

**Universidad de Costa Rica
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil**

**Diseño de un modelo BIM para vivienda social, vertical, en huella pequeña,
y sostenible para los distritos centrales del cantón de San José y otros
núcleos urbanos**

Proyecto de Graduación

Que para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil

Presenta:

Felipe Andrés Corrales Vargas

Director de Proyecto de Graduación:

Erick Mata Abdelnour, PhD

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio



Director: Ing. Erick Mata Abdelnour



Asesor: Ing. Robert Anglin Fonseca



Asesor: Ing. Marcos Rodríguez Mora



Estudiante: Felipe Andrés Corrales Vargas

Derechos de Autor

Fecha: 2021, diciembre, 03

El suscrito, Felipe Andrés Corrales Vargas, cédula 4-0218-0081, estudiante de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, con número de carné **B22078**, manifiesta que es autor del Proyecto Final de Graduación **Diseño de un modelo BIM para vivienda de interés social vertical, en pequeña huella, y sostenible para el cantón de San José**, bajo la Dirección del **PhD. Ing. Erick Mata Abdelnour**, quien en consecuencia tiene derechos compartidos sobre los resultados de esta investigación.

Asimismo, hago traspaso de los derechos de utilización del presente trabajo a la Universidad de Costa Rica, para fines académicos: docencia, investigación, acción social y divulgación.

Nota: De acuerdo con la Ley de Derechos de Autor y Derechos Conexos Nº 6683, Artículo 7 (versión actualizada el 02 de julio de 2001); “no podrá suprimirse el nombre del autor en las publicaciones o reproducciones, ni hacer en ellas interpolaciones, sin una conveniente distinción entre el texto original y las modificaciones o adiciones editoriales”. Además, el autor conserva el derecho moral sobre la obra, Artículo 13 de esta ley, por lo que es obligatorio citar la fuente de origen cuando se utilice información contenida en esta obra.

DEDICATORIA

A mi mamá Lourdes y a mí papá Jorge, que han dado lo mejor de ellos por sus hijos y por darnos los mejores de los caminos, este logro es también de ellos.

También a todos mis abuelos, esta es solo una de muchas extensiones de sus acciones y valores que mantuvieron en sus vidas y nos transmitieron a sus nietos.

RECONOCIMIENTOS

A mi hermano Jorge y a mi hermana Andrea, que siempre han apoyado y buscado guiar a su hermano menor.

A mi director Erick Mata, un guía como el que no me esperaba encontrar cuando buscaba un director. Una excelente persona y profesional, que me transmitió muy fácilmente la pasión por el tema y por la ingeniería, y que me abrió las puertas a los que quizás sean los caminos que quiero tomar durante mi vida profesional.

A mis asesores Marcos Rodríguez y Robert Anglin, dos de los mejores ejemplos a seguir que conozco apenas empezando mi vida profesional, que me ayudaron con dedicación, paciencia, y un contagioso gusto por hacer bien las cosas.

A muchas otras personas que me asesoraron y brindaron su ayuda durante este proceso.

A mis amigos de la universidad que me acompañaron y brindaron su amistad especialmente en los últimos años de la carrera.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Justificación	1
1.1.1. Problema específico.....	1
1.1.2. Importancia.....	3
1.1.3. Antecedentes teóricos y prácticos.....	4
1.2. Objetivos.....	6
1.2.1. Objetivo general.....	6
1.2.2. Objetivos específicos	6
1.3. Delimitación del problema.....	7
1.3.1. Alcance	7
1.3.2. Limitaciones.....	8
1.4. Metodología.....	10
1.4.1. Etapa 1. Recopilación de información.....	10
1.4.2. Etapa 2. Diseño de los modelos.....	10
1.4.3. Etapa 3. Revisión de los modelos.....	11
1.4.4. Etapa 4. Generación de información a partir del modelo y su presentación.....	12
2. MARCO TEÓRICO.....	14
2.1. Vivienda de interés social (VIS) y para clase media en Costa Rica.....	14
2.1.1. Situación de la vivienda en Costa Rica.....	14
2.1.2. Sistema Financiero Nacional de la Vivienda (SNFV).....	19
Modelo de Vivienda.....	23
2.1.3. Urbana Inclusiva y Sostenible (MVUIS).....	23
2.2. Planos y modelos tipo en Costa Rica	26
2.3. Construcción sostenible aplicada a Vivienda de Interés Social en Costa Rica.....	27

2.4. Building Information Modeling (BIM).....	29
2.4.1. Tipos de modelos BIM	31
2.4.2. Interoperabilidad.....	32
2.4.3. Usos BIM.....	33
2.4.4. Nivel de Desarrollo	35
3. MODELO 3X1 DE VIVIENDA URBANA INCLUSIVA Y SOSTENIBLE.....	37
3.1. El entorno y retiros.....	37
3.1.1. Retiro frontal o antejardín	38
3.1.2. Retiro posterior o patio	38
3.1.3. Retiro lateral.....	39
3.2. Desarrollo y Análisis del Modelo arquitectónico	39
3.2.1. Área de la vivienda.....	39
3.2.2. Distribución arquitectónica	39
3.2.3. Dimensiones mínimas de las piezas.....	44
3.2.4. Patio de luz.....	46
3.2.5. Acabado del piso	47
3.2.6. Puertas	47
3.2.7. Ventanas, ventilación e iluminación.....	49
3.2.8. Cielo raso	55
3.2.9. Cubierta y estructura de techo	56
3.2.10. Aleros.....	59
3.2.11. Barandas y pasamanos	60
3.2.12. Repello, Pintura y acabados de paredes.....	63
3.3. Desarrollo y Análisis del Modelo estructural	64
3.3.1. Contrapiso	64
3.3.2. Muros.....	65

3.3.3. Muros livianos.....	72
3.3.4. Vigas.....	73
3.3.4.2. Vigas banquina.....	75
3.3.5. Entrepisos	76
3.3.6. Tapicheles y precintas	79
3.3.7. Estructuración básica.....	79
3.4. Desarrollo y análisis del Modelo Mecánico.....	83
3.4.1. Especificaciones de las piezas sanitarias	84
3.4.2. Características de las tuberías	94
3.4.3. Sistema de agua fría potable.....	96
3.4.4. Sistema sanitario.....	100
3.4.5. Sistema de ventilación	107
3.4.6. Sistema pluvial y canoas	108
3.5. Medio de egreso	110
3.5.1. Escaleras	111
3.5.2. Cerramiento.....	112
3.6. Cuantificación de los elementos o materiales.	113
3.7. Evaluación de la sostenibilidad por norma RESET	115
3.7.1. Calidad y bienestar espacial	115
3.7.2. Entorno y transporte	116
3.7.3. Suelos y paisajismo	116
3.7.4. Materiales.....	117
3.7.5. Optimización del uso del agua	117
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	118
4.1. Conclusiones.....	118

4.2. Recomendaciones	120
5. FUENTES DE CONSULTA.....	122
6. Anexos	126

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Marco metodológico para la elaboración del proyecto	13
Figura 2. Déficit habitacional por región, 2018.....	18
Figura 3. Déficit habitacional por decil de ingreso total del hogar neto, 2018.....	19
Figura 4. Total de bonos familiares para la vivienda pagados por propósito, 2005-2018.	22
Figura 5. Dimensiones del Building Information Modeling	30
Figura 6. Tipos de modelo BIM.....	32
Figura 7. Usos BIM por fase del proyecto	33
Figura 8. Algunos de los niveles de desarrollo mostrados a través de un elemento de viga. .	36
Figura 9. Supuestos de colindancia para el entorno del edificio.	37
Figura 10. Distribución en planta del primer nivel.....	41
Figura 11. Distribución en planta del segundo nivel.....	42
Figura 12. Distribución de altura entre el cielorraso y el NPT.....	43
Figura 13. Niveles del modelo y sus elevaciones.	44
Figura 14. Captura de pantalla de la tabla de planificación de habitaciones del modelo.	45
Figura 15. Patio de luz para el primer nivel.....	46
Figura 16. Vista en planta de la familia única de puerta del modelo.	49
Figura 17. Ventana de 1,4 m de altura y 1,5 m de ancho.....	52
Figura 18. Ventilación cruzada en la vivienda.....	54
Figura 19. Vista alámbrica de la estructura de la cubierta.	59
Figura 20. Vista frontal de la familia de barandas.....	61
Figura 21. Barandas y pasamanos para el tramo inferior de las escaleras.....	63
Figura 22. Vista realista de una sección del contrapiso.	65
Figura 23. Resistencia de la mampostería al fuego.	66
Figura 24. Dimensiones de un bloque modular y de la rejilla guía.....	67
Figura 25. Muro frontal de la fachada	68
Figura 26. Patrón de superficie de los bloques modulares.	69
Figura 27. Imagen para el renderizado de los muros de bloques modulares	70
Figura 28. Los muros alrededor del pasillo, y marcados en azul, son muros livianos.	72
Figura 29. Distribución en planta de las vigas para el segundo nivel.	74

Figura 30. Las vigas corona por encima de ventanas también tienen la función de viga cargador.	75
Figura 31. Vista tridimensional del sistema de entrepiso de viguetas y bloques de concreto.	76
Figura 32. Dimensiones de los elementos del sistema de entrepiso.....	77
Figura 33. Sección vertical mostrando la regularidad en altura en el eje más corto.	80
Figura 34. Sección vertical mostrando la regularidad en altura en el eje más largo.....	81
Figura 35. Ubicación y coordenadas del centro de masa y de rigidez para el primer nivel. ...	82
Figura 36. Espaciamiento mínimo entre piezas sanitarias.	85
Figura 37. Espaciamiento entre las piezas sanitarias del modelo.....	86
Figura 38. Vista tridimensional renderizada del servicio sanitario.	87
Figura 39. Vista tridimensional de la ducha.....	90
Figura 40. Vista tridimensional de la familia de la pila.....	92
Figura 41. Vista superior de la familia de pila y dimensiones	92
Figura 42. Componente de detalle que imita el patrón superior de un bloque	95
Figura 43. Sistema de agua potable del nivel 1	98
Figura 44. Vista tridimensional del área del baño y de limpieza del primer nivel	99
Figura 45. Planta del sistema de aguas residuales del segundo nivel.....	102
Figura 46. Vista tridimensional de sistema de ventilación del edificio (en naranja).....	108
Figura 47. Secciones de cubierta de techo.....	109

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Presencia de los factores de la dimensión Vivienda y Uso de Internet del IPM en hogares pobres.....	15
Cuadro 2. Número de viviendas por estado físico, según región y zona. 2018.....	17
Cuadro 3. Número de BFV pagados por estrato 2005-2018.....	21
Cuadro 4. Áreas y anchos mínimos para las habitaciones de una vivienda.....	45
Cuadro 5. Áreas en m2 para las ventanas según ancho y altura	50
Cuadro 6. Dimensiones de las ventanas por pieza.....	51
Cuadro 7. Relación entre la profundidad de la habitación y la altura del cielo raso	55
Cuadro 8. Valores de reflectividad solar para materiales de techo habituales.....	57
Cuadro 9. Altura de los barandales.....	60
Cuadro 10. Reflectividad solar de acabados de pared habituales	64
Cuadro 11. Longitud de los muros en la dirección Y.....	67
Cuadro 12. Longitud de los muros en la dirección X.....	68
Cuadro 13. Centro de masa, centro de rigidez y excentricidad para el primer nivel de la estructura.....	82
Cuadro 14. Código de colores de los sistemas de tuberías.....	84
Cuadro 15. Espacio libre mínimo para impedir una conexión cruzada.....	84
Cuadro 16. Diámetros nominal, interno y externo de tuberías de PVC según la norma ASTM2241.....	94
Cuadro 17. Diámetro mínimo, presión mínima y unidades de accesorio de alimentación por accesorio para el nivel 1	97
Cuadro 18. Diámetro mínimo de descarga y unidades de descarga para los accesorios.	100
Cuadro 19. Cargas máximas permisibles para tuberías de desagüe verticales (bajantes). ..	101
Cuadro 20. Distancias por guardar por los colectores de aguas residuales.....	103
Cuadro 21. Diámetro de los bajantes pluviales de acuerdo con el área de la sección de la cubierta.....	109
Cuadro 22. Resumen de los costos de los elementos del modelo.....	114

Corrales Vargas, Felipe Andrés.

Diseño de un modelo BIM para vivienda de interés social vertical, en huella pequeña, y sostenible para el cantón de San José.

Proyecto de Graduación - Ingeniería Civil-San José, C.R.:

F.A. Corrales V., 2021

xi,125, [5]h; ils. col.-39 refs

Resumen

En los núcleos urbanos de Costa Rica se pueden identificar terrenos en desuso o una gran cantidad de edificaciones de tan solo un nivel y en mal estado. Estas pueden sustituirse por proyectos de vivienda de mayor densidad para las familias de ingresos bajos, para las cuales actualmente existe una oferta muy limitada. El modelo desarrollado en este proyecto pretende crear un prototipo que facilite el diseño de este tipo de edificio para los desarrolladores, e incentive viviendas para centros urbanos que puedan ser financiadas por el Sistema Financiero Nacional para la Vivienda. El caso corresponde a una alternativa de tres niveles con una vivienda por nivel en un terreno de huella pequeña y fácilmente adaptable.

Se realizó un compendio de la normativa aplicable al tipo de edificación del proyecto. A partir de esta, el diseño se generó apoyándose en la metodología BIM para crear un modelo arquitectónico-estructural y uno mecánico. En estos se incluyó información para facilitar distintos procesos de un desarrollo constructivo a potenciales usuarios del prototipo. Las herramientas BIM se aprovecharon para validar y coordinar la interrelación de ambos modelos. A partir de la información de los proyectos, se verificó el cumplimiento de la reglamentación nacional que aplica y se cuantificaron sus elementos.

El diseño generado satisface los requisitos de los reglamentos nacionales para esta clase de edificaciones. Junto con los componentes del BIM, forma una herramienta que facilita y promueve buenas prácticas en el diseño de proyectos de sus características. Cuenta con mucha flexibilidad para ser ajustado a desarrollos con condiciones similares. También, algunos principios de diseño sostenible se pudieron incorporar sin complicaciones ni costos adicionales.

F.A.C.V.

Conceptos clave: BIM, vivienda de interés social, construcción sostenible, diseño, vivienda

Ing. Erick Mata Abdelnour

Escuela de Ingeniería Civil

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Justificación

1.1.1. Problema específico

Los distritos centrales de la ciudad de San José han sufrido un importante despoblamiento en las últimas décadas. De acuerdo con el censo del año 1963, la población en los distritos Carmen, Hospital, Merced y Catedral, fue de 101 162 personas (Chona y Grün, 2020). Para el último censo realizado, en el año 2011, la población se había reducido a tan solo 47 000 personas. El éxodo de más de la mitad de su población hacia otros cantones o distritos del mismo cantón de San José ha provocado el surgimiento de espacios abandonados, zonas descuidadas y edificios subutilizados.

De acuerdo con el Plan de Desarrollo Municipal 2017-2020 de la Municipalidad de San José (2017), el 1,2 % de las 77 607 edificaciones del cantón están completamente desocupadas, y el 0,9 % tienen al menos uno de sus pisos o locales desocupados. Asimismo, los cuatro distritos centrales concentran en conjunto el 63,6 % de todas las edificaciones desocupadas del cantón y el 75% de los edificios parcialmente desocupados.

Según la Municipalidad de San José (2017), uno de los obstáculos que dificultan el repoblamiento del cantón es el nivel de urbanización. El 86,4 % del territorio cantonal está urbanizado y el 13,6 % está en zonas donde es prohibido o donde no se recomienda urbanizar. De este 86,4 %, apenas el 3 % corresponde a predios sin construir, además, estos predios se caracterizan por ser de un tamaño pequeño, con el 89,4 % siendo de menos de 500 m². Por lo tanto, la disponibilidad de terrenos sin construir para el desarrollo proyectos de mediana o gran escala es muy limitada, y los precios elevados debido a la baja cantidad de oferta.

La baja poblacional del cantón también puede estar relacionada a la expansión horizontal y la migración de población, especialmente a cantones de la periferia, que ha caracterizado el crecimiento Gran Área Metropolitana (GAM). Al mismo tiempo, el desarrollo de edificaciones

verticales que densificaran la ciudad fue casi nulo hasta la última década. En el caso de San José, apenas un 2,6% de las edificaciones del cantón son de tres y más pisos, casi dos tercios de ellas (64,5 %) son de un solo piso, y el 32,9 % corresponde a edificaciones de dos pisos (Municipalidad de San José, 2017).

El Plan de Repoblamiento ha tenido éxito en atraer inversiones de desarrollos verticales a los cuatro distritos centrales. Sin embargo, estas están dirigidas a las familias de ingresos medios o altos, y la mayoría se encuentra en zonas que actualmente no requieren de intervención o impulso para desarrollarse. La preferencia de los desarrolladores privados por inversiones para otros estratos, sumado a la falta de terrenos y su costo en los distritos centrales, hace que las opciones asequibles para las familias de ingresos bajos o medio bajos sean muy reducidas.

Además, de acuerdo con el Compendio Estadístico de Vivienda 2018 del Banco Hipotecario de la Vivienda (BANHVI, 2018), en ese año, el 78 % de los bonos familiares de vivienda (BFV) fueron colocados fuera del GAM. En el caso de los distritos centrales del cantón de San José, en el periodo entre los años 2010 y 2018 apenas se pagaron 49 BFV, el 0,05 % del total de los otorgados en el país.

