal espectral es particularmente relevante para estructuras ligeras, como las modulares, ya que identifica los modos dominantes de vibración, las frecuencias naturales del sistema y posibles fenómenos de resonancia que podrían amplificar la

respuesta estructural. Este tipo de análisis es clave para detectar vulnerabilidades sísmicas, optimizar la configuración estructural y establecer estrategias adecuadas de rigidez, amortiguamiento y anclaje. Las simulaciones estructurales permiten comparar alternativas en fases tempranas del diseño, Las herramientas de análisis estructural permiten evaluar las alternativas en la etapa temprana del proceso de diseño, para comparar diferentes sistemas estructurales, materiales y disposiciones geométricas. Esto sirve no solo para reforzar la toma de decisiones, sino también para asegurar que el diseño sea más robusto y menos costoso, adecuado a las condiciones locales, algo que es absolutamente primordial en situaciones de emergencia cuando los recursos son escasos y el tiempo un factor crucial.

CAPÍTULO III

Marco Metodológico

3.1 Tipo de estudio

El estudio es de tipo aplicado, ya que busca desarrollar una solución práctica ante un problema real: la falta de viviendas de emergencia adecuadas. También es cuantitativo y experimental, dado que se emplearán simulaciones estructurales para validar el comportamiento de la propuesta bajo distintas condiciones de carga, especialmente cargas sísmicas.

3.2 Enfoque metodológico

La investigación sigue un enfoque deductivo basado en la revisión de normativas estructurales (como la NEC-SE-DS) y literatura técnica, seguida del diseño y análisis de un modelo estructural de vivienda modular utilizando el software Autodesk Robot Structural Analysis Professional. Se realizarán simulaciones dinámicas para evaluar el desempeño estructural del sistema propuesto.

3.3 Técnicas e instrumentos

- **Software de análisis estructural:** Se empleará Autodesk Robot Structural Analysis Professional (Autodesk, 2025), para modelar y analizar la vivienda modular bajo combinaciones de carga estática y dinámica, incluyendo análisis modal espectral.

- **Normativa técnica:** Se aplicará la Norma Ecuatoriana de la (NEC-SE-DS, 2015) para el diseño sísmico de edificaciones.
- **Criterios estructurales:** Se evaluarán parámetros como desplazamientos máximos, esfuerzos internos, factores de utilización, pandeo, distorsiones globales y verificación de estabilidad estructural.

3.4 Procedimiento metodológico

- **Levantamiento de información:** Revisión de estudios previos sobre viviendas modulares y emergencias habitacionales en Guayaquil.
- **Diseño estructural preliminar:** Definición de la geometría, materiales y tipo de sistema estructural modular híbrido.
- **Modelado estructural en Robot Structural Analysis:** Elaboración del modelo tridimensional de la vivienda modular considerando condiciones reales de carga.
- **Simulación y análisis:** Aplicación de cargas gravitacionales y sísmicas siguiendo la zonificación del Ecuador. Se ejecutarán análisis estático lineal y análisis modal.
- **Interpretación de resultados:** Evaluación del comportamiento estructural del sistema modular propuesto, considerando desplazamientos, esfuerzos, estabilidad y cumplimiento normativo.
- **Validación de la propuesta:** Comprobación del cumplimiento con la normativa NEC y los objetivos del proyecto en términos de eficiencia, seguridad estructural y desmontabilidad.

3.5 Limitaciones

El análisis se centrará exclusivamente en el comportamiento estructural del sistema modular bajo cargas sísmicas, sin incluir aspectos térmicos, acústicos o de habitabilidad detallados.

CAPITULO IV

Desarrollo técnico del proyecto

4.1 Propuesta del modelo de vivienda modular

4.1.1 Ubicación y justificación del proyecto

- **Lugar de aplicación:** Cantón Guayaquil, provincia del Guayas (zona tropical-húmeda, con riesgo sísmico y de inundaciones).
- **Escenario de uso:** Albergue post-desastre (terremoto, inundación, incendio urbano) con opción de permanencia > 5 años.
- **Criterios determinantes**
    - Rapidez de montaje (≤ 25 días).
    - Transporte en un solo camión de 40 pies (módulos < 2,4 m de ancho).
    - Bajo peso estructural para fundaciones mínimas.
    - Eficiencia térmica y ventilación cruzada frente a Tª 24–34 °C y HR > 80 %.
    - Posibilidad de desmontaje y reubicación (≤ 10 días).

4.1.2 Diseño del modelo de la vivienda modular

La vivienda tiene una dimensión total de 6,30 m x 6,50 m, lo que representa un área de 40,95 m². Está distribuida en la planta baja y cuenta con:

Un dormitorio principal

Un dormitorio adicional

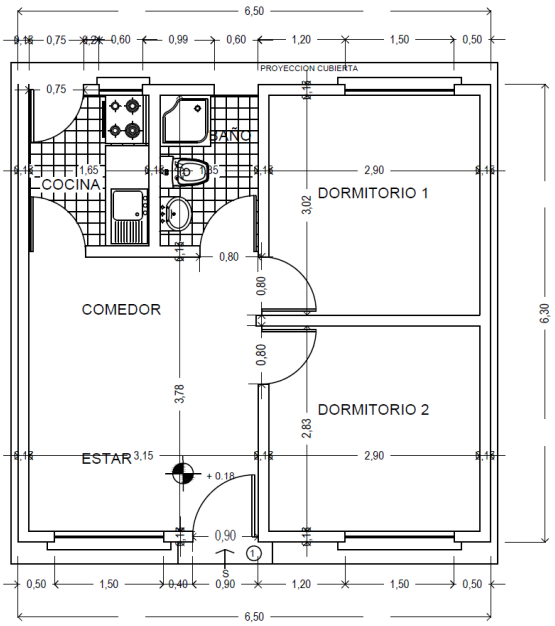
Un baño completo

Un área compartida de sala, cocina y comedor

La altura libre interior es de 2,20 m, cumpliendo con lo establecido por la normativa (NEC-SE-DS, 2015). La cubierta tiene una pendiente que alcanza hasta 3,70 m en su punto más alto, lo que favorece la ventilación y el drenaje pluvial. El diseño interior busca optimizar el uso del espacio, garantizar iluminación natural, ventilación cruzada y permitir una fácil ampliación mediante el anexo de módulos adicionales.

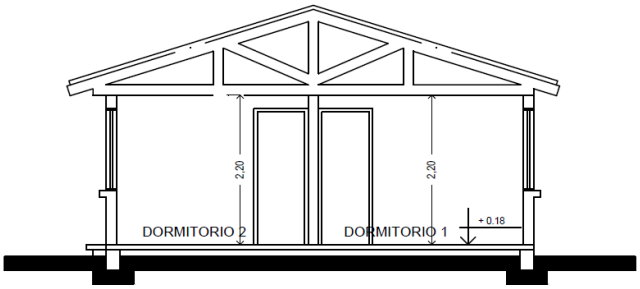
- **Superficie total interna:** 40,95 m² (6,30 m × 6,50 m).
- **Altura interior libre:** 2,20 m.
- **Altura máxima a cumbrera:** 3,70 m ⇒ pendiente 15 % aprox. para rápida evacuación de lluvias.

Ilustración 2: Planta arquitectónica y distribución interior



Fuente: Elaboración propia con base en el diseño propuesto (2025)

Ilustración 3: Elevación frontal de la vivienda modular



SECCION A - A'

Fuente: Elaboración propia con base en el diseño arquitectónico (2025)

4.1.3 Materiales y sistema constructivo general

La elección de materiales se enfoca en la ligereza, rapidez de montaje, resistencia al clima de la costa ecuatoriana y facilidad de desmontaje. A continuación, se detalla el sistema constructivo:

Tabla 3: Sistema constructivo general de la vivienda modular

Elemento	Material/Sistema	Justificación
Estructura principal	Perfiles de acero galvanizado	Alta resistencia con bajo peso. Fácil de ensamblar.
Muros	Panel SIP con malla de hierro en ambos lados.	Buen aislamiento térmico, liviano y resistente a humedad.
Cubierta	Chapa ondulada galvanizada de 0,8 mm + aislante reflectivo	Rápida instalación, bajo peso, buena durabilidad.
Piso	Losetas prefabricadas apoyadas sobre estructura metálica	Permite cámara ventilada y paso de instalaciones.
Cimentación	Zapatas aisladas de concreto	Fáciles de ejecutar, se adaptan a suelos variables.

Fuente: Elaboración propia con base en criterios técnicos y normativos (2025)

Este sistema constructivo garantiza un tiempo de montaje estimado entre 15 a 25 días, y la posibilidad de desmontaje en aproximadamente una semana. Se prioriza el uso de anclajes metálicos, tornillería de fácil remoción y perfiles estandarizados.

4.2 Diseño estructural

4.2.1 Descripción del sistema estructural

El diseño estructural de la vivienda modular se basa en el uso de perfiles metálicos normalizados, lo que permite una solución resistente, liviana y de fácil montaje. La estructura está compuesta por:

- 9 columnas metálicas, distribuidas en 3 grupos:
  - columnas de esquina (COL-ESQ)
  - 2 columnas de borde (COL-BORDE)
  - 3 columnas centrales (COL-CENT)

Estas columnas se modelaron con perfiles tipo H (H120), adecuados para luces entre 3 y 3,7 m, garantizando estabilidad sin sobredimensionar.

- Vigas metálicas:
  - Las vigas perimetrales IPE 140
  - Las vigas de cubierta son de tipo IPE o IPN
  - Algunas vigas interiores de techo fueron modeladas con perfil T para reducir peso en zonas no críticas.
- Fundación:
  - Se emplearon zapatas aisladas de 110 X 110 cm apoyadas sobre un metro de relleno sobre suelo arcilloso.
  - Este sistema permite estabilidad y facilidad de desmontaje en caso de reubicación.
  - Las vigas del piso son de tipo RIOST-25X25

4.2.2 Modelado estructural

El modelado estructural se realizó con el software Autodesk Robot Structural Analysis, trabajando en el módulo de diseño LRFD2000 para estructuras metálicas.

Se siguieron estos pasos clave:

- **Definición de nudos:** Se trazaron 21 nudos estructurales en base al diseño arquitectónico y la grilla estructural derivada del mismo.
- **Asignación de apoyos:** Se emplearon apoyos empotrados en cada base de columna para simular las conexiones con las zapatas.
- **Secciones:** Se crearon grupos de elementos estructurales para columnas (COL-ESQ, COL-BORDE, COL-CENT) y vigas según su ubicación.
- **Asignación de cargas:**
  - **Carga muerta:** peso propio de la estructura + peso de la cubierta (0.20 t/m) y losa (0.30 t/m).
  - **Carga viva:** carga de uso (0.07 t/m en cubierta y 0.2 t/m en piso)
- **Combinaciones:** Se crearon tres combinaciones básicas de carga:
  - Carga muerta
  - Carga muerta + carga viva
  - Combinación crítica

Este modelado permitió obtener esfuerzos y momentos internos que luego fueron utilizados para validar las secciones seleccionadas, especialmente en lo referente a pandeo y resistencia.

4.2.3 Resultados del análisis estructural

Los resultados obtenidos tras el análisis estructural confirman la viabilidad de la propuesta:

- **Desplazamientos máximos:** menores a 1 cm en la mayoría de vigas y columnas, lo que indica un buen desempeño estructural.
- **Reacciones en apoyos:** la mayor reacción registrada fue de 10.44 toneladas en la zapata central, lo cual está dentro de la capacidad portante asumida.
- **Esfuerzos y momentos:** se identificaron momentos máximos de hasta 0.49 t·m en vigas de cubierta, valor que fue utilizado para validar el perfil IPE empleado.
- **Pandeo:** se verificó la longitud efectiva de columnas, resultandos aceptables para la altura libre de 2.20 m.

Se concluye que la estructura cumple con los requerimientos de estabilidad, resistencia y desmontabilidad, siendo adecuada para situaciones de emergencia en contextos urbanos.

4.3 Análisis de cargas

4.3.1 Cargas consideradas

En el diseño estructural de la vivienda modular se consideraron las siguientes cargas, clasificadas según la norma NEC-SE-DS (Norma Ecuatoriana de la Construcción - Cargas para el Diseño Estructural):

a) Carga muerta (D):

Corresponde al peso propio de todos los elementos permanentes de la estructura:

Tabla 4: Carga muerta estimada por componente estructural de la vivienda modular

Elemento	Valor estimado (t/m)	Justificación
Peso propio de la estructura	Incluido automáticamente	Definido por el software
Cubierta (chapa + aislante)	0.20 t/m	Chapa galvanizada de 0.8 mm + aislante
Paneles SIP de muros	0.30 t/m	Paneles con malla de hierro en ambos lados

Fuente: Elaboración propia con base en el modelo en Robot Structural Analysis y la (NEC-SE-DS, 2015) (2025)

b) Carga viva (L):

Corresponde a las acciones móviles o temporales que pueden presentarse durante la vida útil de la edificación.

Tabla 5: Carga viva considerada según uso del espacio habitable

Área	Valor considerado (t/m)	Justificación
Cubierta	0.07 t/m	Mantenimiento eventual
Piso habitable	0.2 t/m	Carga recomendada

Fuente: Elaboración propia con base en el modelo en Robot Structural Analysis y la (NEC-SE-DS, 2015) (2025)

4.3.2 Distribución de cargas

Las cargas fueron aplicadas sobre los elementos estructurales según su naturaleza:

- Cargas de la cubierta: aplicadas a las vigas del techo mediante cargas uniformes distribuidas en dirección vertical (coordenada global Z).
- Cargas de los muros y losa: se aplicaron sobre las vigas de borde de la planta baja.
- Cargas vivas: asignadas en toda la estructura superior, incluyendo techo y vigas que soportan losa.

Las cargas fueron introducidas como cargas proyectadas sobre vigas, sin necesidad de modelar placas ni elementos tipo "shell", para simplificar el análisis.