Posiblemente la implementación de metodologías modernas pueda impulsar el desarrollo de vivienda para las familias de ingresos bajos. La metodología Building Information Modeling (BIM) tiene muchos beneficios para el diseñador y el constructor que pueden reducir los costos y hacer más atractivas las inversiones en proyectos de este tipo. Sin embargo, en Costa Rica las normativas y guías que regulen o impulsen esta metodología apenas se empiezan a implementar. Además, el nivel de adopción del BIM es bajo en todos los sectores, incluidas las instituciones públicas que por lo general se han encargado del desarrollo de vivienda de interés social (VIS).

También, los desarrolladores VIS encontraron en las casas prefabricadas un nicho para lograr opciones más económicas, de mayor facilidad y velocidad constructiva. Pero, el desarrollo de VIS en Costa Rica se ha caracterizado por utilizar los mismos modelos prototipo independientemente del lugar, sin tomar en cuenta la oportunidad de mejora al bienestar que un diseño adaptado puede aportar.

Por último, en el desarrollo de VIS se ha dejado de lado en los esfuerzos por lograr una mayor sostenibilidad en la construcción, en el mantenimiento de los hogares y por reducir la huella

de carbono del país. Esto a pesar del abaratamiento de las tecnologías, los ahorros que significa y una mayor concientización de la población en general.

1.1.2. Importancia

El modelo BIM desarrollado en este proyecto de graduación pretende servir como prototipo para el desarrollo de opciones de vivienda de interés social y clase media en los distritos centrales del cantón de San José. Se adaptó a las condiciones específicas de disponibilidad de terrenos en estos sitios al ser diseñado con una huella pequeña, optando por la verticalidad y la densificación. También se espera que posteriormente pueda ser aplicado a otros núcleos urbanos existentes.

A pesar del despoblamiento que ha sufrido, el centro del cantón de San José sigue siendo un importante foco de trabajo, comercio, y de servicios públicos y privados para personas fr toda clase ingresos. El proporcionar opciones de vivienda en este lugar para las familias de ingresos bajos (especialmente tomando en cuenta la muy escasa oferta actual), abre las puertas a esta población a disfrutar de los beneficios que el centro del cantón ofrece, y a ser parte los esfuerzos para crear una ciudad más funcional y con calidad de vida.

Por otro lado, el prototipo ofrece un incentivo para los desarrolladores, especialmente para pequeñas y medianas empresas (PYMES) del sector inmobiliario y de construcción, para construir edificaciones basadas en el modelo, y colaborar en solventar las necesidades de vivienda de las familias de ingresos bajos y medios-bajos en núcleos urbanos.

Se pone al alcance de los interesados un modelo que puede agilizar y facilitar los procesos de diseño y de construcción. Esto se puede lograr al basarse en el almacenamiento y la transmisión de la información de forma estándar que caracteriza a la metodología BIM, al estar diseñado según normativas nacionales, y tomando en cuenta productos y métodos constructivos disponibles a nivel nacional.

También, el modelo tiene el potencial de facilitar la adopción de la metodología BIM por parte de diseñadores y constructores que aún no lo han hecho. Se ofrece un modelo simple que

puede ser ejecutado como proyecto piloto, y que emplea los estándares internacionales más extendidos del BIM, y con posibilidad de ser implementados en el país.

El entorno común y la posibilidad de compartir la información que ofrece el BIM, mejora la coordinación y colaboración entre las distintas disciplinas y sus equipos. Además, se reduce la probabilidad de cometer errores u omisiones en el diseño evitando demoras y costos imprevistos. El modelo BIM también ayuda a identificar y notifica los efectos de cada modificación en el diseño en el resto de los elementos del modelo con más eficiencia.

Estos y otros numerosos beneficios asociados a la aplicación de la metodología BIM, en conjunto con contar con un prototipo, pueden mejorar la rentabilidad de los proyectos de VIS en centros urbanos. Las empresas pueden ser impulsadas al experimentar una mejora en sus rentas de estos proyectos, aumentando a la vez su probabilidad de éxito y supervivencia. Al mismo tiempo, los beneficios se trasladan al consumidor abriendo más opciones de vivienda interés social y para familias de ingresos medios.

Por último, las guías y normas de construcción sostenible han empezado a incluir a las viviendas sociales. Se han creado certificaciones de sostenibilidad específicas para viviendas e incluso viviendas sociales. Además, las tecnologías que permiten una construcción y operación sostenible de una edificación se han hecho más accesibles y se han extendido.

Incentivar las metodologías, materiales, y acreditaciones de sostenibilidad en la construcción de vivienda para familias de ingresos medios o bajos, a través de su inclusión y demostración en un modelo prototipo que se espera sea altamente replicado, puede ayudar contribuir a reducir el impacto y la huella de carbono de la construcción en Costa Rica. También, puede estimular y facilitar su implementación entre los desarrolladores y usuarios de las viviendas.

1.1.3. Antecedentes teóricos y prácticos

La metodología BIM es un campo de la construcción que cuenta con pocos años de desarrollo en Costa Rica. Esto, sumado al hecho de que el mayor avance se ha dado en el sector privado y entre las empresas constructoras de mayor tamaño, se refleja en el trabajo investigativo y de desarrollo en la academia del país. Solamente se identificaron un número reducido de

Trabajos Finales de Graduación (TFG) en las universidades públicas del país relacionados al BIM.

En el caso de la Universidad de Costa Rica (UCR), los primeros trabajos de graduación relacionados al BIM, en los años 2015 y 2016, se enfocaron en identificar y medir las ventajas frente a los métodos tradicionales. En el año 2019, dos TFG que tratan la temática BIM coinciden en generar guías para la implementación de la metodología, posiblemente impulsados por abundante evidencia que se ha generado en los últimos años a nivel mundial sobre los beneficios del método.

Se espera que, con la creación del Laboratorio de Construcción Virtual de la UCR, la implementación de la capacitación en programas BIM en los planes de estudio de las carreras relacionadas a la construcción, y la creación de la Estrategia Nacional BIM, se incremente la investigación y la aplicación del BIM en el país.

En el Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC) también se ha realizado investigación o aplicaciones prácticas del BIM en forma de proyectos de graduación. Se han enfocado especialmente en la aplicación de la metodología en proyectos, donde inclusive se ha empleado en diseños existentes de vivienda de interés social de una planta. También se han llevado a cabo estudios de la implementación del BIM en empresas.

Asimismo, el Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO) adaptó las primeras normas ISO relacionadas al BIM en el año 2020, con la norma INTE/ISO 19650: *Organización y digitalización de la información sobre edificaciones e infraestructura, incluyendo modelado de la información de la construcción (BIM). Gestión de la información con el uso del Modelado de la Información de la Construcción (BIM)*.

Por otro lado, la Cámara Costarricense de la Construcción (CCC) impulsa la metodología en la construcción a través del comité técnico denominado BIM Forum Costa Rica. Lo hace principalmente a través de webinars, capacitaciones o eventos como el Congreso BIM, realizado anualmente, y que reúne expositores internacionales y nacionales, y empresas nacionales del sector construcción que ya ejecutan la metodología.

En cuanto a la vivienda de interés social (VIS), los antecedentes teóricos y prácticos se identifican en una mayor variedad de disciplinas, entre ellas el trabajo social, la arquitectura y

la ingeniería civil. Destaca por su relación con este TFG, el realizado por Luis Garita en el año 2019 sobre la evaluación de los sistemas constructivos de VIS en Costa Rica.

La incorporación de la sostenibilidad en la construcción de VIS es cubierta directamente por varios TFG de la Universidad de Costa Rica. En el año 2014, Sebastián Vega llevó a cabo cálculo y reducción de la huella de carbono en materiales de construcción de VIS. Por su parte, Jonathan Montoya (2017) estimó el consumo energético de los materiales de construcción utilizados en proyectos de VIS.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Desarrollar un modelo BIM para vivienda de interés social sostenible, en huella pequeña y de tres niveles para simplificar el proceso de diseño y promover esta modalidad de desarrollo de vivienda en el cantón central de San José y otros núcleos urbanos.

1.2.2. Objetivos específicos

- a) Confeccionar un modelo prototipo de fácil adaptabilidad que simplifique la aprobación de permisos de construcción al tomar en cuenta la normativa y recomendaciones aplicables al tipo de edificación en la zona.
- b) Elaborar y validar el modelo coordinado BIM a partir del diseño de modelos individuales estructural-arquitectónico y mecánico.
- c) Aplicar en el modelo principios de diseño sostenible que impulsen la eficiencia energética de la edificación, así como el ahorro en los servicios de agua y electricidad para los usuarios.

1.3. Delimitación del problema

1.3.1. Alcance

El modelo fue diseñado para un entorno urbano en climas tropicales como el de Costa Rica, preferiblemente con influencia del futuro Tren Rápido de Pasajeros (TRP) u otros sistemas de transporte público, y con sistema de alcantarillado. Es específicamente modelado para los cuatro distritos centrales del cantón de San José: Merced, Catedral, Hospital y Carmen, sin embargo, puede ser extendido a otros cascos urbanos que cumplan con las características mencionadas.

La población meta de las viviendas son familias de menos de cinco miembros de estrato medio en 2do nivel o de estrato bajo en 3er y 4to nivel, de acuerdo con la clasificación realizada por el Banco Hipotecario de la Vivienda (BANHVI), que utilicen el transporte público y que deseen optar por bonos de vivienda o la declaratoria de interés social para construir sus hogares. También, el modelo está dirigido a pequeñas y medianas empresas del sector construcción o profesionales independientes. Sin embargo, cualquier desarrollador podrá tener acceso a este.

El diseño de la edificación se realiza para un terreno de huella pequeña, es de tres niveles conectados por escaleras comunes. Cada uno de los pisos a ser ocupado por una única familia, y empleando sistema constructivo bloques de concreto modular y entrepiso de viguetas de concreto y bloques, pero se pretende que este pueda ser adaptado para otros sistemas constructivos.

Se buscó el uso de materiales de bajo costo, ahorro de materiales para que el valor de las viviendas sea menor al tope de vivienda de interés social (VIS), de forma que pueda ser financiado por el Sistema Financiero Nacional Para la Vivienda (SFNV).

La metodología BIM se empleó para la etapa de diseño, no se contemplaron las etapas de construcción ni de operación. Las dimensiones BIM que se abarcaron fueron el diseño geométrico detallado del modelo con documentación (2D y 3D) y el presupuesto de los costos de la obra (5D). No se incluyeron las dimensiones de análisis energético (6D), el mantenimiento durante el ciclo de operación de la edificación (7D), y la planificación de la construcción y cronograma (4D).

Se elaboró un modelo estructural y arquitectónico, uno mecánico y uno federado de estos dos. No se diseñó un modelo eléctrico ni tampoco se incluyeron luminarias, tomas u otros aparatos eléctricos. Asimismo, se utilizó únicamente el software Revit en conjunto con Excel para no limitar el alcance entre profesionales o empresas al emplear también extensiones o software que implican costos adicionales.

En cuanto a su papel como modelo tipo, no se pretende que el modelo cuente con el sello APC del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA) por lo que no sigue estrictamente la definición del CFIA para planos tipo, ya que los diseños basados en él podrían variar considerablemente. Por lo tanto, más bien procura servir como referencia o incluso como base.

También, se basó en la norma RESET para procurar la sostenibilidad ambiental en el modelo, sin embargo, no pretende que el diseño opte por la certificación de dicha norma. Esto debido a que factores como el no contar con un terreno definido hacen que no sea posible asegurar el cumplimiento de ciertos criterios. A pesar de esto, se busca que el prototipo facilite seguir los requisitos de la norma, o incluso, optar por la certificación.

Para la evaluación de los requisitos, la norma RESET los divide según aspectos de diseño, construcción y operación. Para efectos de este TFG, solo se consideraron los aspectos de diseño que apliquen para una edificación de la categoría de vivienda de interés social.

1.3.2. Limitaciones

El modelo pretende servir de prototipo para edificaciones en diferentes terrenos de los cuatro distritos centrales de San José por la necesidad de vivienda asequible en estos distritos. No se diseña para un terreno en específico y se supone un terreno plano de ciertas dimensiones, por lo tanto, se simplifica en gran medida el modelo del sitio, pero difícilmente refleja una situación real. Además, las dimensiones del terreno, y las colindancias a ambos lados que se supondrán, dificultan el diseño para la iluminación, ventilación natural y otros factores de bienestar y sostenibilidad.

No se identificaron estudios que muestren las preferencias y necesidades de la población meta para basar el diseño en estas. Tampoco estudios sobre los desarrolladores, su interés por esta clase de desarrollos, preferencias por métodos constructivos, entre otros.

Además, desconocer el tipo de suelo y la ubicación del edificio limita el diseño de las cimentaciones. Un terreno puede presentar condiciones particulares que requieren de un diseño especial de los cimientos, y, por lo tanto, no seguir el modelo prototipo. Por esta razón, se deja fuera del alcance el diseño de este elemento estructural. También en lo referente a diseño, la directriz 27 no cuenta con una sección específica para estructuras del tipo del modelo, y muchas de sus especificaciones se refieren a viviendas de un nivel.

En cuanto a la metodología BIM, de acuerdo con Eastman (2011, como se citó en Campos, 2019), aunque los modelos BIM ofrecen una adecuada cuantificación de los elementos, no son un reemplazo del presupuesto, debido a que este, además de los elementos y sus costos, considera aspectos que no son posibles de cuantificar de forma automática mediante el BIM.

El Plan BIM de Costa Rica apenas empieza a gestionarse, el inicio de su elaboración se tenía previsto para marzo del 2020. Aún no se definen los estándares internacionales que se adoptarán, por lo que no se sabe con certeza cual será el camino que seguirá el país para la formalización de la metodología. También, las primeras dos normas ISO sobre BIM fueron adaptadas al país hasta el año 2020.

Además, el nivel de adopción BIM en Costa Rica es bajo en la academia, sector público y privado, se ha concentrado especialmente en las constructoras de mayor tamaño o medianas. Por lo tanto, las fuentes de consulta específicas para el país son reducidas. Lo mismo ocurre con las experiencias previas de la implementación del BIM en proyectos en el país, especialmente en cuanto a vivienda de interés social y sostenible. Igualmente, existen muy pocas bibliotecas o elementos BIM nacionales por lo que en algunos casos se deben modelar.

Finalmente, el Modelo de Vivienda Urbana Inclusiva y Sostenible (MVUIS) es un concepto muy reciente en Costa Rica. Aunque la vivienda de interés social vertical está tomando fuerza con proyectos como Torres de la Montaña, los precedentes dentro de los núcleos urbanos son muy escasos, especialmente con las mismas características del modelo de este trabajo de graduación. A pesar de eso, a octubre del 2021 se encuentra en desarrollo un edificio basado en el MVUIS en el sector de Pavas, y se espera que otros lo estén pronto.

1.4. Metodología

En la Figura 1 se muestra la metodología que se siguió para la elaboración de este proyecto de graduación. También, las diferentes etapas que compusieron el proceso se describen a continuación:

1.4.1. Etapa 1. Recopilación de información

Como primera etapa se llevó a cabo una recopilación de todos los requisitos que la normativa nacional establece para esta clase de edificaciones. Se analizaron estudios sobre el estado de la vivienda en Costa Rica para conocer la situación específica en el núcleo urbano de la ciudad de San José, y conocer la demanda y necesidad de este tipo de soluciones.

A partir de esta información, se definieron los requisitos espaciales y funcionales que deberán tener los distintos modelos. Se decidió el método constructivo a diseñar, materiales a utilizar, alcance BIM, entre otros.

También, se conocieron proyectos similares a partir de reuniones virtuales con sus desarrolladores o diseñadores que a la vez brindaron recomendaciones. Además, se dio seguimiento a los eventos realizados por los impulsores del Modelo de Vivienda Urbana Inclusiva y Sostenible (MVUIS) de forma virtual para promover el modelo entre municipalidades, desarrolladores u otros interesados.

Por último, se revisaron los requisitos de sostenibilidad definidos por la norma RESET. Se decidió también incorporar los lineamientos y recomendaciones de la guía EDGE que sean factibles para el alcance, presupuesto, y las necesidades del proyecto.

1.4.2. Etapa 2. Diseño de los modelos

El diseño del modelo se realizó en el software Revit. Se empezó con el modelo arquitectónico-estructural definiendo el origen de coordenadas y a partir de este las líneas para el terreno. Se

definió una grilla para el trazado modular de los muros y otros elementos que se ajustaran a este. Se utilizaron los objetos de la biblioteca de Revit, algunos de estos se modificaron para crear nuevas familias, otros se descargaron de bibliotecas de objetos BIM en línea, y los que no estaban disponibles en estos medios se modelaron como nuevas familias.

Una vez que el modelo arquitectónico-estructural (ARQ-STR) contó con una distribución definida, se inició el modelo mecánico. Primero se creó un nuevo proyecto en Revit al que se le enlazó el modelo ARQ-STR, y se copiaron los aparatos sanitarios de este como los inodoros y la ducha al nuevo modelo. Luego, se crearon nuevas familias de tuberías y sistemas de Revit para los diferentes sistemas mecánicos.

El modelo ARQ-STR experimentó rediseños después de que se iniciara el modelo mecánico, por lo que también se debieron modificar ambos proyectos. También, a pesar de que se habían analizado en la etapa anterior, el nivel de detalle de algunos elementos del modelo se cambió para acomodarse a las necesidades de un modelo prototipo, por ejemplo, el dejar fuera del alcance el acero de refuerzo.

1.4.3. Etapa 3. Revisión de los modelos

Al tratarse de un proyecto de diseño, se requiere que parte de la revisión se realice de forma constante durante la etapa diseño. Para esto, se monitoreó el cumplimiento de los requisitos con apoyo de tablas de planificación que, entre otros, incluyen datos de áreas, anchos o elevaciones del modelo en su estado presente.

El diseño fue revisado en reuniones virtuales por profesionales de las instituciones encargadas de la revisión de planos, y también por profesionales externos que brindaron sus observaciones o recomendaciones. Además, los planos (no así el modelo) se enviaron para su revisión en las instituciones correspondientes.

Se realizaron análisis de interferencias para cada modelo por separado y las correcciones que correspondieran. Posteriormente, se creó un modelo coordinado entre los dos proyectos para el que también se hicieron análisis para detectar posibles colisiones entre los dos modelos.

1.4.4. Etapa 4. Generación de información a partir del modelo y su presentación

Finalizado el diseño, se crearon tablas de planificación adicionales que presentan la información de los elementos o su conjunto. A partir del modelo se generaron planos arquitectónicos, estructurales y mecánicos, según lo requerido para su revisión por parte de las instituciones encargadas. Los planos serán una alternativa al modelo en caso de que un interesado en usarlo como modelo tipo no cuente con el software utilizado.

Utilizando dichas tablas se hizo una cuantificación de los elementos y con esta una estimación del costo de los materiales modelados para la edificación.

También, se hizo un análisis de la sostenibilidad del diseño a través de la evaluación de los criterios aplicables de acuerdo con la norma Requisitos para Edificaciones Sostenibles en el Trópico (RESET).

Para su visualización y promoción, se crearon renders del proyecto y un recorrido virtual especialmente para mostrar su arquitectura.

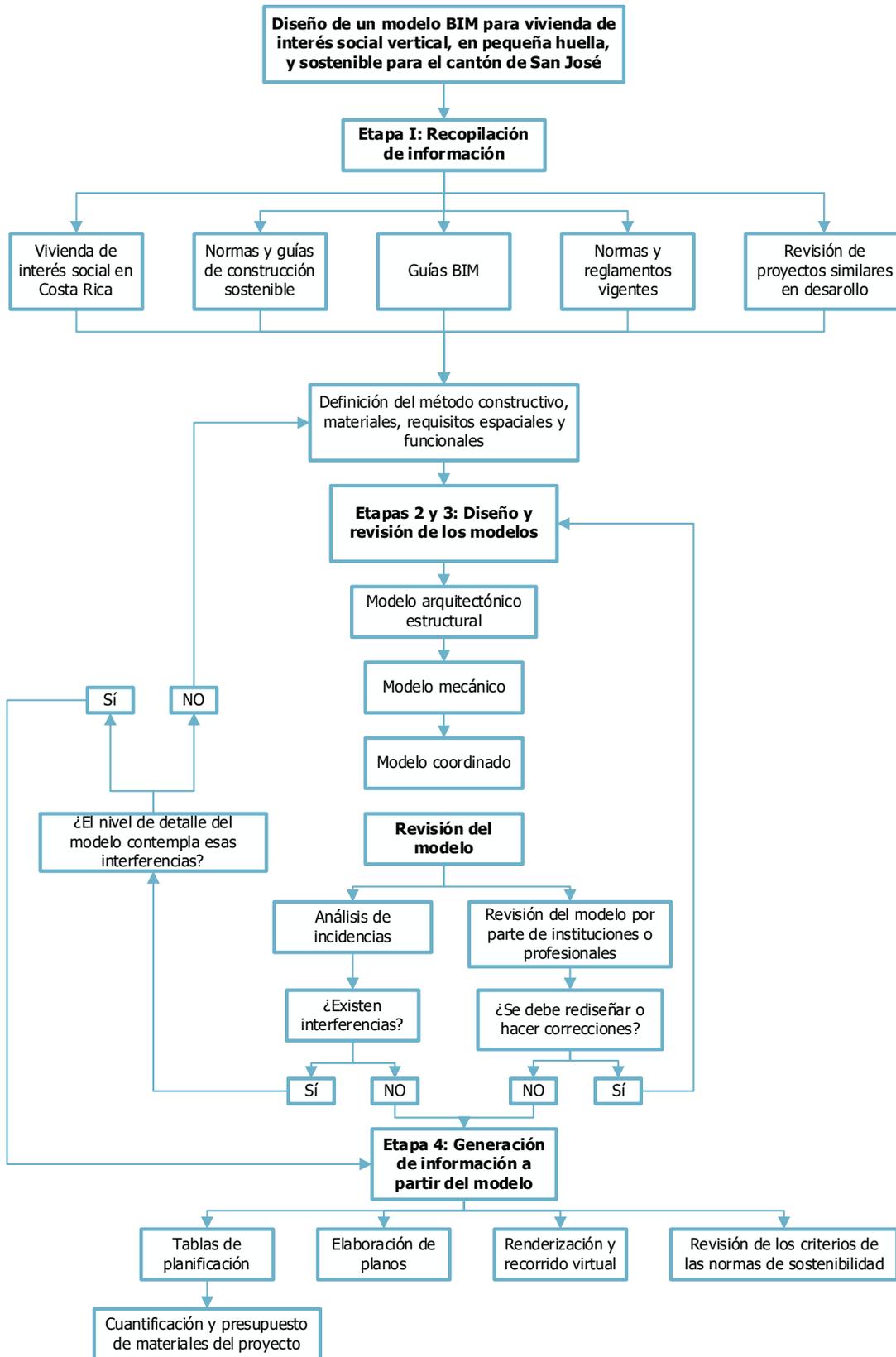


Figura 1. Marco metodológico para la elaboración del proyecto

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Vivienda de interés social (VIS) y para clase media en Costa Rica

2.1.1. Situación de la vivienda en Costa Rica

La vivienda es un factor de gran importancia en el desarrollo de las personas y de las familias. Las primeras instituciones públicas dedicadas a la vivienda se crearon cuando en el país los gobiernos tomaron conciencia del papel que puede ejercer el Estado para mejorar la calidad de vida de los habitantes, y crear oportunidades de mejora a través de un hogar digno.

Para hacer un uso adecuado de los recursos y los esfuerzos dirigidos a la vivienda, se deben fundamentar en datos que permitan identificar las principales necesidades y el estado real de los hogares. En Costa Rica dos de los principales estudios de este tipo son la Encuesta Nacional de Hogares (ENAHO) y el Compendio Estadístico de Vivienda. Son estudios periódicos y de una gran cobertura que proporcionan una herramienta para conocer la situación general de la vivienda en el país.

2.1.1.1. Relación entre la pobreza y la vivienda

El peso de la vivienda en la calidad de vida de los hogares se refleja en el Índice de Pobreza Multidimensional (IPM). En conjunto con el internet, es la dimensión que más aporta al índice en las zonas urbanas y la segunda en las zonas rurales. De acuerdo con la ENAHO 2020 (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC],2020), la dimensión de Vivienda y Uso de Internet corresponde a 1,0 puntos de los 4,2 (24,8 %) que alcanza el IPM a nivel nacional, y 0,8 de los 3,1 que alcanza en zonas urbanas. Según este índice, en el 2018 Costa Rica contaba con 298 630 (19,1 %) hogares pobres multidimensionales.

La dimensión Vivienda y uso de Internet del IPM identifica cuatro factores relacionados a la calidad de la vivienda (estado de las paredes, del techo y piso), hacinamiento y uso de Internet.

En el Cuadro 1 se muestra el porcentaje de hogares pobres que presentan estos factores. Se nota como predominan aquellos relacionados al estado físico de la vivienda.

Cuadro 1. Presencia de los factores de la dimensión Vivienda y Uso de Internet del IPM en hogares pobres.

Factor	En Hogares Pobres (%)	Variación 2019-2020 (pp)
Mal estado del techo o el piso	47,2	-1,0
Mal estado de las paredes exteriores	36,1	-2,9
Hacinamiento	26,9	-5,5
Sin uso de internet	20,2	+4,5

Fuente: INEC, 2020

Contradictoriamente, de acuerdo con el Compendio Estadístico de Vivienda 2018 (MIVAH,2019), el gasto social en vivienda es el segundo más bajo. Entre los años 2010 y 2017 este tuvo una variación muy baja y se mantuvo entre el 2,0 % y 2,3 %, solamente mayor al de los servicios recreativos culturales y religiosos.

Los resultados de la Encuesta Nacional de Hogares Julio 2020 (INEC, 2020) reflejan lo siguiente con respecto a la tenencia de vivienda y su estado para los hogares pobres:

En el acceso a vivienda, los hogares en condición de pobreza presentan un mayor porcentaje sin vivienda propia (44,5 %) respecto a los hogares no pobres (23,8 %); además, tienen condiciones deficientes en cuanto al estado de la vivienda y el hacinamiento; el 80,7 % de las viviendas habitadas por familias pobres se encuentran en condición física regular o mala, y hacinadas por dormitorio el 11,6 % de ellas, para los hogares no pobres, el estado regular o malo se da en el 30,2 % de sus viviendas y el hacinamiento por dormitorio en el 0,6 %. (p.67)

2.1.1.2. Características de las viviendas y su estado

El tipo de vivienda que predomina en Costa Rica corresponde a la unifamiliar, que alcanza el 60% del total de viviendas, mientras que las viviendas en condominio o residencial cerrado

representan tan solo el 3 % (MIVAH,2019). Estos datos evidencian que el tipo expansión se caracterizó por una ampliación de los límites de las áreas urbanas en vez de una densificación de estas a través de la verticalidad. El mismo informe indica que para el año 2018, las viviendas en edificio (condominio vertical o apartamento) en la Región Central fueron 32 519 de un total de 949 460, un 3,42 %.

Esta situación ha conducido a la saturación de los suelos de las zonas urbanas con edificaciones de baja densidad de uno o dos niveles, y a la reducción de la disponibilidad y encarecimiento de los terrenos disponibles. Por lo tanto, las familias de menores ingresos y mayor vulnerabilidad se ven obligadas a adquirir terrenos o viviendas en lugares lejanos a los centros urbanos, y en algunas ocasiones con servicios insuficientes o inexistentes.

En algunos casos, los lugares seleccionados presentan riesgos ambientales. Cuando se establecen en las montañas del Valle Central, el relieve de los terrenos junto con la impermeabilización de los suelos por la construcción de viviendas o caminos dificulta el drenaje del agua y hace más probables los deslizamientos. En los últimos años, los deslizamientos han provocado la pérdida de decenas de hogares en zonas como Alajuelita, Escazú o Desamparados, presentándose en algunas ocasiones la lamentable pérdida de vidas humanas.

También ha ocurrido que las personas que no pueden adquirir su propia vivienda se han establecido dentro de las zonas urbanas, pero en asentamientos informales. Por lo general, los terrenos del Estado son los elegidos para asentarse, y, al no estar planeados para dicha ocupación, no cuentan en un inicio con servicios básicos o redes de caminos adecuados, fomentando las conexiones ilegales a los sistemas.

Para el 2018, 3 491 de las 6 052 viviendas en tugurio (un 57,68 %), y 1 232 cuarterías se encontraban en la Región Central (MIVAH,2019). Por lo general, estos tipos de viviendas tienen una mayor densidad de ocupantes por vivienda, y suelen tener menor área y menor o peor acceso a servicios. Estas condiciones dificultan el desarrollo de las familias, pero han sido especialmente desafiantes para el cumplimiento medidas sanitarias durante la pandemia del Covid-19 ya que, por ejemplo, las cuarterías fueron un foco de contagio en el GAM durante el inicio de la pandemia.

Con respecto al estado físico de las viviendas, el Compendio Estadístico de Vivienda 2018, MIVAH (2019) muestra los siguientes datos:

En lo que respecta al estado físico de la vivienda, a cifra nacional de viviendas en buen estado fue del 58,8%, frente a un 32,6% regulares y a un 8,6% en mal estado. Según los datos desagregados por región, el 52,7% de las viviendas en estado regular y un 41,3% en mal estado, se hallan en la Central. A nivel de zona, la mayor cantidad de viviendas en estado regular (65,9%) y mal estado (61,3%) son urbanas. (p.12)

En el Cuadro 2 se muestra el número de viviendas por estado físico, según región y zona. Así, la región Central no solamente presenta la mayor cantidad de tugurios y cuarterías, sino que también la mayor cantidad de viviendas en mal estado. Sin embargo, cuando se analiza proporcionalmente a la población, más bien es la región con el mejor estado físico de vivienda.

Cuadro 2. Número de viviendas por estado físico, según región y zona. 2018.

Región/Zona	Estado		
	Bueno	Regular	Malo
Total País	905.763	501.370	132.896
Región			
Central	630.476	264.116	54.868
Chorotega	57.094	50.777	10.347
Pacífico Central	42.043	37.267	12.960
Brunca	57.557	50.318	15.573
Huetar Caribe	59.070	54.019	24.377
Huetar Norte	59.523	44.873	14.771
Zona			
Urbana	701.589	330.324	81.409
Rural	204.174	171.046	51.487

Fuente: INEC, 2018

2.1.1.3. Déficit habitacional

En el 2018, el déficit habitacional alcanzó la cifra de 180 241 hogares, lo cual representa el 11,5% del total de hogares. De estos, 158 633 corresponden a déficit cualitativo (88 %) y los restantes a un déficit cuantitativo (MIVAH, 2019). Estos datos demuestran que el déficit habitacional en el país radica principalmente en el aspecto cualitativo.

Además, al ver los datos del déficit cuantitativo del gráfico de la Figura 2, se nota que este se concentra ampliamente en la región central, representando un 76,5 % del total, muy por encima de lo que la región representa en cuanto a población (MIVAH,2019). Además, un 72 % de las 110 231 personas que habitan en asentamientos informales se localizan en la región Central.

Esta situación puede reflejar una focalización de los proyectos de vivienda fuera de la región Central. Para el año 2018, un 77,3 % de los bonos de vivienda fueron pagados fuera del GAM. Aún dentro de la misma provincia de San José, la mayor parte de los bonos se distribuyen en distritos como Hatillo o Los Guido, distintos a los cuatro distritos centrales.

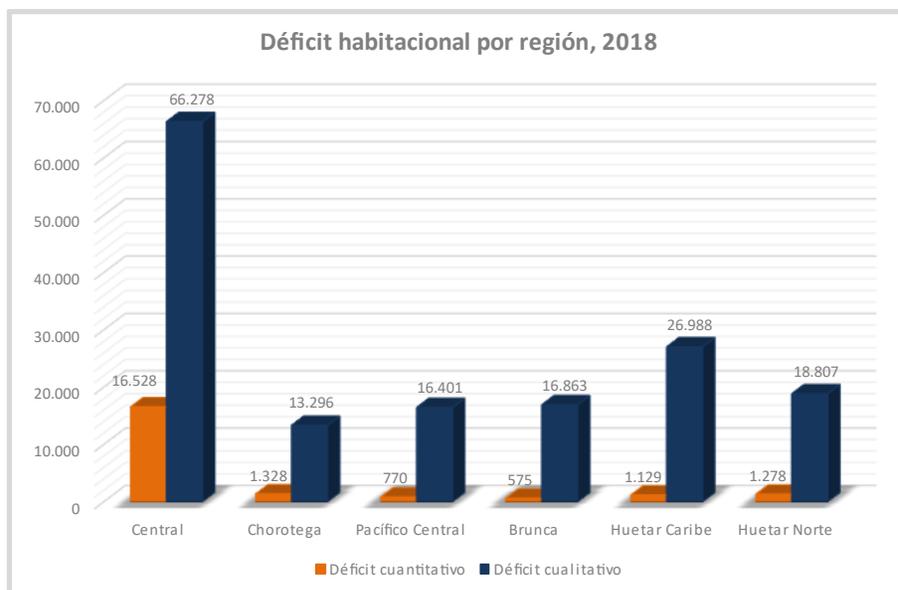


Figura 2. Déficit habitacional por región, 2018.
Fuente: MIVAH (2019)

Cuando se analiza por deciles de ingreso (gráfico de la Figura 3), se nota como el déficit habitacional se concentra especialmente en los primeros 5 deciles según el ingreso total del hogar neto. A su vez, estos deciles son los que reciben la mayor parte de los bonos del Estado para la construcción de la vivienda.

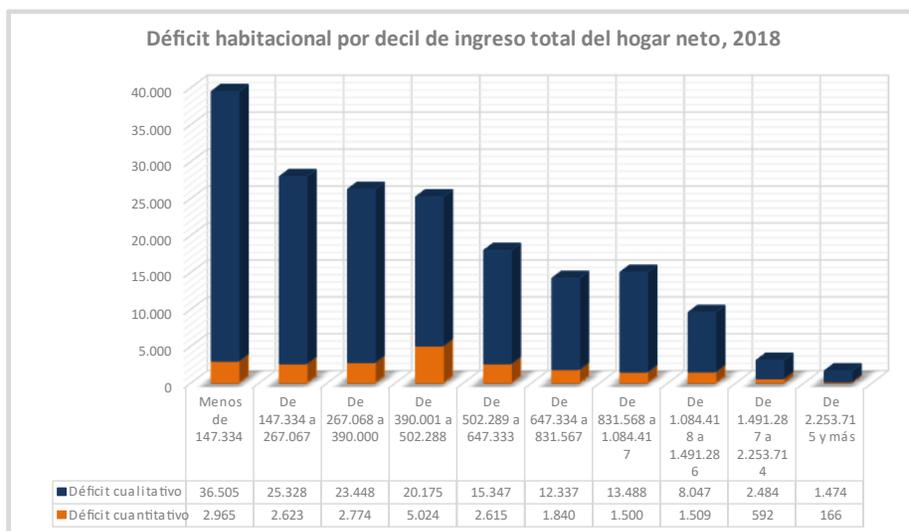


Figura 3. Déficit habitacional por decil de ingreso total del hogar neto, 2018
Fuente: MIVAH (2019)

Datos del Compendio Estadístico de Vivienda 2018 del MIVAH (2019), indican que la mayor demanda de viviendas en Costa Rica es hacia aquellas de áreas pequeñas, de tamaños apenas superiores a los mínimos permitidos por las leyes para familias de más de un miembro. El 58,2 % de las obras habitacionales en el durante el 2018 tuvieron un tamaño de 40 a menos de 70 m².