4.3.3 Combinaciones de carga

Para el análisis estructural se definieron tres combinaciones básicas de carga, de acuerdo a la norma LRFD:

- **ELU (Estado Límite Último):**
  - 1.4D
  - 1.2D + 1.6L
- **ELS (Estado Límite de Servicio):**
  - D + L

Estas combinaciones permitieron obtener resultados tanto para dimensionamiento como para verificación de estabilidad.

4.4 Modelado estructural

El modelado estructural de la vivienda modular se realizó utilizando el software Autodesk Robot Structural Analysis Professional, con el objetivo de simular el comportamiento estructural del sistema ante las diferentes solicitaciones establecidas en el análisis de cargas. A continuación, se detallan los pasos seguidos para la creación y configuración del modelo estructural.

4.4.1 Configuración inicial del modelo

Se inició el proceso de modelado configurando las unidades del proyecto en el sistema métrico decimal (metros, toneladas, kilonewtons), facilitando así la coherencia con las normativas locales y los datos obtenidos durante el análisis de cargas.

El tipo de análisis empleado fue estático lineal, adecuado para estructuras que no presentan grandes deformaciones ni comportamientos no lineales. La estructura fue definida como un sistema tridimensional.

4.4.2 Definición de elementos estructurales

Los elementos principales del sistema estructural se modelaron como sigue:

Columnas: Se utilizaron perfiles estructurales tipo H, específicamente columnas de acero laminado de sección HEB 100, asignando las propiedades del material ASTM A36.

Vigas: Las vigas se modelaron con perfiles IPE y TEAE, seleccionadas por su disponibilidad local y su desempeño adecuado para estructuras ligeras. Se asignaron también al material A36.

Elementos de piso y cubierta: El entrepiso y la cubierta fueron representados mediante paneles tipo SIP (Structural Insulated Panels), definidos como elementos de placa con propiedades equivalentes de rigidez. Para simplificar el análisis, los paneles se consideraron como elementos ortótropos con una rigidez promedio obtenida de ensayos previos documentados.

Uniones: Las conexiones entre columnas y vigas se modelaron como uniones articuladas para simplificar el comportamiento estructural y representar adecuadamente la realidad constructiva del sistema modular.

4.4.3 Asignación de cargas

Las cargas determinadas en la sección 4.3 fueron asignadas al modelo como casos de carga independientes. Entre ellas se encuentran:

Carga muerta: Aplicada automáticamente por el software y complementada con cargas distribuidas adicionales sobre placas y vigas.

Carga viva: Asignada en forma de carga uniforme distribuida sobre las áreas del entrepiso y cubierta, de acuerdo con los valores normativos.

Combinaciones de carga: Se generaron siguiendo la normativa ecuatoriana (NEC-SE-DS, 2015), incluyendo factores de carga y reducción apropiados.

4.4.4 Restricciones y condiciones de frontera

La base de las columnas fue modelada con apoyos empotrados, lo que refleja una conexión firme a una cimentación rígida, como sería el caso de una estructura anclada sobre una plataforma metálica o cimentación prefabricada.

Se establecieron restricciones en los ejes X, Y Z para evitar desplazamientos y giros no deseados, garantizando estabilidad global durante el análisis.

4.4.5 Mallado

En el caso de los elementos tipo placa (paneles SIP), se generó un mallado automático con elementos finitos tipo cuadrilátero, con una densidad de malla de 0.5 m, suficiente para garantizar la precisión del análisis sin comprometer el rendimiento computacional.

4.4.6 Verificación del modelo

Antes de ejecutar el análisis estructural, se realizó una verificación del modelo para detectar posibles errores como nudos no conectados, elementos duplicados o inconsistencias geométricas. Posteriormente, se revisaron los desplazamientos y deformaciones obtenidos para validar la coherencia del comportamiento global de la estructura.

Asimismo, se comprobó que las solicitaciones internas (momentos flectores, cortantes y axiales) fueran razonables en relación con la configuración estructural y las cargas aplicadas.

4.5 Análisis de resultados

Una vez completado el modelado estructural y aplicado el análisis estático lineal, se procedió a examinar los resultados obtenidos en cuanto a desplazamientos, esfuerzos internos y factores de seguridad. Este análisis permitió verificar si la estructura propuesta cumple con los criterios normativos de resistencia y estabilidad, y si los elementos seleccionados son adecuados para las cargas consideradas.

4.5.1 Desplazamientos

Los desplazamientos verticales fueron evaluados en la cubierta, por ser esta la zona más flexible del sistema estructural. De acuerdo con los resultados obtenidos en el software Autodesk Robot Structural Analysis Professional, el desplazamiento vertical máximo (UZ) fue de –0.1 cm, equivalente a –1.0 mm, registrado en el nodo 98 bajo la combinación de carga 2 (1.2D + 1.6L). Este valor se encuentra muy por debajo del límite permisible, el cual se establece comúnmente como L/360, siendo L la luz libre entre apoyos de la viga. Dado que las luces en la estructura no superan los 3.25 m, el límite permisible sería aproximadamente 9.0 mm, lo que confirma una adecuada rigidez estructural sin deformaciones que comprometan la funcionalidad o seguridad del sistema modular.

Ilustración 4: Desplazamientos

	UX (cm)	UY (cm)	UZ (cm)	RX (Rad)	RY (Rad)	RZ (Rad)
MAX	0,0	0,0	0,0	0,002	0,000	0,000
Nudo	36	22	1	32	11	40
Caso	4 (C)	2	1	4 (C)	4 (C)	3 (C)
MIN	-0,0	-0,0	-0,1	-0,002	-0,000	-0,000
Nudo	39	37	98	35	17	30
Caso	4 (C)	3 (C)	4 (C)	4 (C)	4 (C)	3 (C)

Fuente: Elaboración propia en Robot Structural Analysis (2025)

4.5.2 Esfuerzos internos

Se analizaron los esfuerzos internos (momentos flectores, fuerzas cortantes y axiales) generados en los elementos estructurales principales. Entre los hallazgos más relevantes:

Las vigas presentaron momentos máximos de aproximadamente 0.49 t·m, lo cual es significativamente inferior a su capacidad resistente, garantizando un comportamiento elástico bajo las combinaciones de carga consideradas.

Las columnas HEB 100 estuvieron sometidas principalmente a esfuerzos axiales de compresión. La carga máxima fue del orden de 10.44 t, por debajo de su carga crítica de pandeo, lo cual confirma la estabilidad de los elementos verticales.

En los paneles SIP, las solicitaciones se mantuvieron en rangos aceptables, sin superar los límites de flexión y cortante para el tipo de núcleo y recubrimiento definidos.

4.5.3 Factores de utilización.

La mayoría de los elementos estructurales presentan factores de utilización menores a 0.40, lo que indica una capacidad ampliamente suficiente frente a las solicitaciones consideradas. Este valor fue verificado mediante la comparación de los esfuerzos obtenidos en el análisis estructural con la resistencia nominal de los perfiles utilizados (IPE 140 y HEB 100) conforme al catálogo AISC (Specification for Structural Steel Buildings, 2016).

Ningún elemento excede un factor de utilización de 0.60, lo cual brinda un margen de seguridad adecuado, especialmente considerando la posibilidad de reutilización, desmontaje y transporte de los módulos.

4.5.4 Verificación de estabilidad

Además de los esfuerzos y desplazamientos, se verificó la estabilidad global del sistema ante cargas combinadas. No se evidenció riesgo de volcamiento ni inestabilidad por pandeo local o global.

Se confirmó que la estructura mantiene un comportamiento estable y predecible bajo todas las condiciones de carga, lo cual es fundamental en viviendas modulares susceptibles a ser trasladadas o reinstaladas.

4.5.5 Conclusión del análisis estructural

Los resultados obtenidos confirman que la propuesta estructural de la vivienda modular es viable y segura. Todos los elementos cumplen con los requerimientos normativos, y los niveles de solicitación se encuentran dentro de rangos aceptables. Esto garantiza la resistencia, funcionalidad y estabilidad del sistema estructural en condiciones normales de uso.

4.6 Consideraciones constructivas y recomendaciones

El diseño y modelado estructural de la vivienda modular no solo debe cumplir con criterios estructurales, sino también con aspectos prácticos que aseguren una construcción eficiente, rápida, segura y adaptable a condiciones reales del terreno y del entorno. A continuación, se presentan las principales consideraciones constructivas tomadas en cuenta, así como algunas recomendaciones para la ejecución del sistema.

4.6.1 Ensamblaje en sitio

El sistema estructural fue concebido bajo principios de prefabricación, permitiendo que todos los elementos sean manufacturados en taller y transportados al sitio para su ensamblaje. Se

propone el uso de uniones atornilladas en lugar de soldaduras in situ, facilitando la instalación rápida y precisa, además de permitir el desmontaje y reubicación de los módulos.

Los módulos estructurales pueden ser ensamblados por componentes (vigas, columnas, paneles) o transportados como unidades parciales preensambladas.

4.6.2 Anclaje al terreno

Para asegurar la estabilidad del módulo ante acciones horizontales (como viento o posibles movimientos sísmicos), se recomienda que la base de la estructura se ancle a una platea metálica, zapatas superficiales o sistemas de pilotes metálicos atornillados al suelo, dependiendo del tipo de terreno.

El sistema de anclaje debe ser diseñado para resistir momentos de vuelco, fuerzas laterales y garantizar el aislamiento de humedad desde el suelo.

4.6.3 Compatibilidad con paneles SIP

La estructura fue diseñada para integrarse con paneles SIP como elementos de cerramiento y aislamiento. Se debe verificar que las uniones estructurales permitan un correcto apoyo de los paneles sin interrupciones térmicas ni discontinuidades estructurales.

Además, se recomienda el uso de perfiles perimetrales metálicos (ángulos o canales) como marcos de fijación para facilitar la instalación de los paneles.

4.6.4 Transporte y reubicación

Uno de los beneficios clave de la vivienda modular es su transportabilidad. Por lo tanto, se consideró el peso propio de los componentes, buscando perfiles que optimicen la relación resistencia/peso.

Para la reubicación del módulo, se estima que el desensamblaje y traslado podría realizarse en un plazo de 2 a 3 días, dependiendo de la logística y del equipo de trabajo. Se

recomienda etiquetar previamente los elementos estructurales y utilizar sistemas de conexión estandarizados para facilitar su reconstrucción.

4.6.5 Protección y mantenimiento

Aunque el acero ofrece una alta durabilidad, se sugiere aplicar recubrimientos anticorrosivos, como pintura epóxica o galvanizado, especialmente si la vivienda se instalará en zonas costeras o con alta humedad. También se deben considerar detalles que impidan acumulaciones de agua o suciedad en nudos estructurales.

El sistema modular debe permitir inspecciones periódicas para verificar la integridad de las conexiones y la condición de los paneles.

4.6.6 Sostenibilidad y adaptabilidad

Finalmente, el sistema modular propuesto permite ampliaciones, adaptaciones y reutilización en otros proyectos. Esto refuerza su carácter sostenible y versátil para emergencias o vivienda temporal.

Se recomienda considerar mejoras futuras en eficiencia energética mediante integración de tecnologías pasivas (como ventilación cruzada) o activas (paneles solares), sin alterar significativamente la estructura principal.

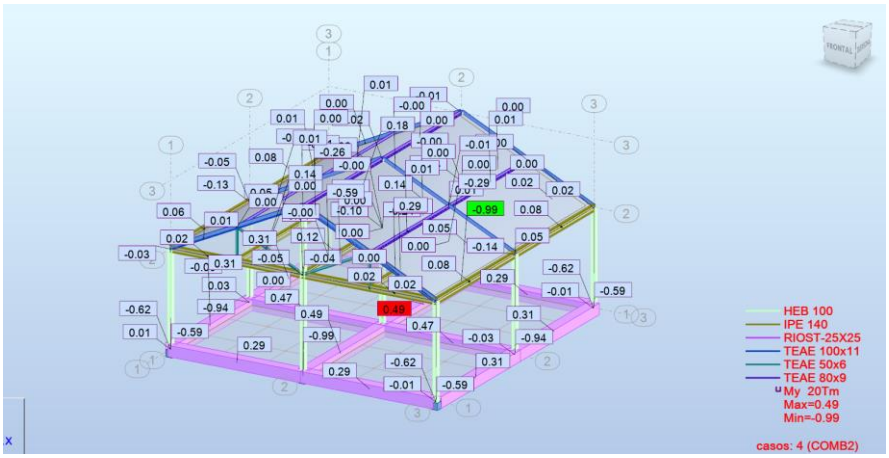
4.7 Resultados gráficos del análisis estructural

A continuación, se presentan los principales resultados gráficos obtenidos del análisis estructural realizado con Robot Structural Analysis Professional, donde se muestran los esfuerzos internos, desplazamientos y verificación de elementos.

- **Diagrama de momentos flectores en el eje Y (Combinación 2)**

  En esta figura se observa la distribución de momentos flectores generados en dirección longitudinal (eje Y) para la combinación crítica 1.2D + 1.6L. El valor máximo registrado fue de 0.49 t·m en las vigas de cubierta, lo cual fue determinante para validar la elección del perfil TEAE 100x11.

Ilustración 5: Diagrama de momentos flectores en el eje Y

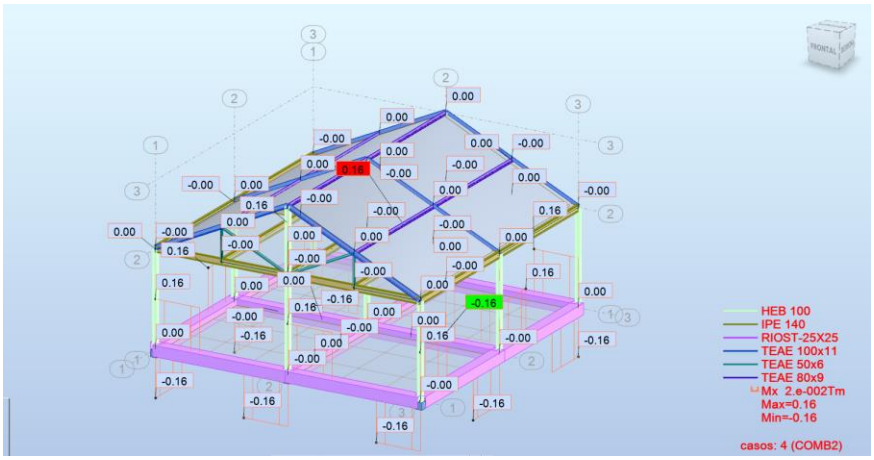


Fuente: Elaboración propia en Robot Structural Analysis (2025)

- **Diagrama de momentos flectores en el eje X (Combinación 2)**

  La figura muestra el momento flector en dirección transversal (eje X), donde los valores máximos fueron menores a 0.16 t·m, lo que indica un comportamiento estructural adecuado en vigas de borde, sin riesgos de sobreesfuerzo.

Ilustración 6: Diagrama de momentos flectores en el eje X

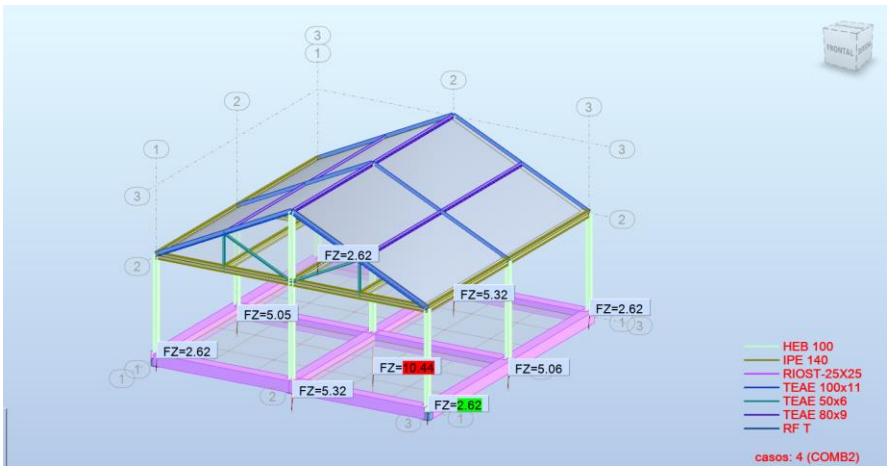


Fuente: Elaboración propia en Robot Structural Analysis (2025)

- **Diagrama de carga axial**

Se representan las fuerzas axiales en columnas. La carga máxima fue de 10.44 t, lo cual se encuentra dentro de la capacidad resistente de las columnas HEB 100 utilizadas en la estructura.

Ilustración 7: Diagrama de carga axial

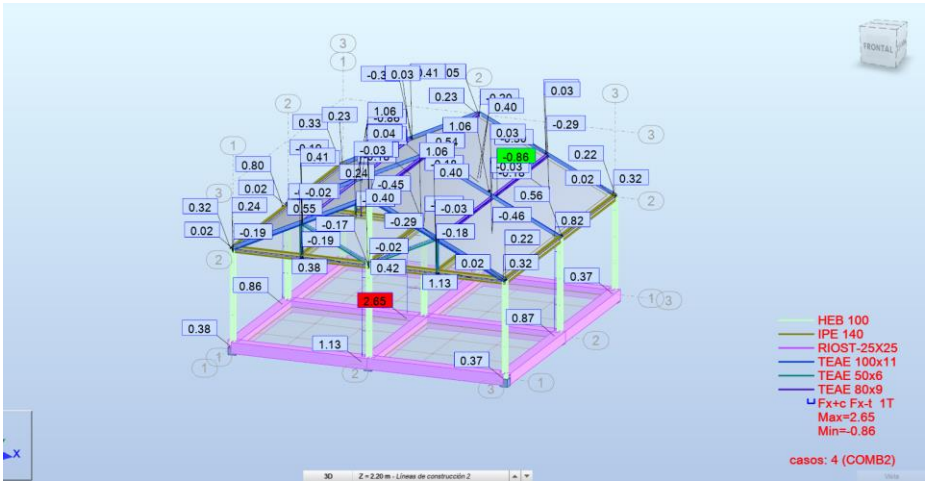


Fuente: Elaboración propia en Robot Structural Analysis (2025)

- **Diagrama de cortante en el eje X**

El cortante máximo en dirección X fue de aproximadamente 2.65 t, registrado en vigas del entrepiso.

Ilustración 8: Diagrama de cortante en el eje X

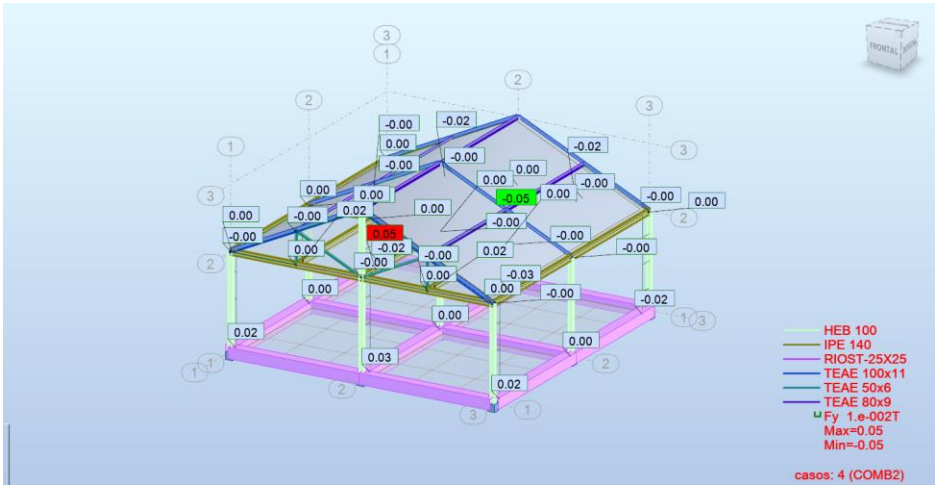


Fuente: Elaboración propia en Robot Structural Analysis (2025)

- **Diagrama de cortante en el eje Y**

El esfuerzo cortante en Y fue inferior a 0.05 t en todas las vigas, indicando una adecuada distribución de cargas laterales y buen desempeño estructural ante acciones sísmicas.

Ilustración 9: Diagrama de cortante en el eje Y

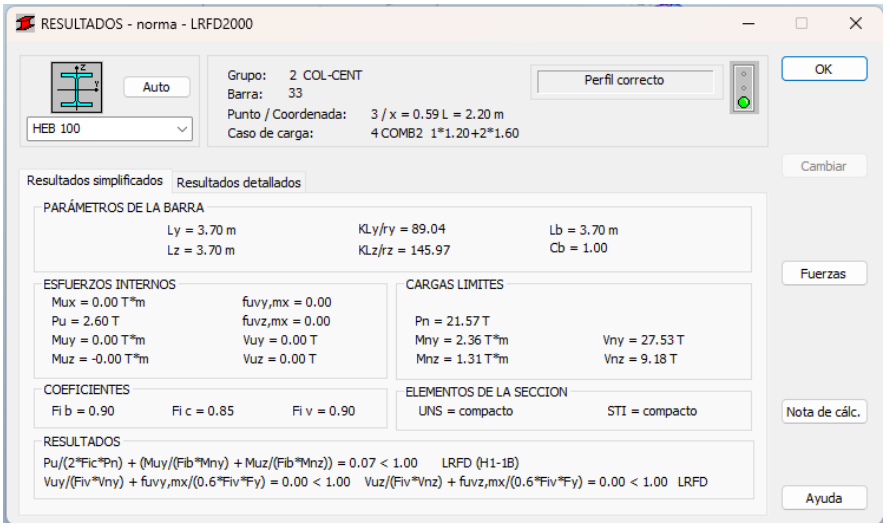


Fuente: Elaboración propia en Robot Structural Analysis (2025)

- **Análisis de la columna central**

La columna central presentó un esfuerzo axial moderado (cerca de 20 kN) y no mostró signos de inestabilidad. Se validó que el perfil H empleado tiene una relación esbeltez segura para la altura libre de 2.2 m.

Ilustración 10: Análisis de la columna central

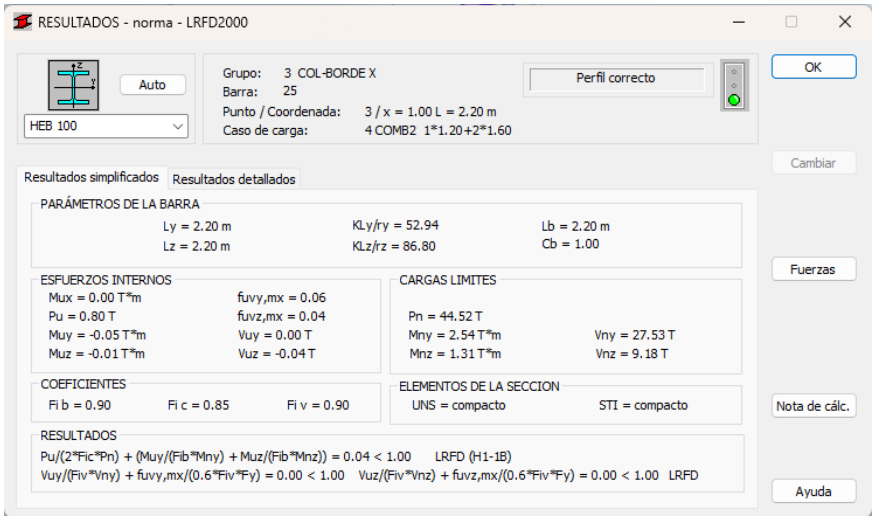


Fuente: Elaboración propia en Robot Structural Analysis (2025)

- **Análisis de la columna lateral**

Las columnas laterales mostraron menores esfuerzos axiales y no se evidenciaron problemas de pandeo. Su diseño permite soportar cargas gravitacionales y transmitir esfuerzos al sistema de cimentación.

Ilustración 11: Análisis de la columna central

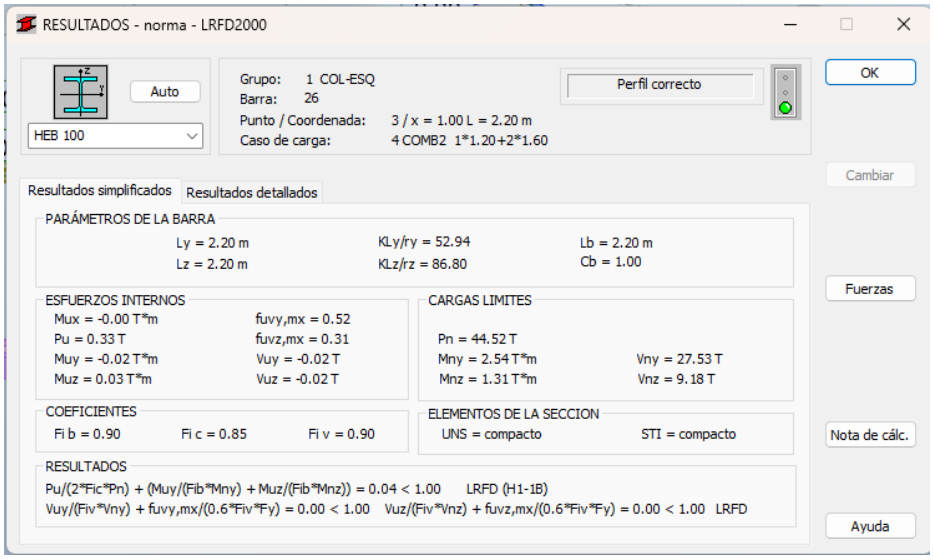


Fuente: Elaboración propia en Robot Structural Analysis (2025)

- **Análisis de la columna de esquina**

Las columnas de esquina, mostraron menores esfuerzos axiales y no se evidenciaron problemas de pandeo. Su diseño con perfil H100 garantiza una buena capacidad de absorción de carga sin riesgo estructural.

Ilustración 12: Análisis de la columna de esquina

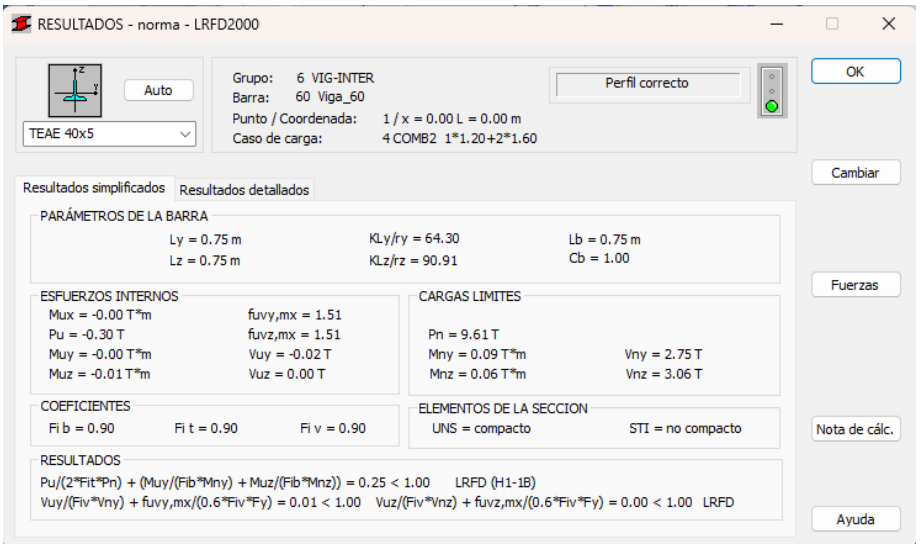


Fuente: Elaboración propia en Robot Structural Analysis (2025)

- **Análisis del perfil T de cerchado**

Este perfil fue utilizado en zonas no críticas de la cubierta. Se verificó que los momentos aplicados no exceden los límites permisibles.