2.1.2. Sistema Financiero Nacional de la Vivienda (SNFV)

2.1.2.1. Vivienda de Interés Social (VIS)

La vivienda es la estructura física en la que un individuo o un grupo de personas desarrollan actividades elementales como dormir o alimentarse (MIVAH, 2018). Además, cumple con funciones sociales, de resguardo ante las condiciones del tiempo y seguridad. Una vivienda en mal estado, o la ausencia de ella, deteriora estas funciones reduciendo la calidad de vida de los ocupantes y perjudicando su medio para desarrollarse.

Por esta razón, algunos gobiernos crean programas, comúnmente denominados Vivienda de Interés Social (VIS), para ofrecer a las personas con los ingresos más bajos oportunidades para acceder a vivienda digna. En el caso de Costa Rica, el Reglamento sobre Viviendas de Interés

social del Sistema Financiero Nacional para la Vivienda (MIVAH, 1991) define la VIS de la siguiente forma:

Se entenderá por vivienda de interés social y sus sinónimos aquella que no sobre pase el límite máximo del monto que para tales efectos haya acordado la Junta Directiva del Banco Hipotecario de la Vivienda, en adelante BANHVI, con base en la metodología del cálculo aprobado y las variaciones en el salario mínimo. La fijación se hará una vez al año y deberá ser publicada en el Diario Oficial. (Artículo 123)

Para octubre del año 2021, dicho tope es de ₡65 801 000 (Sesenta y cinco millones ochocientos un mil colones). Las viviendas cuyo valor esté por debajo de este tope y sean financiadas con recursos del Sistema Financiero Nacional para la Vivienda (SFNV), pueden ser declaradas de Interés Social y así gozar de las exoneraciones que establece la Ley (C et al, 2020). Para ser declarada VIS, los interesados deben tramitar la declaratoria ante las entidades autorizadas.

La última versión de la Ley 7052 del Sistema Financiero Nacional para la Vivienda (2020) establece las siguientes exenciones fiscales para las viviendas financiadas con recursos del bono de vivienda (BANHVI, s.f.):

- Pago del 50% de honorarios profesionales aplicables a abogados, ingenieros, arquitectos, peritos y contadores.
- Inscripción de escrituras: exoneración del 100 % del pago de los derechos de Registro, de los timbres fiscales, de los timbres de los colegios de profesionales y cualquier otro timbre, así como del impuesto de transferencia de bienes inmuebles en la inscripción de escrituras (principales y adicionales) en las que se formalicen las operaciones del Sistema Financiero Nacional para la Vivienda.
- Construcción de viviendas: exención del pago de derechos de catastro de planos, de los timbres fiscales, de los timbres de construcción, de los cupones de depósito, de otros cargos y timbres de los colegios profesionales y del 50% del pago de permisos de construcción y urbanización y de todo otro impuesto.

Por otro lado, con la declaratoria de VIS, las personas beneficiarias también adquieren obligaciones como no vender, alquilar, traspasar o hipotecar la vivienda, sin autorización de la entidad autorizada donde se realizó el trámite por un periodo de 10 años a partir de la firma

de la escritura (BANHVI, 2020). Además, la infraestructura solo podrá ser destinada para fines habitacionales por el mismo periodo.

2.1.2.2. Bono Familiar de la Vivienda (BFV)

Como complemento a los préstamos gestionados mediante el SNFV, el Estado puede otorgar el Bono Familiar de Vivienda (BFV) cuyo monto varía dependiendo del ingreso familiar, y si es administrado por la familia o una constructora.

Para recibir un BFV, la familia debe tener un ingreso menor o igual a seis veces el salario mínimo de una persona obrera no especializada en la industria de la construcción (Ley 7052,2020). Se le denomina "estrato 1" a las familias con un ingreso igual o menor a dicho salario, "estrato 2" a las familias con un ingreso de dos de estos salarios y así sucesivamente hasta el estrato 6. Para octubre del año 2021 el ingreso familiar máximo es de ₡1 661 790.

La cantidad de Bonos Familiares de Vivienda (BFV) pagados en el periodo entre el 2005 y 2018 no ha variado considerablemente, e incluso el año en que más se entregaron fue en el 2008, de acuerdo con el

Cuadro 3. Sin embargo, el monto de los bonos aumentó en un 65 % del 2005 al 2018 en términos reales y mantiene un crecimiento interanual sostenido, disminuyendo únicamente en dos años del periodo.

Cuadro 3. Número de BFV pagados por estrato 2005-2018.

Año	Total	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4	Estrato 5	Estrato 6
2005	9.917	7.045	2.469	356	47	0	0
2006	8.756	5.966	2.376	359	55	0	0
2007	11.442	7.610	3.234	514	84	0	0
2008	12.714	8.876	3.197	551	90	0	0
2009	9.642	7.201	2.133	276	32	0	0
2010	10.722	7.883	2.438	332	69	0	0
2011	10.461	7.565	2.451	392	53	0	0
2012	9.463	6.743	2.313	333	67	7	0
2013	10.061	7.064	2.472	388	80	32	25
2014	9.804	6.678	2.522	407	125	43	29
2015	10.867	7.620	2.671	481	76	10	9

Año	Total	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4	Estrato 5	Estrato 6
2016	11.823	8.343	2.901	473	83	17	6
2017	11.155	7.990	2.680	396	75	12	2
2018	11.461	8.129	2.847	389	84	8	4

Fuente: MIVAH, 2019

El gráfico de la Figura 4 expone la distribución de los BFV según su propósito para el periodo entre los años 2005 y 2018. Un 66,5 % se destinó a la "Construcción en lote propio y segunda planta", las familias beneficiarias del bono buscan aumentar el aprovechamiento de terrenos propios optando por un nivel adicional. También, se destaca que los bonos para lote y construcción vienen en incremento desde el año 2009.

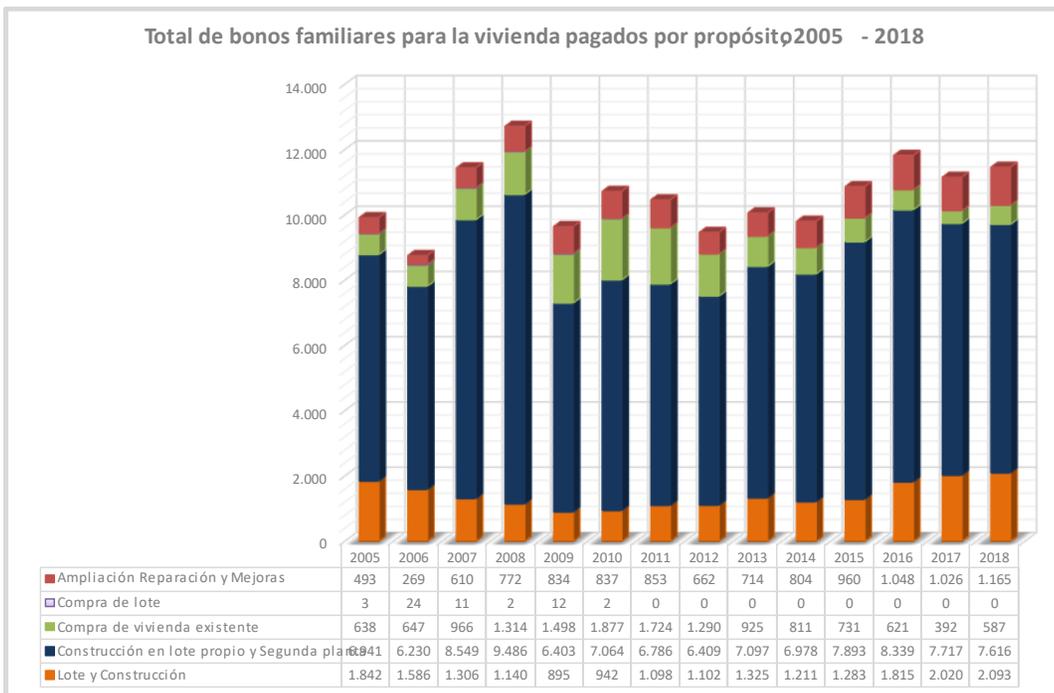


Figura 4. Total de bonos familiares para la vivienda pagados por propósito, 2005-2018.
Fuente: MIVAH, 2019

2.1.3. Modelo de Vivienda Urbana Inclusiva y Sostenible (MVUIS)

2.1.3.1. Características y objetivos

La construcción de vivienda en Costa Rica se ha caracterizado por ser de una densidad muy baja, extensiva y contar con uno o pocos niveles en las periferias. En la última década los desarrollos verticales han experimentado un impulso, especialmente en zonas como el cantón central de San José y Escazú. Sin embargo, la vivienda en condominio sigue representando apenas el 3 % del total nacional y la mayor cantidad de estos desarrollos se han dirigido a familias de ingresos altos o medio-altos.

El Modelo de Vivienda Urbana Inclusiva y Sostenible (MVUIS) surge como una propuesta interinstitucional para impulsar el desarrollo de esta clase de vivienda para las familias de ingresos medios y más vulnerables en las áreas urbanas de Costa Rica. Además, está destinado principalmente a pequeñas y medianas empresas (PYMES) del sector construcción u otras que no se hayan declarado como tal y profesionales independientes.

El modelo también se caracteriza por buscar que estos desarrollos se lleven a cabo en pequeña escala, en terrenos con una huella física pequeña, y que se aprovechen terrenos en desuso o con propiedades en mal estado o desaprovechamiento y cuya demolición sea factible. Aunque la ciudad parezca saturada, sondeos de la ciudad reflejan que existe una gran cantidad de terrenos o edificaciones de estas características con potencial de dar paso a edificios más productivos.

El proyecto da inicio durante el año 2019, pero es en el año 2020 que se hace su lanzamiento oficial y cuando se presentó al público general. Han formado parte el Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos (MIVAH), el Banco Hipotecario de la Vivienda (BANHVI), el Colegio de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica (CFIA) y el Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo (INVU). También, se involucran entidades financieras asociadas al Sistema Financiero Nacional de la Vivienda (SNFV).

Su lanzamiento coincidió con la pandemia mundial debida al virus SARS CoV 2. A raíz de esta crisis, la pobreza y el desempleo en Costa Rica han aumentado, y se ha evidenciado la

necesidad de vivienda digna para practicar las medidas de prevención en emergencias sanitarias como esta.

También, el impacto que la pandemia ha significado en los ingresos puede llevar a familias que antes no lo necesitaban, o no calificaban, a necesitar la ayuda del Estado para obtener una vivienda.

2.1.3.2. Beneficios

El despoblamiento de los distritos centrales del cantón de San José en las últimas décadas ha dejado un área central con una serie de servicios desaprovechados con respecto al potencial que permiten los reglamentos. Es una de las pocas que cuentan con servicio de alcantarillado sanitario, y en los últimos años se ha invertido mejorar su habitabilidad a través de la mejora áreas públicas u otras como el cableado subterráneo. Además, se tratan de barrios ya consolidados, previamente urbanizados, con proximidad a instituciones del Estado, infraestructura urbana y servicios como centros educativos o de salud que permiten consolidar con menor costo las actividades habitacionales.

El mismo despoblamiento ha conducido a que el centro de San José haya perdido vitalidad, convirtiendo algunas zonas en inseguras y de aspecto descuidado. La vivienda puede ser un instrumento para iniciar un proceso de revitalización de la ciudad a través de su elemento más importante, los habitantes. Si se acompaña por un uso mixto de los suelos, y esfuerzos paralelos que mejoren aspectos como la seguridad, se pueden generar economías a escala debido al aumento de las interacciones de sociales y económicas de la población que reside en la ciudad (Gobierno de Costa Rica, 2020).

Además, con impulso de los gobiernos locales, el desarrollo de vivienda de mediana o alta densidad para familias de ingresos altos lo ha generado el mercado sin necesidad de intervención adicional. Proporcionar opciones de vivienda para las familias que no pueden acceder a la oferta actual, puede evitar una segregación de la ciudad y fomentar la integración comunitaria de distintos estratos socioeconómicos.

Los habitantes de núcleos urbanos densos que reúnan los distintos servicios e infraestructura requieren menores tiempos de traslado, tendrían menor desarraigo entre su lugar de trabajo y habitación, una mayor competitividad por los puestos de trabajo por su cercanía, entre otros. Por su lado, para los desarrolladores el MVUIS presenta una serie de ventajas. Son altamente replicables, el alcantarillado sanitario (en los casos en que exista) facilita y abarata el diseño y construcción, y los terrenos en áreas urbanas suelen ser regulares.

Las zonas urbanas en Costa Rica suelen ser poco propensas a desastres naturales y los existentes se pueden mitigar a partir de una mejor planificación urbana y edificaciones que cumplan con los reglamentos estructurales nacionales.

Por último, el modelo contribuye aportando el elemento densidad que forma parte de perspectivas modernas de la planificación urbana como las Centralidades Integrales Densas (CDI) y el Desarrollo Urbano Orientado al Transporte (DUOT). El Plan GAM 2013-2030 (MAG et al. 2014) define las CDI de la siguiente forma:

La CDI se define como la unidad territorial en la cual se promueve la reconstrucción y fortalecimiento de núcleos urbanos con densidades proporcionales a su capacidad de soporte ambiental, según su fragilidad ambiental, su infraestructura, redes y equipamiento social, con el fin principal de incorporar los usos, servicios y equipamientos sociales de requerimiento básico para la población, a fin de revitalizar física y socialmente zonas urbanas conurbadas y mejorar la calidad de vida. (Artículo 26)

Por otro lado, el MIVAH (s.f.) define el DUOT como “toda la planificación y desarrollo urbano, inmobiliario, de espacio público, equipamiento, infraestructura y de paisaje cuya normativa, diseño y códigos de forma se orientan a generar un mejor acceso a los servicios de transporte público”.

Siguiendo la línea de estos enfoques, el nivel de éxito del MVUIS no depende de sí mismo, sino que se debe integrar a un conjunto de esfuerzos interinstitucionales que mejoren la habitabilidad de las áreas urbanas y la capacidad de superación de las familias una vez que cuenten con una vivienda adecuada y bien localizada.

2.2. Planos y modelos tipo en Costa Rica

La Dirección de Infraestructura (DIE) del Ministerio de Educación Pública (MEP, 2020) de Costa Rica define los planos tipo como los planos constructivos y estructurales estandarizados, para la construcción de espacios físicos, según el requerimiento de las diferentes instituciones y áreas del país.

De acuerdo con el CFIA (2021), un profesional puede utilizar más de una vez planos tipo para construir proyectos con características básicas idénticas (arquitectónicas, eléctricas, mecánicas y estructurales). Si los tramita en el Sistema Administrador de Proyectos de Construcción (APC), su vigencia es de cuatro años a partir del sello APC.

Los planos tipo deben contener como mínimo (CFIA, 2021):

- Identificación como Proyectos Tipo.
- Según corresponda al tipo de proyecto, en cumplimiento de la legislación y reglamentación vigente, las láminas deberán contener, como mínimo:
 - Plantas de distribución arquitectónica
 - Cortes longitudinales, cortes transversales y elevaciones;
 - Detalles de muebles, ventanerías y puertas e indicación de acabados
 - Planta de techos y evacuación de aguas pluviales
 - Plantas de cimientos, entrepisos y techos
 - Detalles estructurales
 - Plantas de instalaciones eléctricas y/o de telecomunicaciones
 - Plantas de instalaciones mecánicas
 - Plantas de instalaciones sanitarias
 - Detalles electromecánicos

Según el CFIA (2021), “el profesional responsable debe determinar la necesidad de realizar ajustes al diseño tipo, asimismo, debe incluir en el juego de planos las obras complementarias específicas para ajustar el proyecto al lote, tales como aceras, tapias, muros y similares”.

En Costa Rica algunas instituciones públicas ofrecen planos tipo de acceso libre a través de páginas web, para ser utilizados como ejemplo o como referencia. Por ejemplo, la DIE ofrece planos prototipo de invernaderos, aulas, bibliotecas, y otras edificaciones educativas. Por su

parte, el Banco Central de Costa Rica (BCCR) brinda planos tipo de tres tipos de vivienda, de locales comerciales, naves industriales, entre otros.

Los modelos tipo siguen un concepto similar al de los planos tipo, pero incorporando los elementos que diferencian un plano de un modelo, como el diseño tridimensional o la información incorporada. No se encontró ningún antecedente de modelos tipo disponibles de manera libre en Costa Rica.

2.3. Construcción sostenible aplicada a Vivienda de Interés Social en Costa Rica

El World Green Building Council (WGBC) (s.f.) define el edificio sostenible como “un edificio que, en su diseño, construcción y operación, reduce o elimina los impactos negativos y puede crear impactos positivos en el clima o en el ambiente natural”.

De acuerdo con el GBC (s.f.), las siguientes son algunas de las características que hacen a un edificio sostenible:

- Uso eficiente de la energía, agua y otros recursos
- Uso de energía renovable
- Medidas de reducción de la contaminación y la posibilidad de reusar y reciclar.
- Buena calidad del aire interno
- Uso de materiales sostenibles y no tóxicos
- Consideración del entorno en el diseño, construcción y operación
- Consideración de la calidad de vida de los ocupantes en el diseño, construcción y operación.
- Un diseño que permita la adaptación a un ambiente cambiante.

Costa Rica se ha caracterizado por ser un país comprometido con la sostenibilidad a través de la firma de convenios internacionales o sus políticas internas. Destaca por sus zonas protegidas y el uso de la energía renovable. Recientemente, el compromiso se ha extendido también a la

construcción, una de las industrias más contaminantes del mundo, impulsado por el desarrollo de nuevas tecnologías, el estudio de materiales y nuevas tendencias a nivel mundial.