Ilustración 13: Análisis del perfil T de cerchado

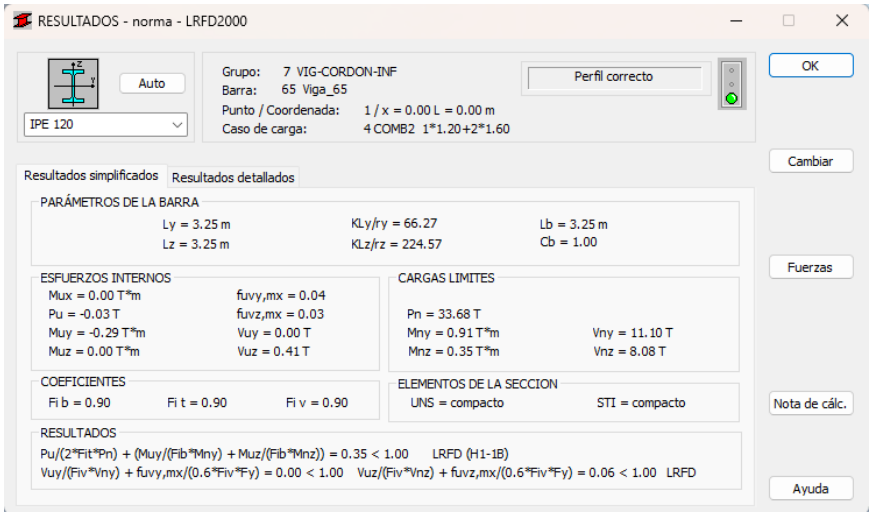


Fuente: Elaboración propia en Robot Structural Analysis (2025)

- **Análisis de vigas de techo**

Las vigas de techo fueron diseñadas con perfiles IPE y TEAE, registrando momentos máximos de 0.49 t·m. Su desempeño se mantuvo dentro del rango elástico, sin riesgo de deformación excesiva.

Ilustración 14: Análisis de vigas de techo

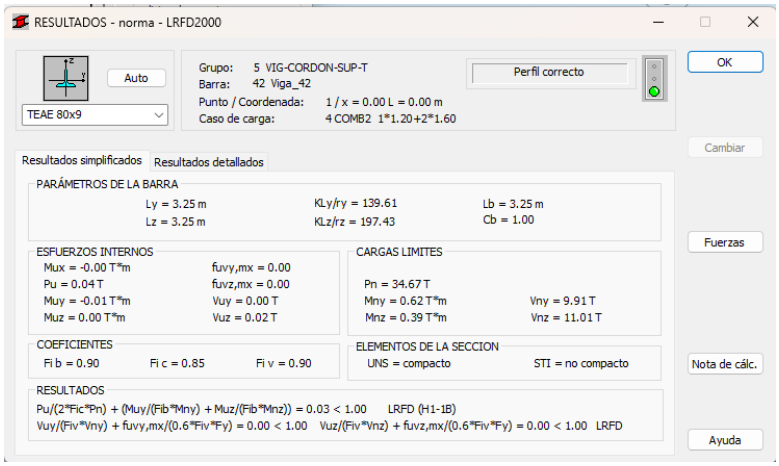


Fuente: Elaboración propia en Robot Structural Analysis (2025)

- **Análisis del larguero**

El larguero cumple una función de rigidización lateral y se comprobó su correcto comportamiento ante cargas de borde.

Ilustración 15: Análisis del larguero

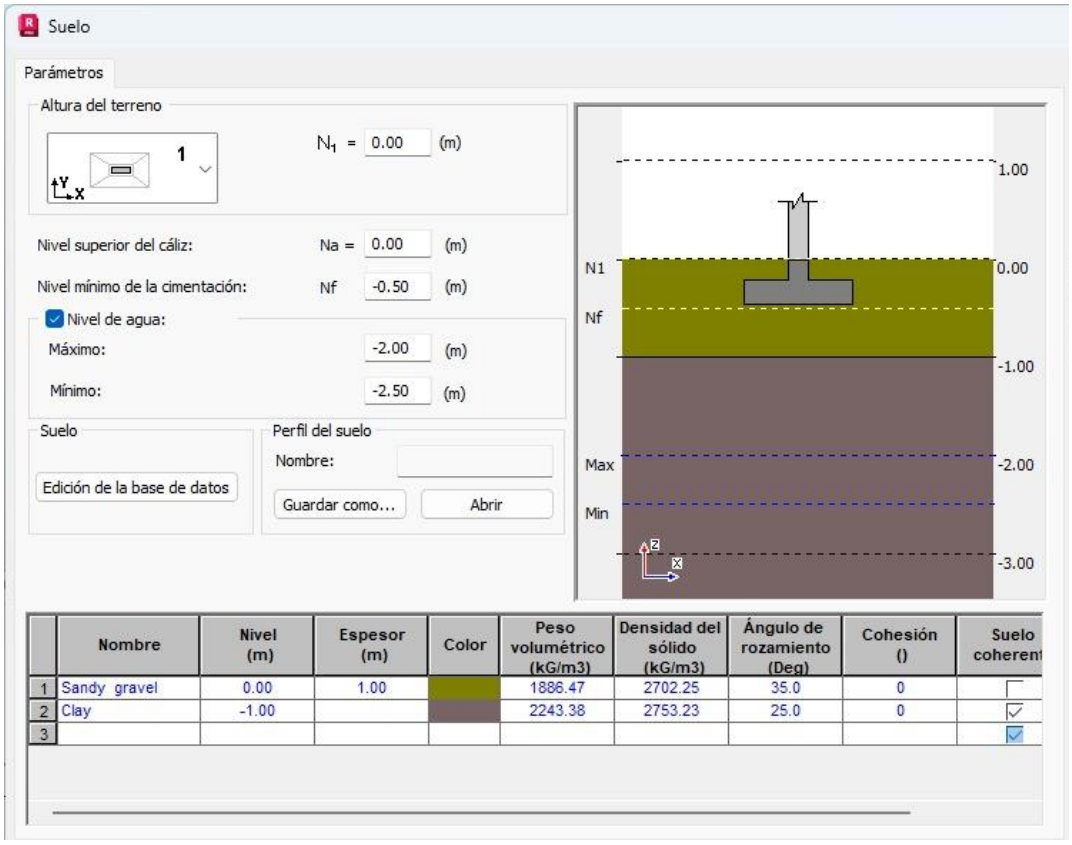


Fuente: Elaboración propia en Robot Structural Analysis (2025)

- **Vista de la zapata central**

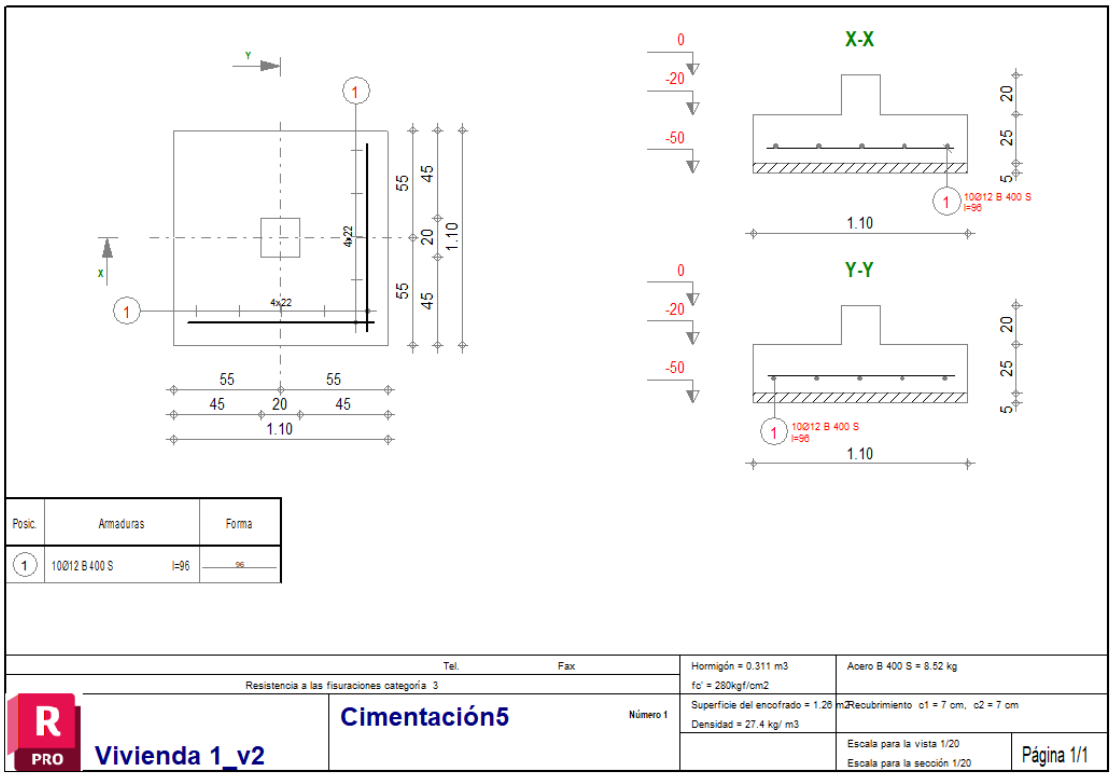
La zapata central, con dimensiones de 110x110 cm, soportó una reacción máxima de 10.44 toneladas. Este valor está dentro del rango admisible del terreno y fue validado en Robot Structural Analysis.

Ilustración 16: Suelo



Fuente: Elaboración propia en Robot Structural Analysis (2025)

Ilustración 17: Cimentación 5



Fuente: Elaboración propia en Robot Structural Analysis (2025)

Ilustración 18: Cargas sobre la cimentación

Cargas sobre la cimentación:

Caso	Natura	Grupo	N (T)	Fx (T)	Fy (T)	Mx (T*m)	My (T*m)
COMB1	de cálculo	----	6.31	0.00	-0.00	0.00	0.00
COMB2	de cálculo	----	10.44	0.00	-0.00	0.00	0.00
COMB3	de cálculo	----	7.65	0.00	-0.00	0.00	0.00

Fuente: Elaboración propia en Robot Structural Analysis (2025)

Ilustración 19: Suelo

Suelo:

Nivel del suelo:	N_1	= 0.00 (m)		
Nivel max. de la cimentación:	N_a	= 0.00 (m)		
Nivel del fondo del excavado:	N_f	= -0.50 (m)		
Nivel de agua:	$N_{máx.}$	= -2.00 (m)	$N_{mín.}$	= -2.50 (m)

1. **Sandy gravel**
   - Nivel del suelo: 0.00 (m)
   - Espesor: 1.00 (m)
   - Peso volumétrico: 1886.47 (kG/m3)
   - Densidad del sólido: 2702.25 (kG/m3)
   - Angulo de rozamiento interno: 35.0 (Deg)
   - Cohesión: 0.00 (kgf/cm2)

2. **Clay**
   - Nivel del suelo: -1.00 (m)
   - Espesor: 1.00 (m)
   - Peso volumétrico: 2243.38 (kG/m3)
   - Densidad del sólido: 2753.23 (kG/m3)
   - Angulo de rozamiento interno: 25.0 (Deg)
   - Cohesión: 0.61 (kgf/cm2)

Fuente: Elaboración propia en Robot Structural Analysis (2025)

Ilustración 20: Nota de cálculo 1

Cálculo de las tensiones

Considerar la redistribución plástica de las tensiones admisibles
Tipo de suelo debajo de la cimentación: estratificados
Combinación dimensionante: **ELS : COMB3 N=7.65 Mx=0.00 My=0.00 Fx=0.00 Fy=-0.00**
Coeficentes de carga: **1.00** * peso de la cimentación
1.00 * peso del suelo
1.00 * presión de Arquimedes
Resultados de cálculos: en el nivel del asiento de la cimentación
Peso de la cimentación y del suelo superpuesto: Gr = 1.22 (T)
Carga de diseño:
Nr = 8.87 (T) Mx = 0.00 (T*m) My = 0.00 (T*m)
Excentricidad de la carga:
e_B = 0.00 (m) e_L = 0.00 (m)
Dimensiones equivalentes de la cimentación: B_ = 1.10 (m) L_ = 1.10 (m)
Profundidad del asiento: Dmin = 0.45 (m)
Coeficientes de capacidad de carga:
N_γ = 33.92
Nc = 46.12
N_q = 33.30
Coeficientes de influencia de la inclinación de la carga:
i_γ = 1.00
ic = 1.00
iq = 1.00
Coeficientes de forma:
s_γ = 0.60
sc = 1.72
sq = 1.57
Coeficientes de sitio:
d_γ = 1.00
dc = 1.16
dq = 1.10
Parámetros geotécnicos:
C = 0.00 (kgf/cm2)
ϕ = 35.0 (Deg)
γ = 1886.47 (kG/m3)
Tensión en el suelo: 0.73 (kgf/cm2)
Resistencia de cálculo del suelo 0.80 (kgf/cm2)
Coeficiente de seguridad: 3.279 > 3

Fuente: Elaboración propia en Robot Structural Analysis (2025)

Ilustración 21: Nota de cálculo 2

Vuelco

Alrededor del eje OX

Combinación dimensionante:	**ELS : COMB3 N=7.65 Mx=0.00 My=0.00 Fx=0.00 Fy=-0.00**
Coeficentes de carga:	**1.00** * peso de la cimentación
	1.00 * peso del suelo
	1.00 * presión de Arquimedes

Peso de la cimentación y del suelo superpuesto: Gr = 1.22 (T)

Carga de diseño:

Nr = 8.87 (T) Mx = 0.00 (T*m) My = 0.00 (T*m)

Momento estabilizador:	M_{stab} = 4.88 (T*m)
Moment de vuelco:	M_{renv} = 0.00 (T*m)
Estabilidad al vuelco:	1667 > 1.5

Alrededor del eje OY

Combinación dimensionante:	**ELS : COMB3 N=7.65 Mx=0.00 My=0.00 Fx=0.00 Fy=-0.00**
Coeficentes de carga:	**1.00** * peso de la cimentación
	1.00 * peso del suelo
	1.00 * presión de Arquimedes

Peso de la cimentación y del suelo superpuesto: Gr = 1.22 (T)

Carga de diseño:

Nr = 8.87 (T) Mx = 0.00 (T*m) My = 0.00 (T*m)

Momento estabilizador:	M_{stab} = 4.88 (T*m)
Moment de vuelco:	M_{renv} = 0.00 (T*m)
Estabilidad al vuelco:	4010 > 1.5

Fuente: Elaboración propia en Robot Structural Analysis (2025)

Ilustración 22: Nota de cálculo 3

Punzonamiento

Combinación dimensionante:	**ELU : COMB2 N=10.44 Mx=0.00 My=0.00 Fx=0.00 Fy=-0.00**
Coeficentes de carga:	**0.90** * peso de la cimentación
	0.90 * peso del suelo
	1.20 * presión de Arquimedes

Carga de diseño:

Nr = 11.54 (T)	Mx = 0.00 (T*m) My = 0.00 (T*m)
Longitud del perímetro crítico:	1.48 (m)
Fuerza de punzonamiento:	9.26 (T)
altura útil de la sección	heff = 0.17 (m)
Tensión cortante:	3.68 (kgf/cm2)
Tensión cortante admisible:	13.32 (kgf/cm2)
Coeficiente de seguridad:	3.619 > 1

Fuente: Elaboración propia en Robot Structural Analysis (2025)

Ilustración 23: Nota de cálculo 4

Armadura teórica

Cimentación aislada:

Armaduras inferiores:

ELU : COMB2 N=10.44 Mx=0.00 My=0.00 Fx=0.00 Fy=-0.00
My = 0.96 (T*m) A_{sx} = 4.65 (cm2/m)

ELU : COMB2 N=10.44 Mx=0.00 My=0.00 Fx=0.00 Fy=-0.00
Mx = 0.96 (T*m) A_{sy} = 4.65 (cm2/m)

$A_{s\ min}$ = 4.65 (cm2/m)

Armaduras superiores:

A'_{sx} = 0.00 (cm2/m)
A'_{sy} = 0.00 (cm2/m)

$A_{s\ min}$ = 0.00 (cm2/m)

Fuste:
Armaduras longitudinales A = 4.00 (cm2) $A_{min.}$ = 4.00 (cm2)
A = 2 * (Asx + Asy)
Asx = 1.00 (cm2) Asy = 1.00 (cm2)

Fuente: Elaboración propia en Robot Structural Analysis (2025)

Ilustración 24: Nota de cálculo 5

Cuantitativo:

- Volumen del hormigón = 0.31 (m3)
- Superficie de encofrado = 1.26 (m2)

- Acero B 400 S
  - Peso total = 8.53 (kG)
  - Densidad = 27.46 (kG/m3)
  - Diámetro medio = 12.0 (mm)
  - Lista según diámetros:

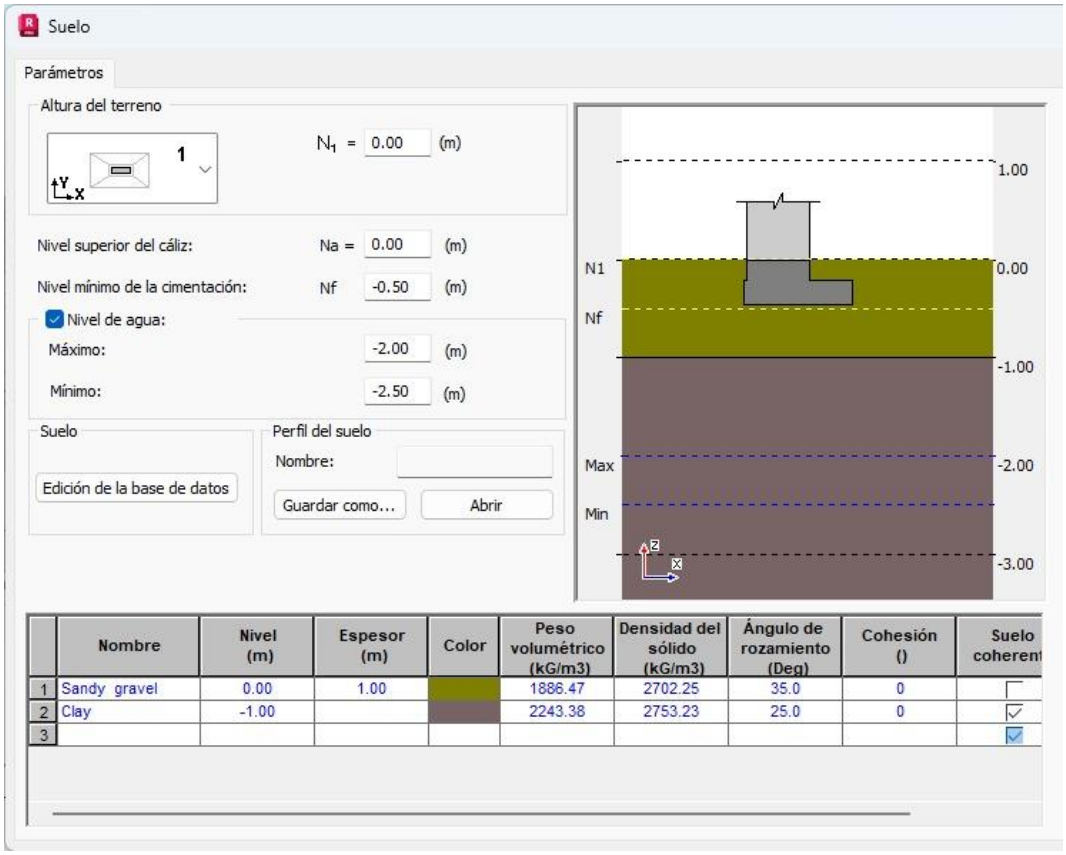
Diámetro	Longitud (m)	Número de elementos idénticos:
12	0.96	10

Fuente: Elaboración propia en Robot Structural Analysis (2025)

- **Vista de la zapata esquinera**

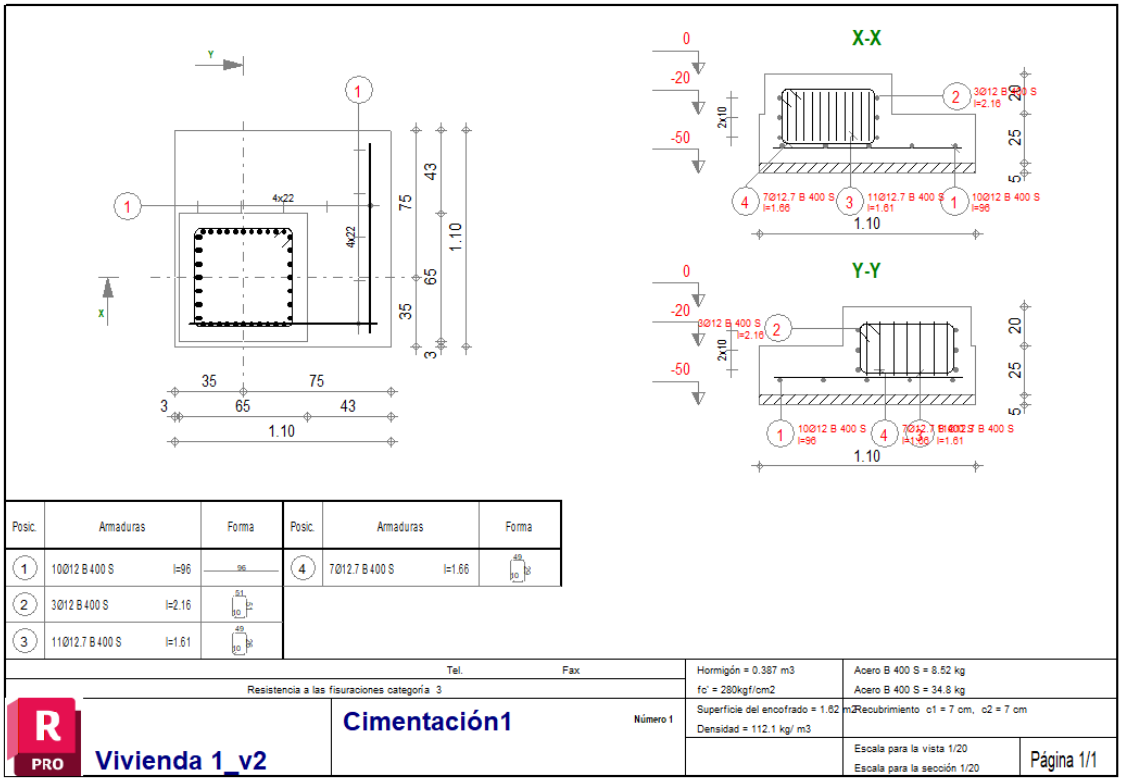
La zapata esquinera presenta armadura doble en ambas direcciones para resistir momentos producidos por cargas excéntricas. Su diseño asegura una correcta transmisión de esfuerzos al suelo y control de fisuración.

Ilustración 25: Suelo



Fuente: Elaboración propia en Robot Structural Analysis (2025)

Ilustración 26: Cimentación 1



Posic.	Armaduras		Forma
1	10Ø12 B 400 S	l=96	
2	3Ø12 B 400 S	l=2.16	
3	11Ø12.7 B 400 S	l=1.61	
4	7Ø12.7 B 400 S	l=1.66	

Tel. Fax
Resistencia a las fisuraciones categoría 3
Hormigón = 0.387 m3
fc' = 280kgf/cm2
Superficie del encofrado = 1.62 m2
Densidad = 112.1 kg/ m3
Acero B 400 S = 8.52 kg
Acero B 400 S = 34.8 kg
Recubrimiento c1 = 7 cm, c2 = 7 cm
Escala para la vista 1/20
Escala para la sección 1/20

Fuente: Elaboración propia en Robot Structural Analysis (2025)

Ilustración 27: Cargas

Cargas:

Cargas sobre la cimentación:

Caso	Natura	Grupo	N (T)	Fx (T)	Fy (T)	Mx (T*m)	My (T*m)
COMB1	de cálculo	----	1.92	-0.01	-0.00	-0.61	0.57
COMB2	de cálculo	----	2.62	-0.02	-0.02	-0.86	0.82
COMB3	de cálculo	----	1.98	-0.01	-0.01	-0.65	0.62

Fuente: Elaboración propia en Robot Structural Analysis (2025)

Ilustración 28: Suelo

Suelo:

Nivel del suelo:	N_1	= 0.00 (m)		
Nivel max. de la cimentación:	N_a	= 0.00 (m)		
Nivel del fondo del excavado:	N_f	= -0.50 (m)		
Nivel de agua:	$N_{máx.}$	= -2.00 (m)	$N_{mín.}$	= -2.50 (m)

1. **Sandy gravel**
   - Nivel del suelo: 0.00 (m)
   - Espesor: 1.00 (m)
   - Peso volumétrico: 1886.47 (kG/m3)
   - Densidad del sólido: 2702.25 (kG/m3)
   - Angulo de rozamiento interno: 35.0 (Deg)
   - Cohesión: 0.00 (kgf/cm2)

2. **Clay**
   - Nivel del suelo: -1.00 (m)
   - Espesor: 1.00 (m)
   - Peso volumétrico: 2243.38 (kG/m3)
   - Densidad del sólido: 2753.23 (kG/m3)
   - Angulo de rozamiento interno: 25.0 (Deg)
   - Cohesión: 0.61 (kgf/cm2)

Fuente: Elaboración propia en Robot Structural Analysis (2025)

Ilustración 29: Nota de cálculo 1

Cálculo de las tensiones

Considerar la redistribución plástica de las tensiones admisibles
Tipo de suelo debajo de la cimentación: estratificados
Combinación dimensionante: **ELS : COMB3 N=1.98 Mx=-0.65 My=0.62 Fx=-0.01 Fy=-0.01**
Coeficentes de carga: **1.00** * peso de la cimentación
1.00 * peso del suelo
1.00 * presión de Arquimedes
Resultados de cálculos: en el nivel del asiento de la cimentación
Peso de la cimentación y del suelo superpuesto: Gr = 1.27 (T)
Carga de diseño:
Nr = 3.25 (T) Mx = -0.23 (T*m) My = 0.21 (T*m)
Excentricidad de la carga:
e_B = 0.07 (m) e_L = 0.06 (m)
Dimensiones equivalentes de la cimentación: B_ = 0.96 (m) L_ = 0.97 (m)
Profundidad del asiento: Dmin = 0.45 (m)
Coeficientes de capacidad de carga:
N_γ = 33.92
N_c = 46.12
N_q = 33.30
Coeficientes de influencia de la inclinación de la carga:
i_γ = 0.99
i_c = 0.99
i_q = 0.99
Coeficientes de forma:
s_γ = 0.61
s_c = 1.71
s_q = 1.56
Coeficientes de sitio:
d_γ = 1.00
d_c = 1.19
d_q = 1.12
Parámetros geotécnicos:
C = 0.00 (kgf/cm2)
ϕ = 35.0 (Deg)
γ = 1886.47 (kG/m3)
Tensión en el suelo: 0.35 (kgf/cm2)
Resistencia de cálculo del suelo 0.77 (kgf/cm2)
Coeficiente de seguridad: 6.593 > 3