En el eje 5 del Plan de Descarbonización de Costa Rica (Gobierno de Costa Rica, 2019), el país que pretende la reducción de las emisiones de carbono a través de la construcción de edificaciones de diversos usos (comercial, residencial, institucional) bajo estándares de alta eficiencia y procesos de bajas emisiones. De acuerdo con el plan, se espera que para el 2030, el 100 % de las edificaciones de estos tipos se diseñen y construyan con sistemas que lleven a procesos de bajas emisiones.

Asimismo, Costa Rica ratificó la agenda de las Naciones Unidas denominada Agenda 2030 Sobre el Desarrollo Sostenible (ONU, 2016). Esta incluye 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), de los cuales el número 11 corresponde a lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles.

En el país es posible certificar las construcciones como sostenibles con las certificaciones LEED, EDGE, Bandera Azul e incluso desarrolló su propia certificación llamada RESET. Ya se cuenta con un número de profesionales habilitados para auditar y la presencia de la rama Green Building Council Costa Rica que se encarga de capacitar y certificar. A nivel centroamericano, Costa Rica es el país con la mayor cantidad de edificios certificados LEED y EDGE.

Puede existir la noción de que la construcción sostenible es casi exclusiva para las edificaciones costosas o de gran tamaño. Actualmente la mayor parte de las certificaciones las poseen este tipo de desarrollos, sin embargo, recientemente las viviendas de interés social también están siendo tomadas en cuenta en guías de construcción sostenible e incluso para ser certificadas.

El Programa Bandera Azul Ecológica cuenta con una categoría específica para hogares sostenibles. Toma en consideración los siguientes cinco parámetros (CNPBAE,2019): gestión integral de residuos sólidos, agua, energía eléctrica, combustibles fósiles y consumo responsable. Además, una de las viviendas del proyecto de interés Valle Azul desarrollado por FUPROVI recibió la certificación EDGE. Se estima que los ahorros para este edificio serán de 30 % de la energía, 30 % del agua y 72 % de energía incorporada en los materiales. (Edge Buildings s.f.).

Otra referencia para la construcción sostenible en Costa Rica es la norma de Requisitos para Edificaciones Sostenibles en el Trópico (RESET), que fue utilizada para analizar la sostenibilidad

del proyecto. Esta es una norma nacional de Costa Rica desarrollada por el Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO), tomando como base un documento elaborado por el Instituto de Arquitectura Tropical (IAT), que tiene el objetivo de establecer los requisitos que deben cumplir las edificaciones en el trópico para poder ser designadas como sostenibles. (INTECO, 2020).

En primer lugar, califica las edificaciones de acuerdo con su nivel impacto en edificaciones de impacto alto, medio, bajo e interés social. La norma contiene los siguientes seis apartados de evaluación (INTECO, 2020): calidad y bienestar espacial, entorno y transporte, aspectos socioeconómicos, suelos y paisajismos, materiales y recursos, uso eficiente del agua, y optimización energética.

Cada apartado está conformado por objetivos, conceptos, criterios y un valor de referencia a cumplir para cada criterio. Se debe cumplir al menos con el 70 % de los criterios de cada capítulo y la totalidad de los criterios ineludibles que aplican (INTECO, 2020). La cantidad de criterios que aplican dependen del nivel de impacto, así como del tipo de certificación según sea en diseño, construcción o en operación.

Para el nivel de impacto de vivienda de interés social (VIS) solo aplican 40 criterios de un total de 120, y se le exige de una hoja de contexto siempre y cuando se presente la "Declaratoria de vivienda de interés social". Por lo tanto, la norma facilita y permite la inclusión del desarrollo de VIS en los esfuerzos por reducir las emisiones de carbono a través de la construcción sostenible, que usualmente se ha reservado para desarrollos destinados a familias de ingresos medios o altos.

Cuando el desarrollo se encuentre en un área urbana, muchos requisitos ya son cubiertos únicamente por su ubicación, por ejemplo, por la cercanía a servicios, lejanía de zonas de protección ambiental y la presencia alcantarillado sanitario (cuando aplique).

2.4. Building Information Modeling (BIM)

El Modelado de Información de Construcción (BIM por sus siglas en inglés) es definido por el Capítulo Español de BuildingSmart (BSSCH, s.f.) como una metodología de trabajo colaborativa

para la creación y gestión de un proyecto de construcción, siendo su objetivo centralizar toda la información del proyecto en un modelo que permite albergar información digital creada por todos sus agentes.

Un modelo BIM integra información de siete dimensiones que van desde la fase de: información geométrica en las tres dimensiones espaciales (3D), cronograma (4D), presupuestación (5D), el análisis energético (6D) y mantenimiento (7D). Por lo tanto, un modelo BIM no solo incorpora la etapa de diseño, sino que puede abarcar todo el ciclo de vida del proyecto si se incluyen las siete dimensiones, desde los planos constructivos en 2D hasta la demolición de la edificación (Figura 5).

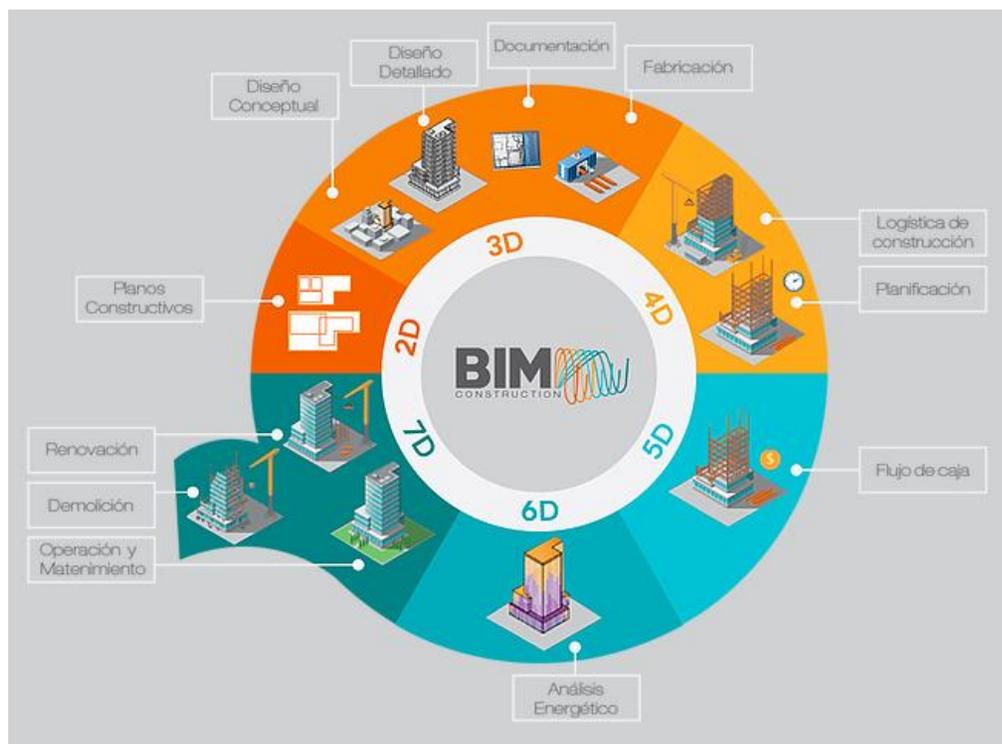


Figura 5. Dimensiones del Building Information Modeling
Fuente: BIM Construction, s.f.

Las herramientas de diseño que se integran a la metodología BIM ofrecen un catálogo de objetos de construcción conteniendo componentes predefinidos como columnas y muros. Además de información geométrica, estos elementos de diseño y construcción pueden ser asignados a más propiedades como las características de los materiales, vida útil, resistencia al fuego, permeabilidad del sonido, entre otros (CMS Expert Guide to BIM, 2017). Si un

elemento no se encuentra en estas listas, las herramientas de diseño permiten crearlo y luego asociar las propiedades necesarias.

De acuerdo con la guía CMS Expert Guide to BIM (CMS,2017), los proyectos BIM se pueden clasificar en abiertos y cerrados:

BIM abierto describe un ambiente de diseño en el cual diferentes participantes, usando diferentes softwares compatibles con BIM comparten e integran sus modelos y datos entre ellos usando formatos de libre uso. Por el otro lado, el BIM cerrado se refiere a un ambiente de diseño relativamente restrictivo en el que los participantes usan un único software compatible con BIM. (p.5)

2.4.1. Tipos de modelos BIM

De acuerdo con Succar B. (s.f., como se citó en Arguedas et al., 2021) "un modelo BIM es una representación digital tridimensional (3D) basada en entidades, rica en datos, creada por un actor del proyecto utilizando una herramienta de software BIM".

Existen dos diferentes formas de generar el modelo final, el modelo BIM federado y el integrado. El primero consiste en consolidar varios archivos de modelos individuales en un solo modelo. Por otro lado, algunos softwares ofrecen la opción de incorporar la información de varias disciplinas en un solo modelo.

Cuando cada disciplina se trabaja de manera separada en un modelo individual para luego ser reunidos en un modelo coordinado, algunos de los modelos que pueden formar parte del diseño son los que se muestran en la Figura 6, dependiendo de los objetivos, la etapa y el alcance del proyecto. El modelo electromecánico puede reunir el sistema sanitario, pluvial, de ventilación, de iluminación, de climatización u otros más sofisticados.

Modelo BIM	Edificación	Infraestructura
Sitio		
Volumétrico		
Arquitectura o Diseño de Infraestructura		
Estructura		
Mecánico Eléctrico Sanitario (MEP por sus siglas en inglés)		
Coordinación (**)		
Construcción (***)		
As-Built		
Operación		

(**): El modelo de coordinación debe ser realizado a través de la consolidación de, al menos, los modelos de arquitectura o diseño de infraestructura, estructura y MEP. Esta consolidación debe realizarse por medio de modelos federados o integrados según lo indicado en el punto 5.8.2

(***): El modelo de construcción podrá considerar la utilización de otros de los nueve tipos de modelos. Esta consolidación debe realizarse por medio de modelos federados o integrados según lo indicado en el punto 5.8.2

Figura 6. Tipos de modelo BIM

Fuente: Godoy et al, 2019

2.4.2. Interoperabilidad

El mayor provecho de la metodología BIM se obtendrá si la información es estandarizada por país, región o incluso globalmente. De esta forma, se logrará la interoperabilidad entre distintos softwares para transferir o trabajar los datos sin restricción de acceso o implementación. Así también se asegura la usabilidad de los datos en todo el ciclo de vida de los proyectos (Godoy et al, 2019).

Para potenciar este proceso, la industria del BIM ha desarrollado OpenBIM, un enfoque universal para el diseño, ejecución y operación de edificios basados en estándares y flujos de

trabajo abiertos de BuildingSMART Spanish Chapter (BSSCH, s.f.), garantizando la calidad de los datos. Los oferentes se han unido a la comunidad abierta, y gran cantidad de modelos de elementos o familias BIM de objetos de la industria de la construcción están disponibles de forma libre para los interesados.

2.4.3. Usos BIM

El BIM tiene aplicaciones a lo largo de todo el ciclo de vida de un proyecto, desde la fase de planificación hasta cuando el edificio está en operación, incluso su demolición. En la Figura 7 se muestran algunos de los usos del BIM según la etapa del proyecto.

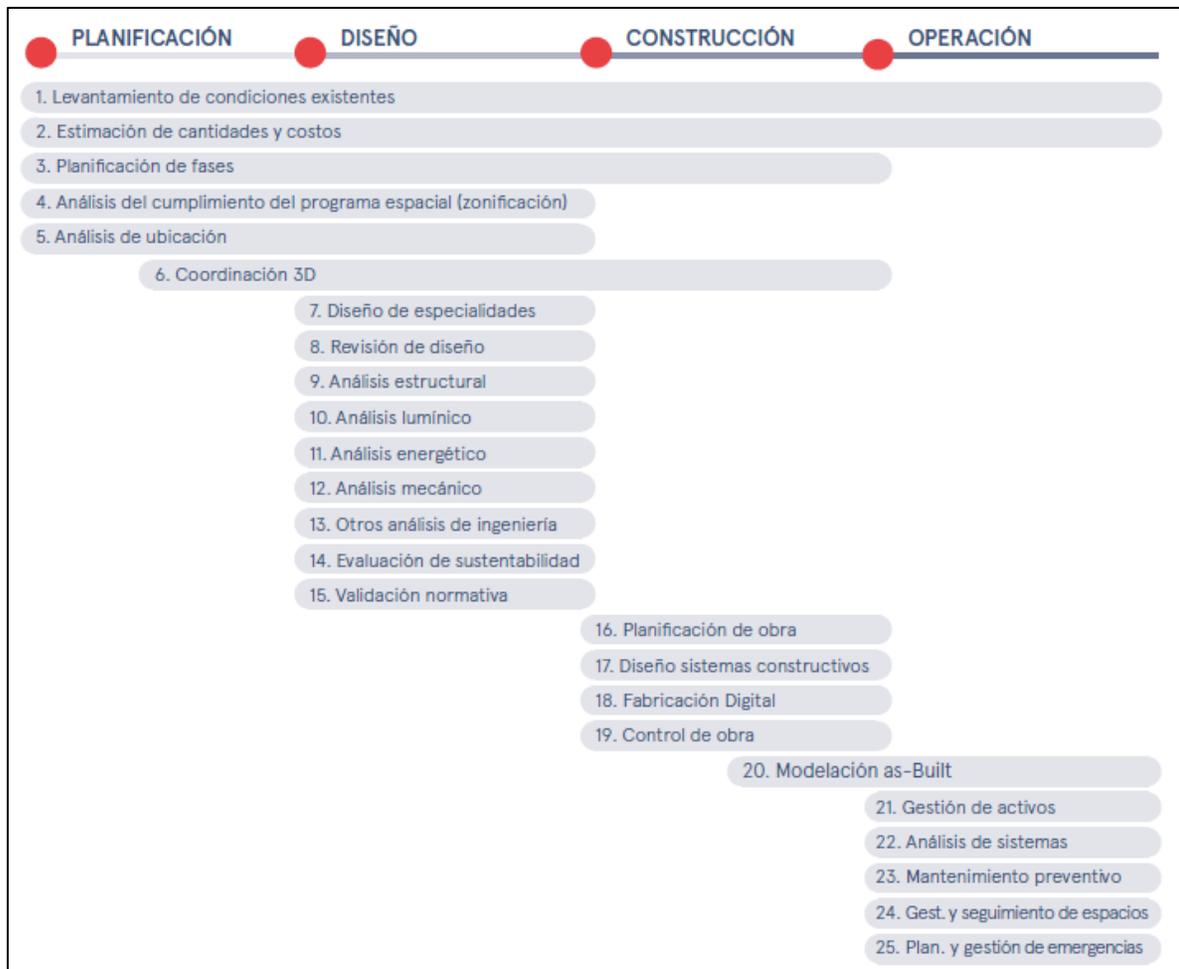


Figura 7. Usos BIM por fase del proyecto
Fuente: Godoy et al., 2019

La amplitud de las funciones BIM hace necesario definir con antelación cuales se emplearán, de forma que se adapten a los requerimientos del proyecto, y que el uso del BIM no signifique más bien esfuerzos adicionales. Por lo general, los usos se precisan en el Plan de Ejecución BIM (BEP por sus siglas en inglés), un documento que contiene las especificaciones para una implementación ordenada y planificada de la metodología en el proyecto.

En la fase de anteproyecto, el BIM se puede utilizar para realizar análisis del sitio en conjunto con otras metodologías y tecnologías de la Construcción 4.0. Así se le conoce a la cuarta revolución industrial para la construcción, como el levantamiento topográfico por medio de drones y escaneo que posteriormente se puede exportar al modelo BIM. También, se puede utilizar para representar volumétricamente las edificaciones a construir y así analizar posibles distribuciones o realizar demostraciones.

Los usos posiblemente más conocidos se dan durante la etapa de diseño. Los modelos tridimensionales de distintas disciplinas son la base que define que otros usos se podrán aprovechar. Dependiendo del tipo y la información que contenga el modelo se pueden utilizar para realizar análisis energéticos, espaciales, estructurales u otros. Si se integran los modelos, se puede llevar a cabo un análisis de interferencias, esto es si elementos de un modelo interfieren con los de otro modelo (o del mismo modelo).

Luego, a partir de los modelos y su información se podrán extraer en forma de tablas las cantidades de los elementos que componen el modelo ya sea por área, volumen o longitud, según se defina. Si a dichos elementos se les añade sus datos de costo, se puede presupuestar en distintas fases del proyecto.

Agregando información de duración y secuencias constructivas, se puede hacer una simulación del proceso y programar el cronograma de la obra para su planificación. Durante la etapa constructiva los modelos servirán al personal de campo para ejecutar la obra, dar seguimiento y consultar información. Si alguna incidencia surge, el modelo puede ser analizado y modificado si es necesario.

Por último, es muy probable que los diseños experimenten cambios durante la construcción de la obra, especialmente si las dimensiones o complejidad del proyecto son considerables. Si estas modificaciones se hacen también en los modelos, darán origen a modelos as built, esto

es un modelo que representa al edificio tal y como se construyó, que pueden ser aprovechados durante la etapa de funcionamiento para remodelaciones, mantenimiento u otros usos.