Fuente: Elaboración propia en Robot Structural Analysis (2025)

Ilustración 30: Nota de cálculo 2

Vuelco

Alrededor del eje OX

Combinación dimensionante:	**ELS : COMB3 N=1.98 Mx=-0.65 My=0.62 Fx=-0.01 Fy=-0.01**
Coeficentes de carga:	**1.00** * peso de la cimentación
	1.00 * peso del suelo
	1.00 * presión de Arquimedes
Peso de la cimentación y del suelo superpuesto:	Gr = 1.27 (T)
Carga de diseño:	
Nr = 3.25 (T)	Mx = -0.23 (T*m) My = 0.21 (T*m)
Momento estabilizador:	M_{stab} = 2.16 (T*m)
Moment de vuelco:	M_{renv} = 0.65 (T*m)
Estabilidad al vuelco:	3.332 > 1.5

Alrededor del eje OY

Combinación dimensionante:	**ELS : COMB3 N=1.98 Mx=-0.65 My=0.62 Fx=-0.01 Fy=-0.01**
Coeficentes de carga:	**1.00** * peso de la cimentación
	1.00 * peso del suelo
	1.00 * presión de Arquimedes
Peso de la cimentación y del suelo superpuesto:	Gr = 1.27 (T)
Carga de diseño:	
Nr = 3.25 (T)	Mx = -0.23 (T*m) My = 0.21 (T*m)
Momento estabilizador:	M_{stab} = 2.16 (T*m)
Moment de vuelco:	M_{renv} = 0.62 (T*m)
Estabilidad al vuelco:	3.489 > 1.5

Fuente: Elaboración propia en Robot Structural Analysis (2025)

Ilustración 31: Nota de cálculo 2

Análisis de punzonamiento y de cortante

Cizalladura

Combinación dimensionante:	**ELU : COMB2 N=2.62 Mx=-0.86 My=0.82 Fx=-0.02 Fy=-0.02**
Coeficentes de carga:	**0.90** * peso de la cimentación
	0.90 * peso del suelo
	1.20 * presión de Arquimedes
Carga de diseño:	
Nr = 3.76 (T)	Mx = -0.32 (T*m) My = 0.28 (T*m)
Longitud del perímetro crítico:	1.10 (m)
Esfuerzo cortante:	0.89 (T)
altura útil de la sección	heff = 0.17 (m)
Superficie de cizalladura:	A = 0.19 (m2)
Cuantía de armadura:	ρ = 0.27 %
Tensión cortante:	0.47 (kgf/cm2)
Tensión cortante admisible:	6.66 (kgf/cm2)
Coeficiente de seguridad:	14.07 > 1

Fuente: Elaboración propia en Robot Structural Analysis (2025)

Ilustración 32: Nota de cálculo 3

Cimentación aislada:

Armaduras inferiores:

ELU : COMB2 N=2.62 Mx=-0.86 My=0.82 Fx=-0.02 Fy=-0.02
My = 0.31 (T*m) A_{sx} = 4.65 (cm2/m)

ELU : COMB2 N=2.62 Mx=-0.86 My=0.82 Fx=-0.02 Fy=-0.02
Mx = 0.33 (T*m) A_{sy} = 4.65 (cm2/m)

$A_{s\ min}$ = 4.65 (cm2/m)

Armaduras superiores:

A'_{sx} = 0.00 (cm2/m)
A'_{sy} = 0.00 (cm2/m)

$A_{s\ min}$ = 0.00 (cm2/m)

Fuste:
Armaduras longitudinales A = 42.25 (cm2) $A_{min.}$ = 42.25 (cm2)
A = 2 * (Asx + Asy)
Asx = 7.78 (cm2) Asy = 13.35 (cm2)

Cuantitativo:

- Volumen del hormigón = 0.39 (m3)
- Superficie de encofrado = 1.62 (m2)

- Acero B 400 S
  - Peso total = 43.37 (kG)
  - Densidad = 112.07 (kG/m3)
  - Diámetro medio = 12.5 (mm)
  - Lista según diámetros:

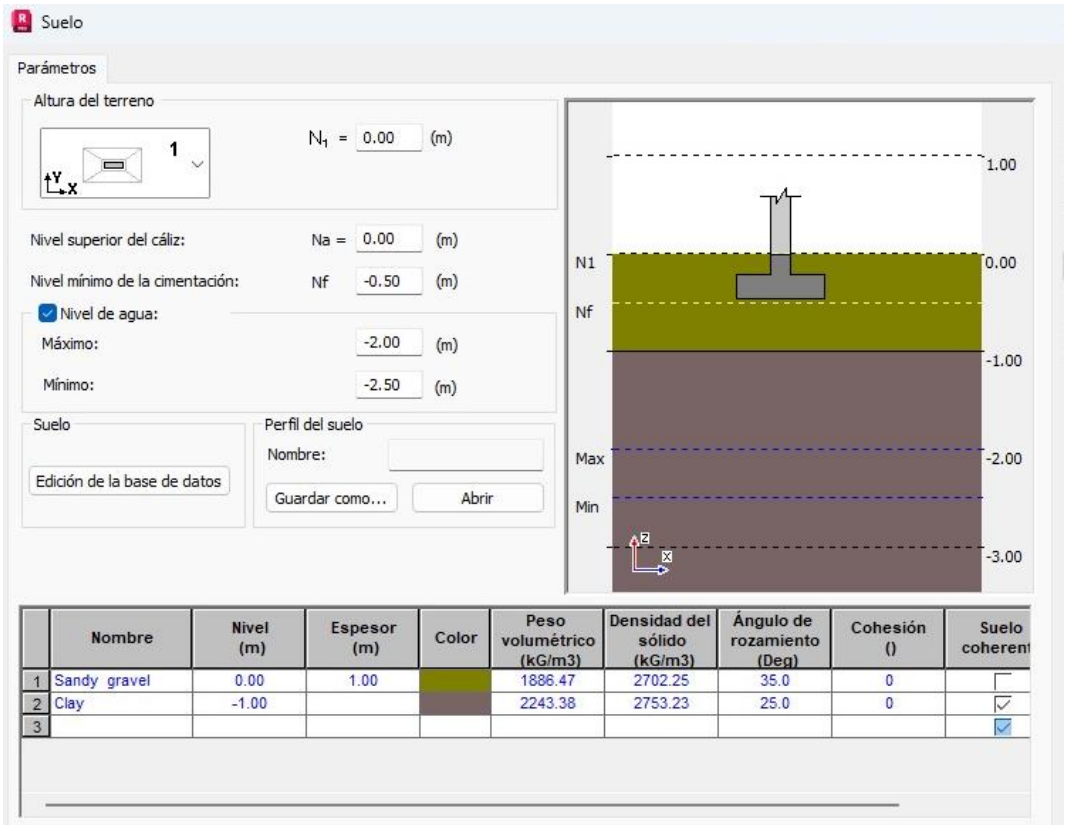
Diámetro	Longitud (m)	Número de elementos idénticos:
12	0.96	10
12	2.15	3
12.7 mm	1.61	11
12.7 mm	1.66	7

Fuente: Elaboración propia en Robot Structural Analysis (2025)

- **Vista de la zapata lateral**

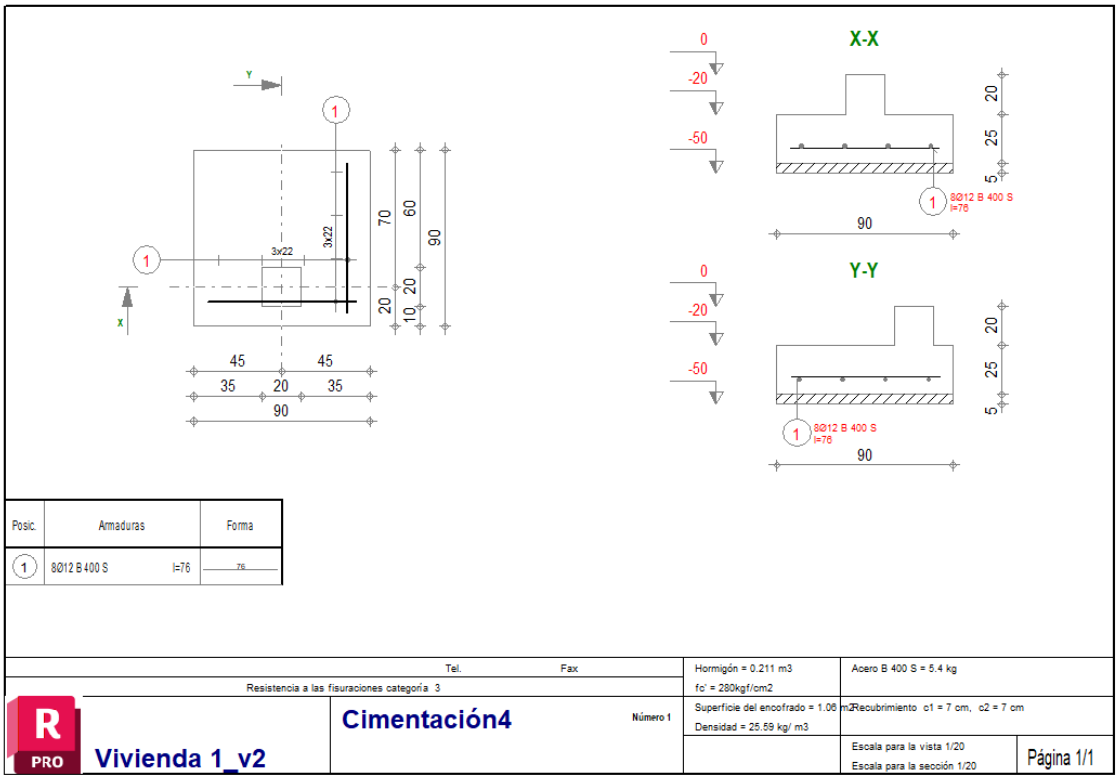
La zapata lateral se diseñó con una armadura doble en ambas direcciones para absorber las cargas axiales provenientes de las columnas perimetrales. Su geometría y refuerzo están optimizados para garantizar una distribución uniforme de esfuerzos hacia el suelo, asegurando estabilidad estructural y control de fisuración en condiciones de carga vertical típica.

Ilustración 33: Suelo



Fuente: Elaboración propia en Robot Structural Analysis (2025)

Ilustración 34: Cimentación 4



Fuente: Elaboración propia en Robot Structural Analysis (2025)

Ilustración 35: Cargas

Cargas sobre la cimentación:

Caso	Natura	Grupo	N (T)	Fx (T)	Fy (T)	Mx (T*m)	My (T*m)
COMB1	de cálculo	----	3.60	0.00	-0.01	-0.98	0.00
COMB2	de cálculo	----	5.32	0.00	-0.03	-1.55	0.00
COMB3	de cálculo	----	3.97	0.00	-0.02	-1.15	0.00

Fuente: Elaboración propia en Robot Structural Analysis (2025)

Ilustración 36: Suelo

Suelo:

Nivel del suelo:	N_1	= 0.00 (m)		
Nivel max. de la cimentación:	N_a	= 0.00 (m)		
Nivel del fondo del excavado:	N_f	= -0.50 (m)		
Nivel de agua:	$N_{máx.}$	= -2.00 (m)	$N_{mín.}$	= -2.50 (m)

1. **Sandy gravel**
   - Nivel del suelo: 0.00 (m)
   - Espesor: 1.00 (m)
   - Peso volumétrico: 1886.47 (kG/m3)
   - Densidad del sólido: 2702.25 (kG/m3)
   - Angulo de rozamiento interno: 35.0 (Deg)
   - Cohesión: 0.00 (kgf/cm2)

2. **Clay**
   - Nivel del suelo: -1.00 (m)
   - Espesor: 1.00 (m)
   - Peso volumétrico: 2243.38 (kG/m3)
   - Densidad del sólido: 2753.23 (kG/m3)
   - Angulo de rozamiento interno: 25.0 (Deg)
   - Cohesión: 0.61 (kgf/cm2)

Fuente: Elaboración propia en Robot Structural Analysis (2025)

Ilustración 37: Nota de cálculo 1

Cálculo de las tensiones

Considerar la redistribución plástica de las tensiones admisibles
Tipo de suelo debajo de la cimentación: estratificados
Combinación dimensionante: **ELS : COMB3 N=3.97 Mx=-1.15 My=0.00 Fx=0.00 Fy=-0.02**
Coeficentes de carga: **1.00** * peso de la cimentación
1.00 * peso del suelo
1.00 * presión de Arquimedes
Resultados de cálculos: en el nivel del asiento de la cimentación
Peso de la cimentación y del suelo superpuesto: Gr = 0.82 (T)
Carga de diseño:
Nr = 4.78 (T) Mx = -0.14 (T*m) My = 0.00 (T*m)
Excentricidad de la carga:
e_B = 0.03 (m) e_L = 0.00 (m)
Dimensiones equivalentes de la cimentación: B_ = 0.84 (m) L_ = 0.90 (m)
Profundidad del asiento: Dmin = 0.45 (m)
Coeficientes de capacidad de carga:
N_γ = 33.92
Nc = 46.12
Nq = 33.30
Coeficientes de influencia de la inclinación de la carga:
i_γ = 0.99
ic = 0.99
iq = 0.99
Coeficientes de forma:
s_γ = 0.63
sc = 1.67
sq = 1.54
Coeficientes de sitio:
d_γ = 1.00
dc = 1.21
dq = 1.14
Parámetros geotécnicos:
C = 0.00 (kgf/cm2)
ϕ = 35.0 (Deg)
γ = 1886.47 (kG/m3)
Tensión en el suelo: 0.63 (kgf/cm2)
Resistencia de cálculo del suelo 0.74 (kgf/cm2)
Coeficiente de seguridad: 3.514 > 3

Fuente: Elaboración propia en Robot Structural Analysis (2025)

Ilustración 38: Nota de cálculo 2

Vuelco

Alrededor del eje OX

Combinación dimensionante:	**ELS : COMB3 N=3.97 Mx=-1.15 My=0.00 Fx=0.00 Fy=-0.02**
Coeficentes de carga:	**1.00** * peso de la cimentación
	1.00 * peso del suelo
	1.00 * presión de Arquimedes
Peso de la cimentación y del suelo superpuesto:	Gr = 0.82 (T)
Carga de diseño:	
Nr = 4.78 (T)	Mx = -0.14 (T*m) My = 0.00 (T*m)
Momento estabilizador:	M_{stab} = 3.15 (T*m)
Moment de vuelco:	M_{renv} = 1.15 (T*m)
Estabilidad al vuelco:	2.749 > 1.5

Alrededor del eje OY

Combinación dimensionante:	**ELS : COMB3 N=3.97 Mx=-1.15 My=0.00 Fx=0.00 Fy=-0.02**
Coeficentes de carga:	**1.00** * peso de la cimentación
	1.00 * peso del suelo
	1.00 * presión de Arquimedes
Peso de la cimentación y del suelo superpuesto:	Gr = 0.82 (T)
Carga de diseño:	
Nr = 4.78 (T)	Mx = -0.14 (T*m) My = 0.00 (T*m)
Momento estabilizador:	M_{stab} = 2.15 (T*m)
Moment de vuelco:	M_{renv} = 0.00 (T*m)
Estabilidad al vuelco:	1185 > 1.5

Fuente: Elaboración propia en Robot Structural Analysis (2025)

Ilustración 39: Nota de cálculo 3

Análisis de punzonamiento y de cortante

Cizalladura

Combinación dimensionante:	**ELU : COMB2 N=5.32 Mx=-1.55 My=0.00 Fx=0.00 Fy=-0.03**
Coeficentes de carga:	**0.90** * peso de la cimentación
	0.90 * peso del suelo
	1.20 * presión de Arquimedes
Carga de diseño:	
Nr = 6.05 (T)	Mx = -0.21 (T*m) My = 0.00 (T*m)
Longitud del perímetro crítico:	0.90 (m)
Esfuerzo cortante:	2.88 (T)
altura útil de la sección	heff = 0.17 (m)
Superficie de cizalladura:	A = 0.15 (m2)
Cuantía de armadura:	ρ = 0.27 %
Tensión cortante:	1.88 (kgf/cm2)
Tensión cortante admisible:	6.66 (kgf/cm2)
Coeficiente de seguridad:	3.536 > 1

Fuente: Elaboración propia en Robot Structural Analysis (2025)

Ilustración 40: Nota de cálculo 4

Armadura teórica

Cimentación aislada:

Armaduras inferiores:

ELU : COMB2 N=5.32 Mx=-1.55 My=0.00 Fx=0.00 Fy=-0.03
My = 0.36 (T*m) A_{sx} = 4.65 (cm2/m)

ELU : COMB2 N=5.32 Mx=-1.55 My=0.00 Fx=0.00 Fy=-0.03
Mx = 1.22 (T*m) A_{sy} = 4.65 (cm2/m)

$A_{s\ min}$ = 4.65 (cm2/m)

Armaduras superiores:

A'_{sx} = 0.00 (cm2/m)
A'_{sy} = 0.00 (cm2/m)

$A_{s\ min}$ = 0.00 (cm2/m)

Fuste:
Armaduras longitudinales A = 5.12 (cm2) $A_{mín.}$ = 4.00 (cm2)
A = 2 * (Asx + Asy)
Asx = 0.02 (cm2) Asy = 2.54 (cm2)

Fuente: Elaboración propia en Robot Structural Analysis (2025)

Ilustración 41: Nota de cálculo 5

Cuantitativo:

- Volumen del hormigón = 0.21 (m3)
- Superficie de encofrado = 1.06 (m2)

- Acero B 400 S
  - Peso total = 5.40 (kG)
  - Densidad = 25.65 (kG/m3)
  - Diámetro medio = 12.0 (mm)
  - Lista según diámetros:

Diámetro	Longitud (m)	Número de elementos idénticos:
12	0.76	8

Fuente: Elaboración propia en Robot Structural Analysis (2025)

4.8 Comparativa de soluciones de vivienda de emergencia

En este capítulo se presenta una comparativa técnica y económica entre tres tipos de soluciones de vivienda destinadas a situaciones de emergencia en Guayaquil: la propuesta modular desarrollada en esta tesis, una vivienda de emergencia construida por organizaciones como TECHO (según modelo actualizado de 23.1 m² y USD 1.144), y una vivienda de interés social promovida por el MIDUVI. El análisis incluye parámetros como superficie, costo total, costo por metro cuadrado, materiales, tiempo de montaje y durabilidad estimada.

Tabla 6: Comparativa técnica y funcional de sistemas habitacionales temporales

Criterio	TECHO	MIDUVI (~57 m²)	Propuesta Modular
Área útil estimada	23.1 m²	57 m²	40.95 m²
Costo estimado	USD 1,144	USD 23,000+	USD 9,500 – 10,500
Costo por m²	≈ USD 49/m²	≈ USD 404/m²	≈ USD 256/m²
Materiales	Madera ligera y chapa galvanizada	Bloque de concreto	Paneles SIP y acero A36
Tiempo de entrega	1 semana	90 días	2-3 semanas
Durabilidad estimada	3–5 años	20+ años	15+ años
Cumple normativa estructural	Parcial	Sí (NEC)	Sí (NEC)

Fuente: Elaboración propia con base en datos de MIDUVI **(PROYECTO DE VIVIENDA CASA PARA TODOS - CPT, 2021)**, **(León Macías & Barahona Tutillo , 2024)** y propuesta desarrollada (2025)

- **Análisis comparativo**

La vivienda de emergencia tipo TECHO, actualizada según una tesis aplicada en Ecuador, representa una solución de bajo costo y rápida implementación, con mejoras en área y materiales respecto al modelo tradicional. A pesar de sus ventajas económicas, su durabilidad y cumplimiento normativo son limitados. Por otro lado, la vivienda institucional del MIDUVI es la más robusta en términos estructurales y habitabilidad, pero con un alto costo de inversión. La propuesta modular desarrollada en esta tesis se ubica entre ambas opciones, ofreciendo una solución de mediano costo con cumplimiento normativo, rápida instalación y condiciones óptimas de habitabilidad para emergencias prolongadas.

CONCLUSIONES

A partir del desarrollo del presente trabajo de titulación, se pueden establecer las siguientes conclusiones:

- Se identificaron y aplicaron los criterios técnicos, estructurales y normativos necesarios para el diseño de una vivienda modular de emergencia, conforme a la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-DS), criterios de habitabilidad mínima y requerimientos constructivos en zonas de riesgo sísmico y climático como Guayaquil. Se consideraron parámetros como cargas gravitacionales, transporte y ensamblaje modular, así como resistencia y durabilidad del sistema propuesto.
- Se diseñó una propuesta de vivienda modular con una superficie de 40.95 m^2, que incluye espacios mínimos habitables (dos dormitorios, baño, área social integrada), adaptable a diversas condiciones urbanas o rurales. La propuesta permite un proceso constructivo rápido (entre 15 a 25 días), desmontable, transportable y reutilizable, cumpliendo criterios de sostenibilidad, confort térmico y adecuación al clima tropical húmedo de Guayaquil.
- El modelo estructural fue desarrollado y analizado con el software Autodesk Robot Structural Analysis. Los resultados del análisis indicaron que los desplazamientos verticales fueron menores a 1 mm en el punto más flexible de la cubierta, y los esfuerzos internos máximos no superaron los 0.49 t·m en vigas ni los 10.44 t de carga axial en columnas, lo cual confirma que los perfiles utilizados (HEB 100, IPE 140, TEAE 100x11) trabajan dentro del rango elástico y cumplen

con factores de utilización menores a 0.60. Esto garantiza un comportamiento seguro y estable frente a las combinaciones de carga críticas.

- En la comparativa con otras soluciones habitacionales de emergencia como las viviendas de TECHO o MIDUVI, la propuesta desarrollada ofrece una solución intermedia en términos de costo, pero superior en durabilidad, adaptabilidad y cumplimiento estructural. Con un tiempo de montaje reducido y mayor vida útil, representa una alternativa viable para situaciones de emergencia prolongada o incluso soluciones habitacionales transitorias.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda a entidades gubernamentales como MIDUVI y a organismos de respuesta ante emergencias considerar el uso de este tipo de soluciones modulares metálicas con paneles SIP, por su rápida instalación, bajo peso, resistencia estructural y potencial para ser almacenadas y reutilizadas en múltiples emergencias.
- Es recomendable desarrollar análisis adicionales que evalúen el desempeño sísmico de esta vivienda modular en diversos tipos de terreno, especialmente en suelos blandos o no consolidados característicos de zonas marginales de Guayaquil, para adaptar el diseño de cimentación y anclaje de acuerdo con cada caso.
- Se sugiere incorporar tecnologías pasivas y activas como ventilación natural controlada, aleros solares o sistemas fotovoltaicos portátiles para aumentar el confort interior sin depender de redes convencionales, especialmente en zonas aisladas o rurales.

- Dada la versatilidad del sistema, se recomienda adaptar el diseño modular para usos como aulas móviles, centros de atención médica o espacios comunitarios temporales, especialmente en contextos post-desastre o durante emergencias prolongadas.

CRONOGRAMA DEL PLAN DE TRABAJO

Tabla 7: Cronograma

PLAN DE TRABAJO				TIEMPO EN MESES				
N	ACTIVIDADES	RESULTADOS/PRODUCTO /APRENDIZAJE	RESPONSIBLE	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
1	Elaboración de documentos: Anteproyecto	Elaboración del formato de anteproyecto, entrega de avances y finalización del documento	Josué Parra					
2	Revisión de planos, presupuesto, análisis de precios unitarios	Análisis de presupuestos, planos y análisis de precios unitarios para poder desarrollar el proyecto tesis	Josué Parra					
3	Sustentación del anteproyecto	Defensa del anteproyecto de tesis en las instalaciones de la Universidad Politécnica Salesiana	Josué Parra					
4	Desarrollo de la metodología a usarse	Investigación de la metodología para proceder al desarrollo del proyecto de tesis	Josué Parra					
5	Aplicación, análisis de la metodología seleccionada	Desarrollo de la metodología seleccionada para el proyecto de tesis	Josué Parra					
6	Presentación de avances al tutor del proyecto de tesis	Los avances se presentan al tutor para correcciones de manera semanal hasta la culminación del proyecto de tesis	Josué Parra					
7	Revisión de proyecto de tesis	Se emitirán las respectivas calificaciones del proyecto por parte del tutor	Josué Parra					
8	Elaboración de documentos: Proyecto de tesis final	Ajustar detalles para presentar el proyecto de tesis final y entregar los documentos	Josué Parra					
9	Sustentación del anteproyecto	Exposición y defensa del proyecto de tesis en las instalaciones de la Universidad Politécnica Salesiana	Josué Parra					

Fuente: Elaboración propia en Robot Structural Analysis (2025)

PRESUPUESTO

Tabla 8: Presupuesto

N.	Actividad/Material	Cantidad (u)	Costo unitario ($)	Costo*Cantidad
1	Papelería	5	3,00	15,00
2	Impresiones	5	20,00	100,00
3	Equipo: Computador	1	950,00	950,00
4	Transporte mensual	5	30,00	150,00
Costo Total				$1.215,00

Fuente: Elaboración propia en Robot Structural Analysis (2025)

BIBLIOGRAFÍA

(2015). Obtenido de https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/04/MTOP_NEC-SE-DS.pdf

ACNUR. (2022). *Manual para la planificación de albergues temporales.* Obtenido de https://www.unhcr.org/

autodesk. (2025). Obtenido de Soporte de Robot Structural Analysis Professional: https://www.autodesk.com/es/support/technical/product/robot-structural-analysis-professional

Autodesk, I. (2025). *Autodesk.* Obtenido de https://www.autodesk.com/autodesk-university/es/article/ISO-19650-Common-Data-Environment-and-Autodesk-Construction-Cloud-2021

Ballesteros, R., & Vera, M. (2022). Viviendas temporales modulares post-desastre: estudio de caso en Perú. *Revista Hábitat Sustentable*, 12(1), 45-56.

Better shelter. (s.f.). Obtenido de https://bettershelter.org/

buildingsmart. (2025). *buildingsmart.* Obtenido de https://www.buildingsmart.org/standards/bsi-standards/bim-collaboration-format/

Cabeza, L. F., Rincón, L., Vilariño, V., Pérez, G., & Castell, A. (2014). Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 394–416.

Chopra, A. K. (2017). *Dynamics of structures: Theory and applications to earthquake engineering.* Pearson.

Consejo de Arquitectura Humanitaria. (2020). Manual de ética y responsabilidad social en proyectos de emergencia. Obtenido de https://www.arquitecturahumanitaria.org

Cruz Roja Ecuatoriana. (2020). Obtenido de https://www.cruzroja.org.ec

Cruz, E. (2020). Vulnerabilidad y resiliencia urbana en Guayaquil frente al cambio climático. *Estudios de la Ciudad*, 7(3), 80–95.

Cutter, S. L., Burton, C. G., & Emrich, C. T. (2008). Disaster resilience indicators for benchmarking baseline conditions. *Journal of Homeland Security and Emergency Management*, 5(1), 1–22.

Davis, M. (1978). Core Housing: A Strategy for Urban Shelter. *Habitat International*, 2(4), 63–72.

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2018). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers* (tercera ed.). Wiley.