2.4.4. Nivel de Desarrollo

El nivel de desarrollo o LOD (por sus siglas en inglés) según la American Institute of Architects (s.f., como se citó en Garro et al., 2018) es una forma de identificar los requisitos mínimos y de usos específicos asociados a cada elemento del modelo en seis niveles:

- LOD 100: El elemento de construcción modelado puede ser representado gráficamente en el modelo con un símbolo u otra representación genérica. La información relacionada con el elemento de construcción modelado se puede derivar de otros elementos del modelo. Estas representaciones no son geométricas, sino que muestran la existencia de un componente, pero no su forma, tamaño o ubicación precisa. Toda la información entregada en LOD 100 debe ser considerada aproximada.
- LOD 200: El elemento modelado se representa gráficamente como un sistema genérico de objeto, tamaño, forma, ubicación y orientación aproximados. La información no gráfica también es aproximada al elemento modelado. Estas representaciones son geométricas respecto del volumen o espacio reservado para el elemento de construcción que representan. Toda la información entregada en LOD 200 debe ser considerada aproximada.
- LOD 300: El elemento modelado se representa gráficamente como un objeto o sistema específico en términos de cantidad, tamaño, forma, ubicación y orientación. La información no gráfica también se corresponde con la información gráfica. Las cantidades, dimensiones, formas, ubicación y orientación según lo diseñado se pueden obtener directamente a partir del elemento sin hacer referencia a información no gráfica.
- LOD 350: El elemento modelado se representa gráficamente como un sistema u objeto específico en términos de cantidad, dimensiones, forma, posición, orientación y se encuentra vinculado a otros elementos del modelo. La información no gráfica está contenida dentro del elemento modelado. Estas representaciones se vinculan con otros

elementos del modelo cercano o adjunto. Se incluyen las partes tales como soportes o conexiones.

- LOD 400: El elemento modelado se representa gráficamente en el modelo como un objeto o sistema específico en términos de dimensiones, forma, ubicación, cantidades y con información en detalle de fabricación, montaje e instalación. La información no gráfica también se encuentra dentro del elemento modelado. Estas representaciones se modelan con la precisión y detalle suficiente para su fabricación e instalación.
- LOD 500: El elemento modelado es una representación fiel del elemento de construcción ya ejecutado en obra, con su tamaño, forma, ubicación y orientación real en el proyecto. La información no gráfica está incluida en el objeto, así como sus vínculos con otros elementos. Estas representaciones se realizan una vez construido el proyecto y son las adecuadas para el mantenimiento y el funcionamiento del elemento en el inmueble. (p.22-24)

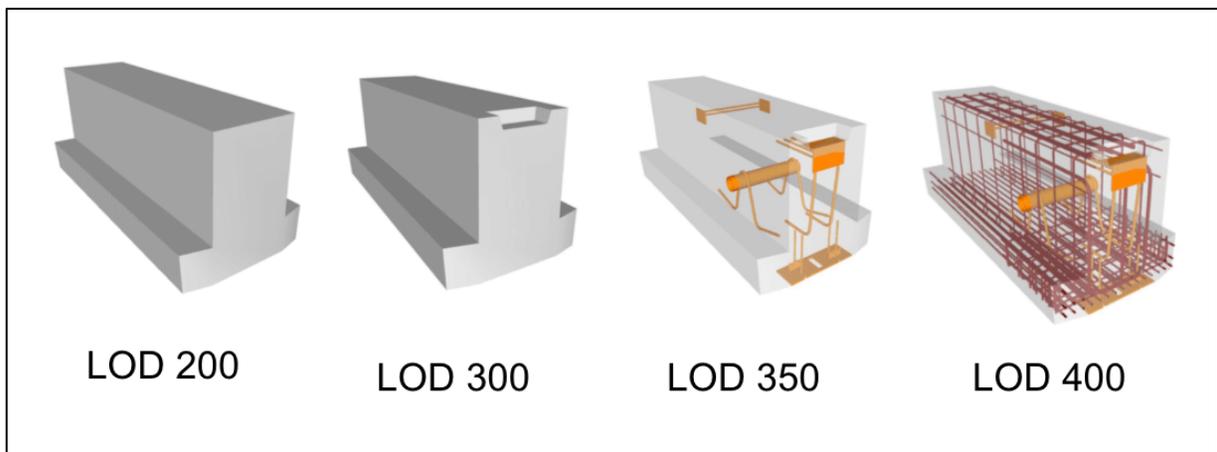


Figura 8. Algunos de los niveles de desarrollo mostrados a través de un elemento de viga.
Fuente: BIM Forum, 2020

3. MODELO 3X1 DE VIVIENDA URBANA INCLUSIVA Y SOSTENIBLE

3.1. El entorno y retiros

El diseño del modelo no se realizó para un terreno existente en particular, por lo tanto, se suponen algunos aspectos con respecto a su ubicación. En primer lugar, por el frente el edificio colinda con la acera y la vía pública. También se supone un terreno ficticio rectangular de 6 m de frente y 20 m de profundidad.

Además, se supone que el lote es medianero y cuenta con estructuras vecinas a ambos lados y atrás, como se muestra en la Figura 9. De esta forma, se busca que represente la situación más probable para un terreno disponible, o de una estructura por demoler, en sitios urbanos costarricenses. Por lo tanto, la edificación debe cumplir con retiros en todos sus lados.

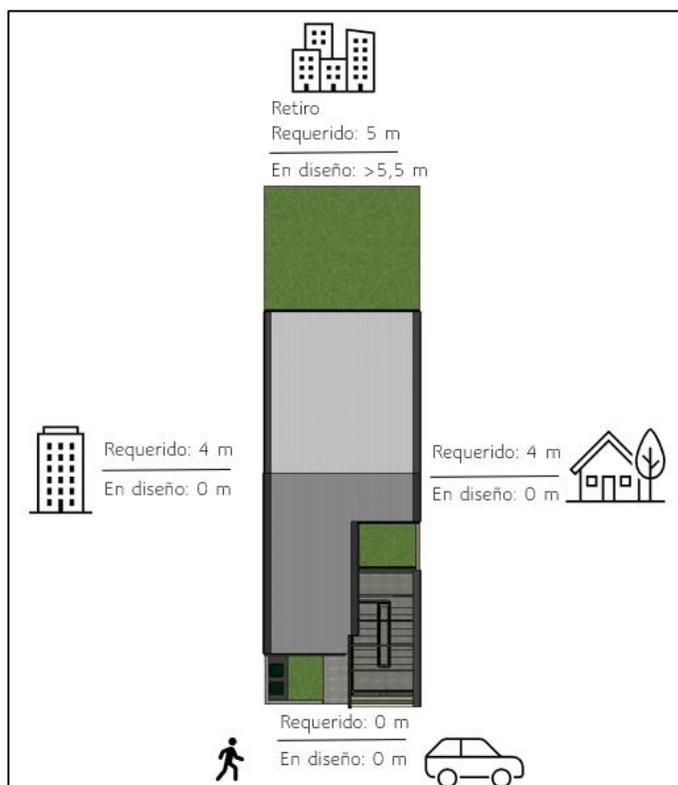


Figura 9. Supuestos de colindancia para el entorno del edificio.

3.1.1. Retiro frontal o antejardín

De acuerdo con el Reglamento de Construcciones (INVU,2018), el retiro frontal debe ser establecido en las regulaciones locales emitidas por la Municipalidad. En el caso de la Municipalidad de San José, esta establece dos zonas de retiros, una en donde el retiro debe ser de 0 m y otra en la que debe ser de 6 m. También establece retiros respecto al tipo de vías desde 2 m hasta lo que defina el Ministerio de Obras Públicas y Transporte (MOPT).

Como se observa en el Anexo 1, la mayor parte de los distritos centrales del cantón forma parte de la zona en la que el retiro es de 0 m. Debido a que la VUIS de este proyecto se enfoca en los núcleos urbanos, entonces se supone esta situación de requisito de retiro. Sin embargo, el modelo ofrece flexibilidad para adaptar a retiros dependiendo de la profundidad del terreno.

3.1.2. Retiro posterior o patio

La edificación cuenta con ventanas en la parte posterior y es de tres niveles. Para este caso, el Reglamento de Construcciones (INVU, 2018) establece un retiro de 5 m desde la ventana más cercana hasta la colindancia trasera. El modelo fue diseñado de tal forma que dicho retiro existe, e incluso es mayor dependiendo del retiro frontal. Por lo tanto, el diseño está abierto a variaciones en el largo de la edificación.

Por esta razón, construir una tapia en el patio trasero sería únicamente necesario si la propiedad vecina posterior o las laterales no cuenta con una. En caso de necesitarse su construcción, el retiro hace que la tapia deba ser únicamente de un nivel de altura, ahorrando de esta manera la construcción de un muro de gran altura que además restaría estética a la edificación.

Para efectos del modelo VUIS de este proyecto, no se considera una tapia posterior ni tampoco laterales, se supone que ya existe alguna clase de separación (por ejemplo, una tapia) con respecto a las otras propiedades.

3.1.3. Retiro lateral

Los retiros en los laterales no son necesarios debido a que no se cuenta con ventanas u otras aberturas en los muros laterales más exteriores, y, además, estos muros son de un material incombustible (bloques de concreto).

Se debe mantener el muro colindante del patio de luz ya que no se cumple con el retiro lateral de 4 m para la ventana de la sala hacia el patio de luz, también, sin este el balcón tendría visibilidad a las propiedades vecinas. Esto es solicitado por el Reglamento de Construcciones (INVU,2018) para edificaciones de tres niveles. Además, en conjunto con las vigas y muros a los que está conectado, este muro aporta regularidad en planta a la edificación.

3.2. Desarrollo y Análisis del Modelo arquitectónico

3.2.1. Área de la vivienda

La unidad habitacional se diseñó para un núcleo familiar de menos de cinco miembros y de dos dormitorios. Para este tipo de vivienda, la Directriz N°27 (2001) establece un área mínima de 42 m². La vivienda del modelo alcanza aproximadamente 46,33 m² considerando el área de limpieza, que se suele encontrar por fuera de la vivienda en VIS de un solo nivel. Si no se incluye la zona de limpieza, el área total es de 42,91 m².

3.2.2. Distribución arquitectónica

3.2.2.1. Distribución en planta

Cada vivienda cuenta con un dormitorio principal, un dormitorio secundario, un servicio sanitario, un espacio para fregadero y pila de ropa, y un área común para la cocina, el comedor

y la sala. La unidad habitacional del primer nivel cuenta además con un patio de luz y un patio posterior.

La distribución arquitectónica para la vivienda del primer nivel se muestra en la Figura 10. La distribución en planta de los dos niveles superiores es la misma. En la Figura 11 se muestra la planta del segundo nivel.

Para la vivienda del primer nivel se llegará a la puerta principal recorriendo la losa de concreto de ingreso. Para los dos niveles superiores será a través del descanso de las escaleras. Se ingresará al área que reúne la sala, el comedor y la cocina. Esta área contiene las piezas no habitables con la excepción del baño, por lo tanto, se espera que sirva como el lugar social, de esparcimiento, para alimentarse y recibir visitas.

El pasillo busca proporcionar privacidad al separar el área común de los accesos a los dormitorios, baño y cuarto de pilas. Está ubicado de tal forma que es poco visible desde la sala, cocina y comedor. A cada uno de sus lados está alguna de las puertas a estas habitaciones. De acuerdo con la Ley de Igualdad de Oportunidades para Personas con Discapacidad, N°7600 (1998), los pasillos interiores deben tener un ancho mínimo de 0,90 m.

Desde el pasillo se podrá ingresar al área de limpieza. En el primer nivel este está al lado del patio de luz que brinda iluminación y ventilación natural a la sala-cocina-comedor y al servicio sanitario. En los dos niveles superiores el área de limpieza consiste en un balcón abierto hacia el patio de luz. La idea es que estos dos niveles cuenten con un lugar donde se pueda tender la ropa húmeda sin que sea visible desde el exterior, y de esta forma contar con más privacidad y contribuir a la estética externa de la edificación.

Desde el área de limpieza se puede ingresar al patio de luz en el primer nivel. La función principal de este es proveer ventilación e iluminación natural a la sala, las pilas y el baño. En el primer nivel se puede utilizar para el tendido de ropa u otras funciones.

El servicio sanitario también se accede desde el pasillo y cuenta con un lavatorio, un inodoro y una ducha. En el subcapítulo 3.4.1 de piezas sanitarias, se describe con mayor detalle la distribución en el baño de las piezas sanitarias.

Por último, las otras dos puertas del pasillo conducen a los dormitorios. El dormitorio principal del primer nivel cuenta con una puerta deslizante de vidrio para acceder al patio trasero. El resto de los dormitorios tienen ventanas deslizables dirigidas hacia el patio trasero.

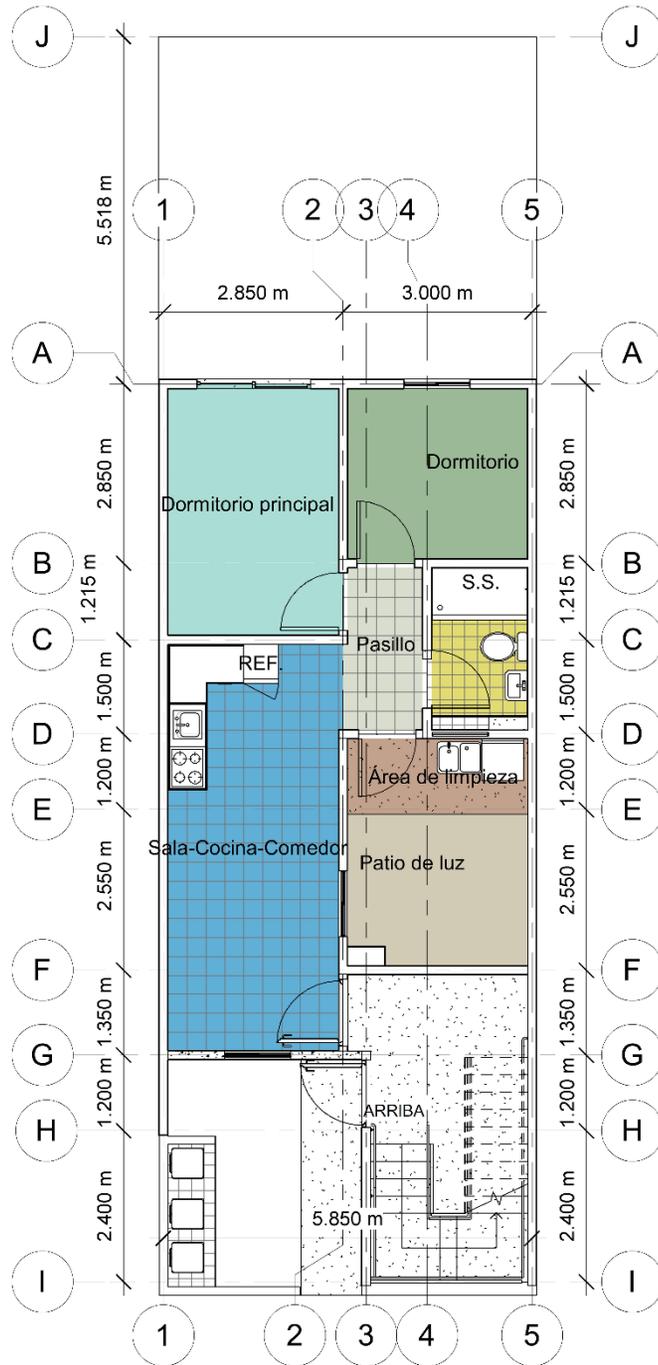


Figura 10. Distribución en planta del primer nivel.

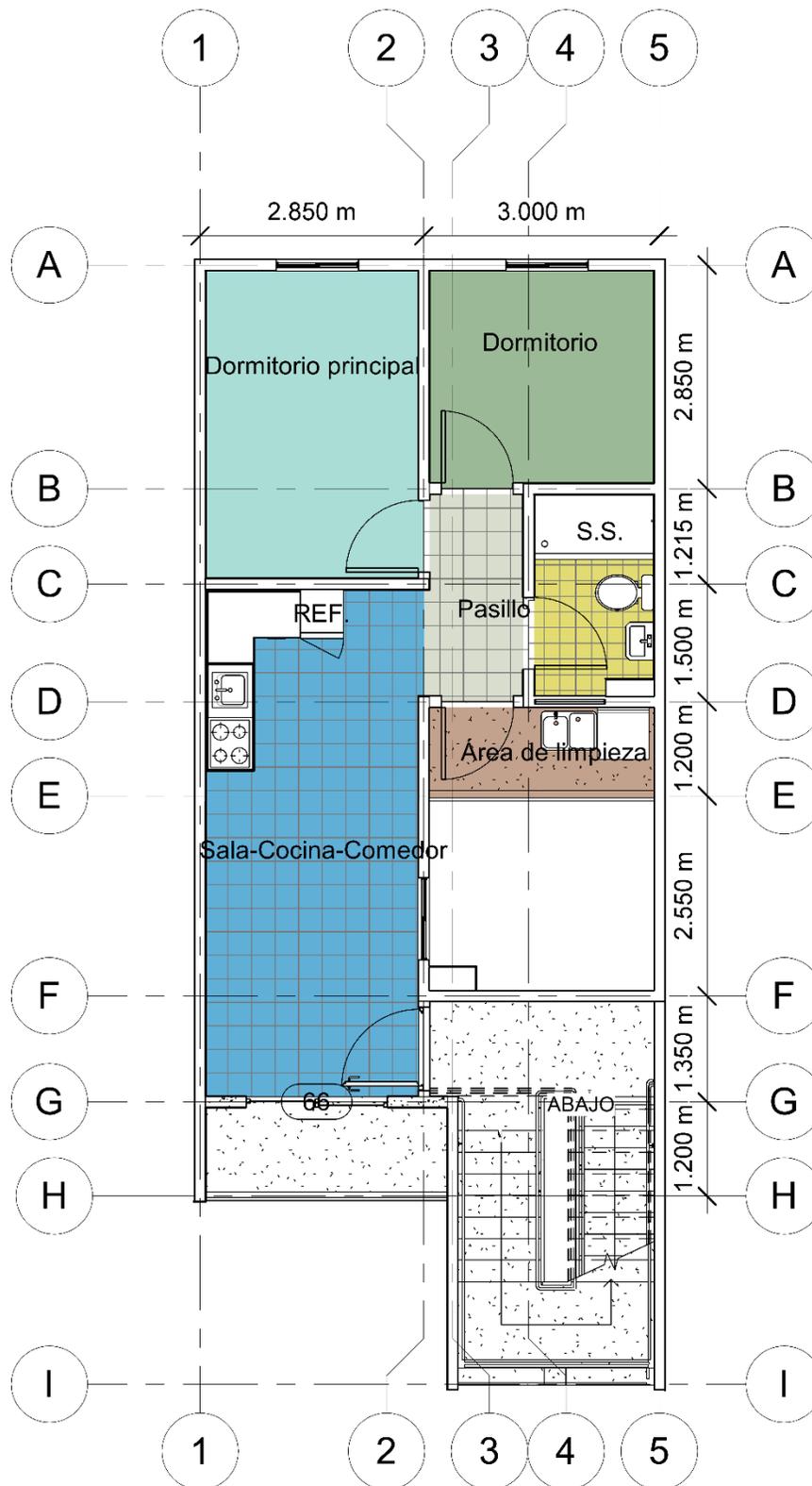


Figura 11. Distribución en planta del segundo nivel.

3.2.2.2. Distribución en altura

La edificación cuenta con tres niveles, uno para cada unidad habitacional. El nivel de piso terminado (NPT) del nivel 1 se encuentra a la altura de 0 m. A partir de ahí, el primer nivel se eleva 2,9 m hasta el NPT del nivel 2. Esta altura se elige de tal manera que 2,6 m corresponden a los muros (múltiplo de 0,2 m para evitar el corte de los bloques), y los restantes 0,3 m a la viga. El nivel de piso de la construcción debe estar por lo menos a 0,10 m sobre el nivel de predios donde se ubique (INVU,2018).

La altura de piso a cielo es de 2,40 m, ajustándose a los mínimos del Reglamento de Construcciones (INVU, 2018). La distancia entre el cielo y el entrepiso es de 0,30 m para la instalación de los sistemas de tuberías. Además, 0,2 m de la altura del nivel corresponderán al sistema de entrepiso, como se muestra en la Figura 12. Donde no hay cielorraso, la altura del piso al entrepiso será de 2,70 m.

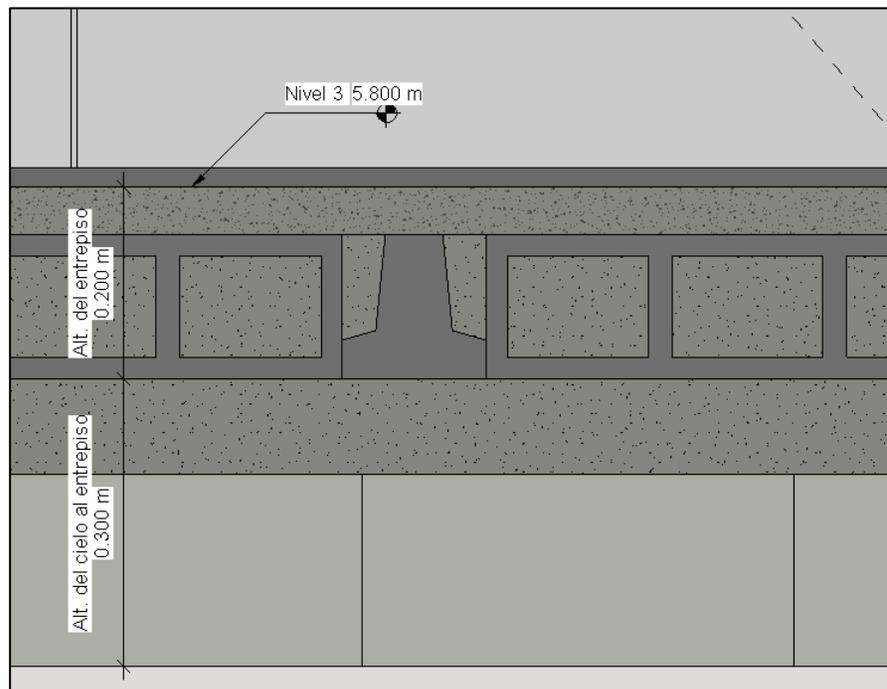


Figura 12. Distribución de altura entre el cielorraso y el NPT.

La elevación entre el nivel 2 y el nivel 3 será igual que la elevación entre el nivel 1 y el nivel 2 recién descrito. Debido a que el nivel 3 tiene por encima la cubierta, para este nivel se coloca cielorraso en toda su extensión, diseñando para una altura entre NPT y cielo de 2,40 m. En la Figura 13 se muestra una vista lateral del modelo en la que se pueden observar los niveles y sus elevaciones.

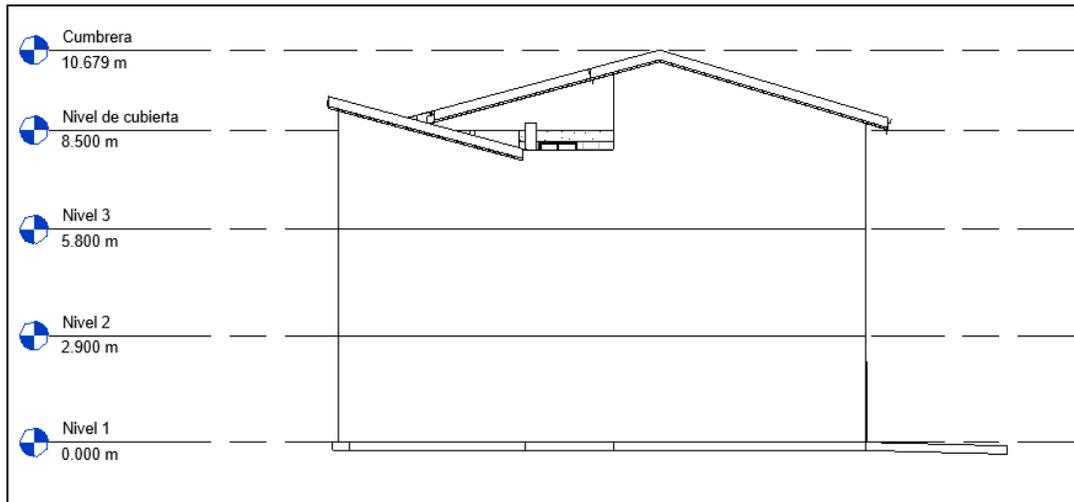


Figura 13. Niveles del modelo y sus elevaciones.

Finalmente, se define un nivel base para la cubierta correspondiente a la parte más baja de la sección de esta que se dirige hacia la parte posterior. Este nivel corresponde a la cubierta sobre el edificio, para la que se encuentra sobre las escaleras corresponde otra elevación. Por último, un nivel de cumbrera representa el punto más alto de la cubierta del edificio.

3.2.3. Dimensiones mínimas de las piezas

Debido a que se diseña para una vivienda con un área apenas superior a 42 m² y a que el terreno supuesto cuenta con dimensiones reducidas, especialmente en su ancho, se debe prestar atención a que las piezas de la vivienda cumplan las dimensiones mínimas establecidas por la normativa nacional.

En el Cuadro 4 se muestran las áreas y anchos mínimos para las piezas que contiene la vivienda y su correspondiente reglamento. En el caso de la sala-cocina-comedor, el Reglamento de Construcciones (INVU,2018), no establece un área mínima para esta triple combinación, pero sí para sala-comedor. Por lo tanto, se diseña para que esta parte de la vivienda tenga un área mayor a la suma del mínimo de la cocina y del mínimo para una sala comedor.

Cuadro 4. Áreas y anchos mínimos para las habitaciones de una vivienda.

Pieza	Área mínima (m ²)	Ancho mínimo (m ²)	Reglamento
Dormitorio principal	9,00	2,50	Artículo 157 Reglamento de Construcciones (2018)
Otros dormitorios	7,50	2,50	Artículo 157 Reglamento de Construcciones (2018)
Cocina	5,00	2,00	Artículo 157 Reglamento de Construcciones (2018)
Sala-comedor	10,00	2,50	Artículo 157 Reglamento de Construcciones (2018)
Servicio Sanitario	2,50/2,00	1,55/1,00	Ley 7600 (1998) /Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones (2017)
Patio de luz	4,50	2,10	Artículo 129 Reglamento de Construcciones (2018)

El modelo resume las áreas de las habitaciones en un cuadro similar al Cuadro 4, permitiendo comparar y tener control del cumplimiento en el diseño de la vivienda. Se muestra en las tablas de planificación del navegador del proyecto y se observa como en la Figura 14.

<Tabla de planificación de habitaciones 2>					
A	B	C	D	E	F
Nombre	Área	Área mínima	Ancho mínimo	Altura de piso a cielo	Reglamento
Nivel 1					
Dormitorio principal	10.67 m ²	9.00 m ²	2.50 m	2.680 m	Artículo 157 del Reglamento de Construcciones, 2018
Dormitorio	7.78 m ²	7.50 m ²	2.50 m	2.680 m	Artículo 157 del Reglamento de Construcciones, 2018
S.S.	3.74 m ²	2.50 m ²	1.00 m	2.387 m	Ley 7600 (2001) / CIHSE (2017)
Pasillo	3.15 m ²		0.90 m	2.380 m	Ley 7600 (2001)
Sala-Cocina-Comedor	17.57 m ²	15.00 m ²	2.50 m	2.554 m	Artículo 157 del Reglamento de Construcciones, 2018
Área de limpieza	3.42 m ²	2.50 m ²	1.05 m	2.847 m	
Patio de luz	6.73 m ²	6.00 m ²	2.40 m	4.000 m	Artículo 157 del Reglamento de Construcciones, 2018
	53.05 m ²				
Nivel 2					
Dormitorio	7.76 m ²	9.00 m ²	2.50 m	2.418 m	Artículo 157 del Reglamento de Construcciones, 2018
Dormitorio principal	10.67 m ²	7.50 m ²	2.50 m	2.418 m	Artículo 157 del Reglamento de Construcciones, 2018
S.S.	3.74 m ²	2.50 m ²	1.00 m	2.387 m	Ley 7600 (2001) / CIHSE (2017)
Pasillo	3.15 m ²		0.90 m	2.380 m	Ley 7600 (2001)
Sala-Cocina-Comedor	17.57 m ²	15.00 m ²	2.50 m	2.402 m	Artículo 157 del Reglamento de Construcciones, 2018
Área de limpieza	3.42 m ²			2.438 m	
	46.31 m ²				
Nivel 3					
Dormitorio Principal	10.67 m ²	9.00 m ²	2.50 m	2.380 m	Artículo 157 del Reglamento de Construcciones, 2018
Dormitorio	7.79 m ²	7.50 m ²	2.50 m	2.380 m	Artículo 157 del Reglamento de Construcciones, 2018
S.S.	3.74 m ²	2.50 m ²	1.00 m	2.387 m	Ley 7600 (2001) / CIHSE (2017)
Área de limpieza	3.03 m ²			2.438 m	
Pasillo	3.13 m ²	0.00 m ²	0.90 m	2.381 m	Ley 7600 (2001)
Sala-Cocina-Comedor	17.57 m ²	15.00 m ²	2.50 m	2.382 m	Artículo 157 del Reglamento de Construcciones, 2018
	45.93 m ²				
Superficie útil total	145.29 m ²				

Figura 14. Captura de pantalla de la tabla de planificación de habitaciones del modelo.

3.2.4. Patio de luz

El patio de luz tiene un ancho de 2,40 m y un área de 6,73 m². De esta manera, cumple con el ancho mínimo de 2,4 m y el área mínima de 6 m² que establece el Reglamento de Construcciones (INVU, 2018) para edificaciones con una altura de hasta 11 m, y en el caso cuando el patio de luz está rodeado por piezas no habitables.

El patio de luz tiene como objetivo servir como una fuente de iluminación y ventilación natural para la sala-cocina-comedor y el baño. Para el primer nivel puede servir para el tendido de ropa, para los niveles superiores proporciona ventilación para el secado de ropa en los balcones del área de limpieza, evitando su colocación en otros sitios del edificio visibles desde el exterior. El patio de luz es solo accesible para la unidad habitacional del primer nivel.

Adicionalmente, de acuerdo con el Reglamento de Construcciones (INVU, 2018), los aleros sobre el patio de luz no pueden cubrir más de un 25 % de la superficie. Además, no pueden ser cubiertos por voladizos, pasillos o escaleras. En el modelo, las dimensiones de los aleros fueron escogidas de forma que se cumpla este requisito y se aprovechen las dimensiones de las láminas para este ofrecidas en el mercado nacional, para así evitar el desperdicio por el corte de los materiales.

En la Figura 15 se muestra una renderización tridimensional del patio de luz.



Figura 15. Patio de luz para el primer nivel

3.2.5. Acabado del piso

El acabado del piso es de baldosas de cerámica para la cocina, la sala, el comedor, el pasillo, el baño y los cuartos. Para el balcón y el área de pila el acabado será concreto afinado y lujado en fresco, el mínimo establecido por la Directriz N°27 (2001). Se modela baldosa cerámica de dimensiones 30 x 30 cm, de color blanco, y liso para la sala, cocina, comedor y pasillo. Para los baños las baldosas se modelan de 15 cm x 15 cm y de color blanco, y de 60 cm x 60 cm con apariencia de madera para los cuartos.

Dichas dimensiones de baldosas se ajustan a la modularidad del modelo, por lo que se reducen costos y aporta a la sostenibilidad del diseño al evitar el desperdicio de materiales a partir del corte de baldosas. También, una de las ventajas de las baldosas es que por lo general son resistentes, lo que reduce al mínimo la necesidad de mantenimiento. Sin embargo, en su fabricación se utilizan grandes cantidades de energía por lo que tienen un alto grado de energía incorporada (IFC,2018).

Una alternativa a la cerámica es el piso vinílico, que necesita poco mantenimiento, es impermeable, se instala con facilidad y son duraderos (IFC,2018). Sin embargo, su costo es aproximadamente tres veces mayor a las baldosas de cerámica e igualmente tienen un alto grado de energía incorporada.

3.2.6. Puertas

Las puertas de toda la vivienda tienen las mismas dimensiones para facilitar la constructibilidad y diseño. El Reglamento de Construcciones (INVU, 2018) establece una altura mínima de las puertas de 2,00 m, pero esta altura es poco común en la oferta del mercado nacional. En su lugar, se modela la puerta con una altura de 2,10 m, una altura más tradicional en el país. Además, de acuerdo con la Ley 7600 (1998), la cerradura de la puerta principal debe estar a una altura accesible máxima de 1 m.

El Reglamento de Construcciones, la Ley 7600 y el Reglamento Nacional de Protección Contra Incendios (Cuerpo de Bomberos de Costa Rica, 2020) coinciden en un ancho mínimo para las

puertas de 0,90 m. Para puertas batientes, el ancho libre debe medirse entre la cara de la puerta y el tope en el que se detiene al cerrarse (Cuerpo de Bomberos de Costa Rica, 2020). Con respecto a la apertura de las puertas el Manual de Disposiciones Técnicas Generales Sobre Seguridad Humana y Protección Contra Incendios (Cuerpo de Bomberos de Costa Rica, 2013) define lo siguiente:

Cualquier puerta en un medio de egreso debe ser de tipo de bisagras laterales o batiente con pivote y debe instalarse de modo que sea capaz de abrirse desde cualquier posición hasta el ancho total requerido de la abertura en la que está instalada.

...

Durante la apertura de cualquier puerta en un medio de egreso se debe dejar sin obstrucción por lo menos la mitad del ancho requerido de un pasillo, corredor, pasadizo o descanso. (p. 16-17)

Por esta razón, la puerta en el medio de egreso, es decir, la puerta de entrada a la vivienda se abre hacia el interior de la vivienda, ya que al abrirse hacia afuera obstruiría la mayor parte del descanso. El Reglamento Nacional de Protección Contra Incendios (Cuerpo de Bomberos de Costa Rica, 2020) incluye las viviendas individuales, que abren directamente hacia una salida, entre las excepciones para permitir la apertura de la puerta en dirección contraria al recorrido de egreso. De igual forma, las puertas internas abren hacia cada estancia, ya que de lo contrario podrían obstruir el pasillo y por lo tanto el medio de egreso desde otras habitaciones.

En el modelo se utiliza una única familia de puerta interna, cuya vista en planta y dimensiones se muestran en la Figura 16. Para la puerta de la vivienda y la puerta del núcleo de escaleras se modela una familia de puertas cortafuego, según requisito del Reglamento Nacional de Protección Contra Incendios.

A pesar de que las puertas no se ajustan a la modularidad del modelo en altura y en ancho, no se deben realizar cortes de bloques para los buques de las puertas de los dormitorios y el área de pila, ya que los muros son diseñados en material liviano.