GAD Municipal de Guayaquil. (2023). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) del cantón Guayaquil 2023–2027. *Dirección de Planificación Municipal*. Obtenido de https://www.guayaquil.gob.ec

González, R., & Jofré, L. (2019). Sostenibilidad en viviendas de emergencia. *Revista de Arquitectura y Urbanismo*, 40(2), 33-41.

habitat. (2022). Obtenido de https://www.habitat.org/lac-es/quienes-somos/informes-anuales?utm_source=chatgpt.com

habitatyvivienda. (2015). Obtenido de https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/

IFRC. (2020). The importance of mental health in post-disaster shelter. Obtenido de https://www.ifrc.org

Inter-Agency Standing Committee. (2020). Guidelines on Temporary Shelter and Settlements in Emergencies.

International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies. (2021). Obtenido de https://www.ifrc.org/sites/default/files/2021-09/B-WDR-SP%20web.pdf

Lawson, M., Ogden, R., & Goodier, C. (2014). *Design in Modular Construction.* London: CRC Press.

León Macías , J. L., & Barahona Tutillo , P. S. (2024). *ANÁLISIS DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DE VIVIENDAS DE EMERGENCIA EN*. Obtenido de https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/28700/1/UPS-GT005586.pdf

Lydon, M., & García, A. (2015). Tactical Urbanism: Short-term Action for Long-term Change. *Island Press*.

McKinsey & Company. (Junio de 2020). Obtenido de https://www.mckinsey.com/~/media/mckinsey/industries/capital%20projects%20and%20infrastructure/our%20insights/the%20next%20normal%20in%20construction/executive-summary_the-next-normal-in-construction.pdf

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda [MIDUVI]. (2016). Catálogo de soluciones habitacionales emergentes post-terremoto. Quito.

Ministerio de desarrollo urbano y vivienda [MIDUVI]. (2023). Plan Nacional de Vivienda de Emergencia 2023–2027. Quito, Ecuador.

Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile [MINVU]. (s.f.). Manual de viviendas de emergencia. Santiago. *2011*.

Municipio de Guayaquil. (2022). Obtenido de Dirección de Gestión de Riesgos: www.guayaquil.gob.ec

normalizacion. (2017). Obtenido de https://www.normalizacion.gob.ec/2017/

ONU-Hábitat. (2020). Obtenido de https://unhabitat.org/es

pactomundial. (s.f.). Obtenido de https://www.pactomundial.org/noticia/agenda-2030-de-la-onu-hacia-donde-vamos/#:~:text=%C2%BFCu%C3%A1l%20es%20el%20objetivo%20de,corrupci%C3%B3n%20y%20el%20cambio%20clim%C3%A1tico.

PDOT. (2019). Obtenido de https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/08/Folletos-autoridades-provinciales.pdf

Pérez, M., & Jiménez, L. (2017). Evaluación de soluciones habitacionales provisionales en Manabí post-terremoto 2016. *Revista de Arquitectura de Ecuador*, 14(2), 88–101.

PROYECTO DE VIVIENDA CASA PARA TODOS - CPT. (2021). Obtenido de https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2022/06/PROYECTO-CPT.pdf?

Secretaría de Gestión de Riesgos. (2020). Manual técnico de gestión de riesgos y albergues temporales. Quito.

Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos. (2021). Mapa de amenazas naturales del Ecuador. Obtenido de https://www.gestionderiesgos.gob.ec/

ShelterBox. (s.f.). Obtenido de https://shelterbox.org/

Smith, R. E. (2010). *Prefab Architecture: A Guide to Modular Design and Construction*.

Specification for Structural Steel Buildings. (2016). Obtenido de https://www.aisc.org/globalassets/aisc/publications/standards/a360-16w-rev-june-2019.pdf?

Sphere Project. (2011). Normas humanitarias mínimas en respuesta humanitaria. Obtenido de https://spherestandards.org/

spherestandards. (2011). Obtenido de https://www.spherestandards.org/wp-content/uploads/Sphere-Handbook-2011-Spanish.pdf

TECHO Ecuador. (2025). Obtenido de https://ecuador.techo.org/

Torres, J., Paredes, M., & Ávila, D. (2021). Potencial del bambú como material estructural en Ecuador. *Ingenius: Revista de Ciencia y Tecnología*, 26(1), 56-63.

UN-Habitat. (2018). Emergency Housing Handbook. Obtenido de https://unhabitat.org/

UN-Habitat. . (2020).

UNHCR. (2020). Emergency Handbook: Shelter Section. Obtenido de https://emergency.unhcr.org/

UNITED NATIONS. (s.f.). Obtenido de https://sdgs.un.org/goals/goal12

unocha. (2018). Obtenido de https://www.unocha.org/publications/report/world/ocha-annual-report-2018

UN-Women. (2020). Manual para la integración del enfoque de género en albergues de emergencia. Obtenido de https://unwomen.org

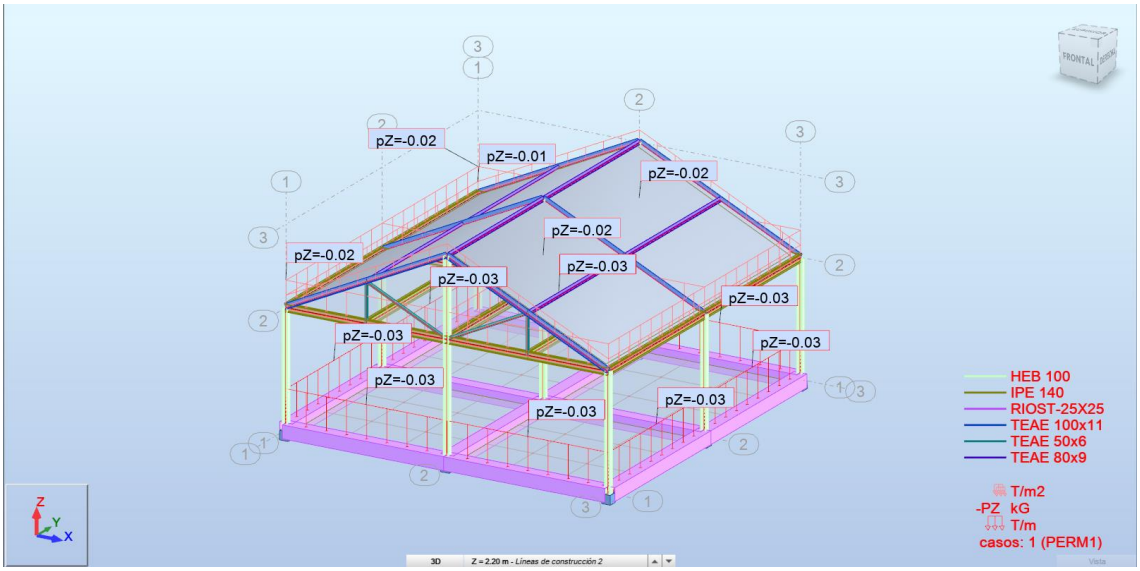
ANEXOS

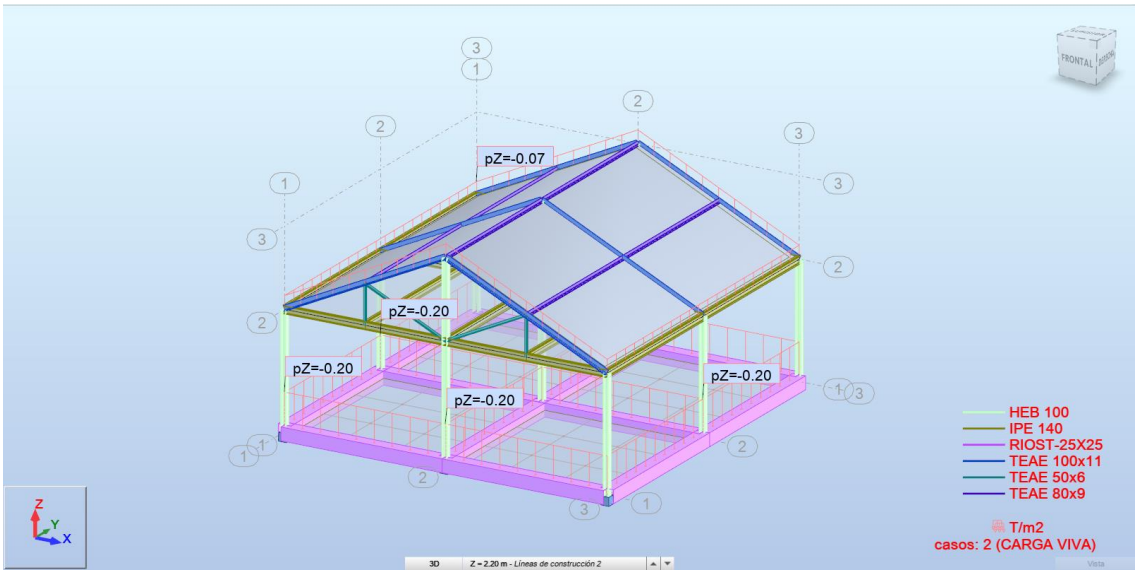
Cargas

#	Caso	Tipo de carga	Lista				
1	1:PERM1	peso propio	1A49 52A71	Estructura ent	-Z	Coef=1.00	Normal
11	2:CARGA	(EF) uniforme	27 28 44 45	PX=0.0	PY=0.0	PZ=-0.20	global
3	2:CARGA	(EF) uniforme	73	PX=0.0	PY=0.0	PZ=-0.07	global
4	1:PERM1	(EF) uniforme	73	PX=0.0	PY=0.0	PZ=-0.01	global
2	1:PERM1	sobrecarga uniforme	1 2 5 8 9 18 1	PX=0.0	PY=0.0	PZ=-0.03	global
50	1:PERM1	(EF) uniforme	46A49	PX=0.0	PY=0.0	PZ=-0.02	global
*							

MATRIZ DE COMPARACIÓN ENTRE PLACAS

Criterio	MgO	Yeso	Cemento	Contrachapa	OSB
Propagación de llama	Nula	F15	Nula	Alto	Alto
Emisión de humo	Ninguno	Bajo	Ninguno	Alto	Alto
Resistencia al agua (hidrofugabilidad)	Sí	No	No	No	No
Resistencia al moho	Sí	No	Sí	No	No
Transferencia térmica (W/m.K)	0.021	0.023	0.020	0.030	0.025
Peso (kg/m^2)	10.74	11.72	15.14	7.82	9.77
Combustibilidad	Ninguna	Poco consumible	Ninguna	Se consume al fuego	Se consume al fuego
Resistencia al impacto	Alto	Bajo	Bajo	Medio	Medio
Resistencia estructural	Sí	No	No	Sí	Sí
Requerimiento acabado interior	Cinta y Pintura	Cinta y Pintura	Revestimiento y Pintura	Revestimiento y Pintura	Revestimiento y Pintura
Requerimiento acabado exterior	Cinta, Sellado y Pintura	Cinta, Sellado y Pintura	Revestir y Pintar	Revestimiento	Revestimiento




pZ=-0.07
pZ=-0.20
pZ=-0.20
pZ=-0.20
pZ=-0.20
HEB 100
IPE 140
RIOST-25X25
TEAE 100x11
TEAE 50x6
TEAE 80x9
T/m2
casos: 2 (CARGA VIVA)

Robot Structural Analysis Professional 2026

Fecha: 30/07/25

Especificación de las propiedades del proyecto: Vivienda 1_v2

Nombre del archivo: VIVIENDA 1_V2 (1).RTD

Ubicación: C:

Creado: 29/07/25 08:56

Modificado: 29/07/25 08:56

Tamaño: 2158592

Autor: Josué Alexander Parra Ycaza

Oficina:

Dirección:

Características del análisis del ejemplo:

Tipo de la estructura: Lámina

Coordenadas del centro geométrico de la estructura:

X = 3.150 (m)

Y = 3.250 (m)

Z = 1.850 (m)

Coordenadas del centro de gravedad de la estructura:

X = 3.150 (m)

Y = 3.250 (m)

Z = 0.223 (m)

Momentos de inercia centrales de la estructura:

Ix = 87400.118 (kg*m2)

Iy = 80435.364 (kg*m2)

Iz = 148895.672 (kg*m2)

Masa = 18024.031 (kg)

Descripción de la estructura

Número de nudos: 73

Número de barras: 61

Elementos finitos barras: 100

Elementos finitos superficiales: 36

Elementos finitos volumétricos: 0

Uniones rigidas: 0

Relajaciones: 0

Relajaciones unilaterales: 0

Relajaciones no lineales: 0

Compatibilidades: 0

Compatibilidades elásticas: 0

Compatibilidades no lineales: 0

Apoyos: 9

Apoyos elásticos: 0

Apoyos unilaterales: 0

Apoyos no lineales: 0

Rótulas no lineales: 0

Casos: 5

Combinaciones: 3

Resumen del análisis

Método de solución - SKYLINE

Nombre de grados de la libertad estáticos: 384

Anchura de la banda

antes/después de la optimalización: 414 108

Duración de cálculos [s]

Duración máxima de agregación y descomposición.: 0

Duración máxima de interación subespacial.: 0

Duración máxima de solución del los problemas no lineales: 0

Duración total: 1

Espacio y la memoria utilizadas en el disco [B]

Espacio total en el disco duro: 292464

archivos temprales del solvente: 0

archivos temporales iteracion subespacio:0

Memoria: 404060

Elementos diagonales de la matriz de rigidez

Min/Max después de descomposición: 3.499519e+05 9.176779e+09

Precisión: 11

Lista de casos de carga / Tipos de análisis

Caso 1 : PERM1

Tipo de análisis: Estática lineal

Energía potencial : 1.10933e-03 (T*m)

Precisión : 1.62325e-15

Caso 2 : CARGA VIVA

Tipo de análisis: Estática lineal

Energía potencial : 6.55432e-04 (T*m)

Precisión : 1.53598e-15

Caso 3 : COMB1

Tipo de análisis: Combinación lineal

Caso 4 : COMB2

Tipo de análisis: Combinación lineal

Caso 5 : COMB3

Tipo de análisis: Combinación lineal