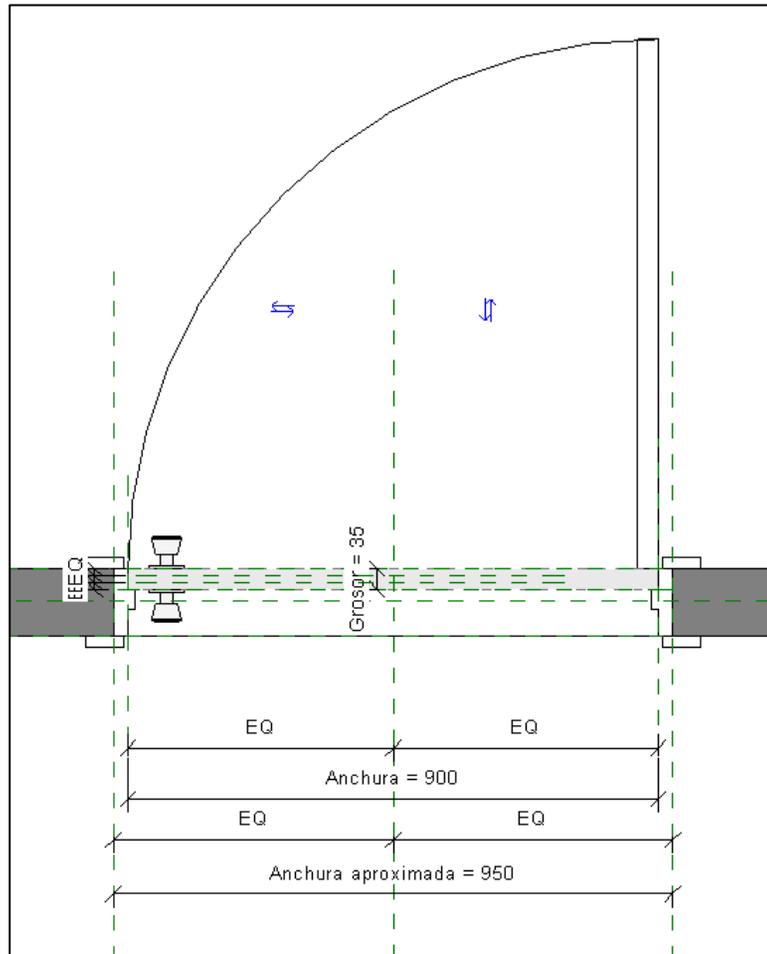


Figura 16. Vista en planta de la familia única de puerta del modelo.

3.2.7. Ventanas, ventilación e iluminación

3.2.7.1. Superficie de abertura

El área de las ventanas se define en base a dos criterios, los mínimos establecidos por el Reglamento de Construcciones, y las recomendaciones de la Guía del Usuario de Edge (IFC,2018). Se da prioridad a la recomendación de la guía, sin embargo, si a partir de dicho criterio el área de la ventana no cumple con el mínimo del Reglamento de Construcciones, rige este último.

Además, el ancho y la altura de las ventanas se definen tomando en cuenta la modularidad de los muros y las dimensiones de los bloques. El ancho es un múltiplo de la unidad modular del modelo (15 cm), y la altura un múltiplo de 0,20 m, la altura de un bloque incluyendo la sisa. Para esto, se utiliza el Cuadro 5 que contiene las áreas en metros cuadrados para diferentes combinaciones de los múltiplos mencionados de altura y ancho.

Cuadro 5. Áreas en m² para las ventanas según ancho y altura

		Altura (m)										
		0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2
Ancho (m)	0,15	0,03	0,06	0,09	0,12	0,15	0,18	0,21	0,24	0,27	0,3	0,33
	0,3	0,06	0,12	0,18	0,24	0,3	0,36	0,42	0,48	0,54	0,6	0,66
	0,45	0,09	0,18	0,27	0,36	0,45	0,54	0,63	0,72	0,81	0,9	0,99
	0,6	0,12	0,24	0,36	0,48	0,6	0,72	0,84	0,96	1,08	1,2	1,32
	0,75	0,15	0,3	0,45	0,6	0,75	0,9	1,05	1,2	1,35	1,5	1,65
	0,9	0,18	0,36	0,54	0,72	0,9	1,08	1,26	1,44	1,62	1,8	1,98
	1,05	0,21	0,42	0,63	0,84	1,05	1,26	1,47	1,68	1,89	2,1	2,31
	1,2	0,24	0,48	0,72	0,96	1,2	1,44	1,68	1,92	2,16	2,4	2,64
	1,35	0,27	0,54	0,81	1,08	1,35	1,62	1,89	2,16	2,43	2,7	2,97
	1,5	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	3	3,3
	1,65	0,33	0,66	0,99	1,32	1,65	1,98	2,31	2,64	2,97	3,3	3,63
	1,8	0,36	0,72	1,08	1,44	1,8	2,16	2,52	2,88	3,24	3,6	3,96
	1,95	0,39	0,78	1,17	1,56	1,95	2,34	2,73	3,12	3,51	3,9	4,29
	2,1	0,42	0,84	1,26	1,68	2,1	2,52	2,94	3,36	3,78	4,2	4,62

De acuerdo con el Reglamento de Construcciones (INVU, 2018), las ventanas deben tener un área no inferior al 15 % de la superficie para las piezas habitables y la cocina, y de 10 % de la superficie para los cuartos de baño, además, la dimensión menor de cada ventana no puede ser inferior a 0,30 m. La guía de Edge (IFC,2018) incrementa estos valores a 20 % y 25 % para la cocina.

El mismo reglamento indica que la profundidad de cualquier pieza habitable no puede exceder el doble de la altura de piso a cargador de ventanas (INVU,2018). Por su parte, la guía de Edge (IFC,2018) recomienda una relación máxima de 1,5 entre la profundidad de la pieza y la altura al techo para cuando existe una única abertura. Para estos casos, el cuarto principal es la habitación que tiene la mayor profundidad con 3,93 m, cumpliendo el requisito del reglamento

pero no así la recomendación de la guía de Edge. Sin embargo, apenas se supera la relación con un valor 1,51 para los primeros dos niveles y de 1,64 para el tercer nivel. Esta situación se presenta principalmente por la extensión del cuarto principal de forma que su muro posterior coincidiera en el mismo eje con el muro posterior del otro dormitorio, para lograr más regularidad de la estructura.

Además, se siguen las estrategias básicas propuestas por la guía Edge (IFC,2018) para lograr un equilibrio entre los beneficios de la iluminación y ventilación natural. Se utiliza una relación entre el área de la pared y el área de la ventana (WWR por sus siglas en inglés) del 15 % para las ventanas de los dormitorios. Sin embargo, utilizando dicho valor se obtiene un área de ventanas menor que lo requerido por el Reglamento de Construcciones. En base a esto rige el valor mínimo del reglamento.

Siguiendo estos requisitos y recomendaciones, se reducen los costos de construcción al descartar medios de protección contra la luz solar, y al utilizar ventanas más pequeñas. Adicionalmente, se decide usar la misma ventana para ambas habitaciones, para así estandarizar el tamaño, y facilitar su instalación y fabricación. De esta manera, todas las ventanas del edificio (excluyendo las de los baños), son de las mismas dimensiones.

Considerando que las ventanas de la sala-cocina-comedor se encuentran protegidas de la luz solar directa, se sigue la estrategia de la guía EDGE (IFC, 2018) de utilizar ventanas de tamaño medio (WWR del 30 %). El área de la cocina podría experimentar un poco de falta de iluminación natural.

En base a estos requisitos, recomendaciones y al Cuadro 5 , se definen las dimensiones de las ventanas que se muestran en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Dimensiones de las ventanas por pieza.

Pieza	Largo pared (m)	Alto muro (m)	Área pared (m2)	WWR=15	Área mínima INVU , 2018(m2)	Área seleccionada (m2)	Dimensiones de la ventana AnchoxAltura (mm)
Sala comedor cocina*							
Frontal	2,73	2,70	7,37	2,21	2,52	1,47	1050x1400
Lateral	3,62	2,60	9,40	2,82		1,47	1050 x 1400
Dormitorio principal	2,87	2,70	7,74	1,16	1,41	1,47	1050 x 1400

Pieza	Largo pared (m)	Alto muro (m)	Área pared (m2)	WWR=15	Área mínima INVU , 2018(m2)	Área seleccionada (m2)	Dimensiones de la ventana AnchoxAltura (mm)
Dormitorio secundario	2,73	2,70	7,37	1,11	1,16	1,47	1050 x 1400
Baño	1,53	2,40	3,67	0,55	0,35	0,36	900 x 400

* WWR=30

3.2.7.2. Posicionamiento y diseño de las ventanas.

Para el posicionamiento en planta de las ventanas, se toma en consideración dejar los espacios que se necesitarán para colocar el acero de refuerzo vertical y horizontal del buque de la ventana o de los muros. Se busca ubicarlas aproximadamente a la mitad de los muros para contar con simetría de los elementos estructurales de refuerzo a ambos lados de la abertura.

En cuanto a la posición vertical de las ventanas con respecto al muro, el extremo superior se extiende hasta la viga corona para aprovecharla como viga cargador. Al mismo tiempo, esto añade seguridad para los usuarios al definir una altura de antepecho de 1,2 m para los primeros dos niveles y de 1 m para el último nivel. En la Figura 17 se muestra como la ventana se ajusta tanto a los bloques como a la viga corona.



Figura 17. Ventana de 1,4 m de altura y 1,5 m de ancho.

Las ventanas son deslizables, uno de los lados tiene que ser deslizable o ambos lo pueden ser, de forma que se cumple con el requisito del Reglamento de Construcciones (INVU, 2018) que establece al menos la mitad de una ventana debe abrirse para efectos de ventilación. El marco de las ventanas es de aluminio y la cristalería es transparente.

3.2.7.3. Ventilación

El Reglamento de Construcciones (INVU,2018) establece que los cuartos de baño deberán tener iluminación y ventilación por medio de ventanas, linternillas o tragaluces, que darán directamente a patios o al espacio público. En el caso del modelo VUIS, dicho requisito se cumple a través de una ventana de 900 x 400 mm que da hacia el área de limpieza, que a su vez es abierta al patio de luz.

El resto de las ventanas se colocan de tal manera que la ventilación es de flujo cruzado, como se muestra en la Figura 18, un sistema en el que el aire fresco entra desde el exterior al espacio ocupado, y el aire de salida pasa por una ubicación diferente (IFC, 2018). Asimismo, se utiliza ventilación por dos laterales, a través de la ventana frontal y la ventana lateral, para la sala-cocina-comedor, aprovechando la diferencia de presión entre las dos aberturas. La ventilación por un solo lateral se utiliza para los dormitorios y el baño. En este caso, como solo cuentan con una abertura, la ventilación se produce por corrientes de turbulencia.

En las circunstancias en que las puertas de los dormitorios se encuentren abiertas, se puede considerar que existe ventilación cruzada por dos laterales para toda la vivienda, aún más si la puerta del área de limpieza también lo está.

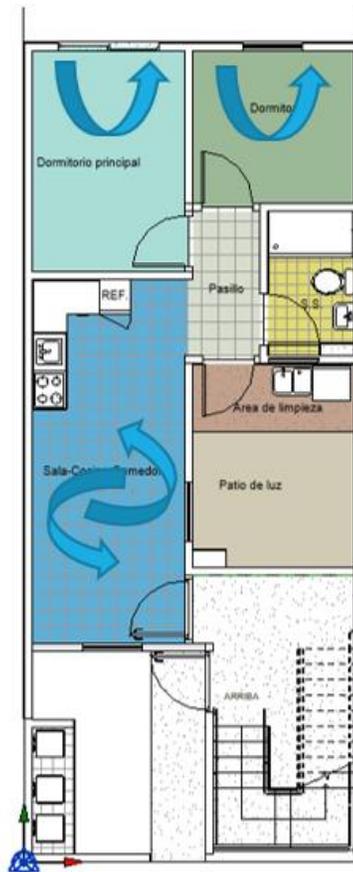


Figura 18. Ventilación cruzada en la vivienda.

La profundidad del espacio que se puede ventilar mediante una estrategia de ventilación de flujo cruzado depende de la altura del piso al cielo raso, así como del número de aberturas y su ubicación de acuerdo con la guía Edge (IFC, 2018). Esta misma indica una relación máxima entre la profundidad de la habitación y la altura del cielo raso de cinco para la ventilación cruzada por dos laterales, y de 1,5 para la ventilación por un solo lateral. Además, La superficie de la ventana debe representar como mínimo un 10 % de la superficie de la pared para contarse como una abertura de ventilación natural.

En el Cuadro 7 se resumen las relaciones entre la profundidad de las piezas y la altura a cielo (para el caso del tercer nivel) o entrepiso. La profundidad tomada para la sala-cocina-comedor es la del ancho. Se nota como se puede considerar la ventilación como una ventilación de flujo cruzado ya que se cumple con la relación recomendada. La única excepción es para el

dormitorio principal del tercer nivel para la que se obtiene una relación de 1,63. Sin embargo, debido a que dicho nivel solamente tiene la cubierta por encima, el diseñador puede considerar aumentar la altura del nivel.

Cuadro 7. Relación entre la profundidad de la habitación y la altura del cielo raso

Habitación	Nivel	Profundidad (m)	Altura a entepiso o cielo (m)	Relación
Sala-cocina-comedor	1 y 2	2,70	2,70	1,00
Dormitorio principal	1 y 2	3,92	2,70	1,45
Dormitorio secundario	1 y 2	2,70	2,70	1,00
Sala-cocina-comedor	3	2,70	2,40	1,13
Dormitorio principal	3	3,92	2,40	1,63
Dormitorio secundario	3	2,70	2,40	1,13

Se puede considerar añadir ventiladores al diseño para aumentar el movimiento del aire, lo que contribuye a aumentar el confort humano.

3.2.8. Cielo raso

A nivel interior y para los primeros dos niveles, se coloca cielo raso de gypsum únicamente en el pasillo, el baño y la cocina. En todos los casos se encuentra a una altura de 2,4 m, dejando un espacio de 30 cm para la colocación de los sistemas electromecánicos entre el cielo y el entepiso. Para la unidad habitacional del tercer nivel, el cielo raso abarca toda la extensión de la vivienda.

No se modela la soportería del cielo, sin embargo, se supone que está se sujeta al entepiso y también en las paredes en el caso de los laterales.

De acuerdo con la guía EDGE (IFC,2018), el aire es un mal conductor del calor; por lo tanto, el aire atrapado en un espacio entre dos capas de una pared o de un techo actúa como una barrera que impide la transferencia de calor. Pero, las cámaras de aires mayores a 100 mm

favorecen la convección por lo que dejan de ser efectivas como aislantes (IFC, 2018). Sin embargo, en el caso del modelo VUIS 3x1, el entepiso de viguetas y bloques de concreto ofrece aislamiento entre los niveles que separan.

Para el último nivel, el aislamiento cobra más importancia debido al contacto directo con la cubierta de metal. Por lo tanto, se genera una cámara de menos de 100 mm de ancho entre el cielo raso y una segunda capa de material liviano. Además, si se utiliza un material con la suficiente resistencia como la capa superior de esta cámara de aire, permitiría utilizar este espacio como medio de almacenamiento y como acceso a la cubierta para su mantenimiento.

Las vigas y los muros estructurales, que son continuos en altura, funcionan como la barrera cortafuegos en el espacio oculto entre el cielorraso y el piso, lo que es requerido por el Reglamento Nacional de Protección Contra Incendios (Cuerpo de Bomberos de Costa Rica, 2020). Cuando se trate de muros livianos no estructurales, se deben extender de forma que funcionen como barrera cortafuego, y por lo tanto, ser de un material con la resistencia requerida.

Los materiales de los acabados interiores de muros y cielorrasos deben tener un nivel de combustibilidad Clase A, Clase B o Clase C (Cuerpo de Bomberos de Costa Rica, 2020) y deben tener la misma clasificación de resistencia al fuego que los aposentos inferiores.

3.2.9. Cubierta y estructura de techo

3.2.9.1. Cubierta

La cubierta del techo es de lámina metálica ondulada. Consiste en dos secciones con pendiente de 15 % dirigidas hacia el frente del edificio y la parte posterior. La unión entre estas dos secciones se da a través de una cumbrera.

Por su parte, la cubierta de las escaleras es de lámina ondulada transparente, de 14,55 m² de área, para proveer una iluminación natural durante el día a las escaleras. Tiene una sola dirección de aguas dirigida hacia el patio de luz y de 15 % de pendiente.

Las cubiertas se extienden 61 cm cuando cubren ventanas o balcones, formando aleros para brindar cobertura frente a la lluvia y los rayos solares. Además, los traslapes entre láminas deben ser de como mínimo 15 cm.

Para su modelación, se genera una familia de cubierta con una capa correspondiente a la lámina galvanizada de 18,4 mm de peralte y una capa de 5 mm de pintura. La ondulación no se modela, sin embargo, se asigna un patrón de superficie de 762 x 1830 mm que simula los traslapes entre láminas y las crestas de las ondulaciones para los estilos visuales diferentes al realista.

De acuerdo con la guía EDGE (IFC, 2018), el hierro galvanizado es un material muy denso y resistente a la corrosión. Sus láminas son fáciles de instalar, económicas y muy ligeras. Su uso es muy extendido en el país y existen varias opciones disponibles en el mercado nacional.

Para aumentar el confort térmico de los ocupantes de la vivienda, se considera utilizar pintura reflectiva de color blanco para la cubierta del techo o láminas esmaltadas de ese color. Según la guía EDGE (IFC, 2018), en climas cálidos como el del Valle Central de Costa Rica, un acabado de color blanco es la opción ideal para maximizar la reflectividad. En el Cuadro 8 se muestra la diferencia entre la reflectividad de un techo metálico, se puede tomar como ejemplo el aluminio, de 61 %, y de un techo metálico cuando se le ha aplicado un revestimiento metálico, con 67 %.

Cuadro 8. Valores de reflectividad solar para materiales de techo habituales.

Materiales de techo genéricos	Reflectividad Solar (%)
EPDM Gris	23
Tejas asfálticas	22
Tejas de cemento sin pintar	25
Betún granular blanco	26
Teja de arcilla roja	33
Gravilla clara en cubierta de varias capas	34
Aluminio	61
Gravilla blanca en cubierta de varias capas	65
Revestimiento blanco en techo metálico	67

Materiales de techo genéricos	Reflectividad Solar (%)
EPDM blanco	69
Teja de cemento blanco	73
Revestimiento blanco: 1 capa, 8 mils*	80
PVC blanco	83
Revestimiento blanco: 2 capas, 20 mils*	85

Fuente: IFC, 2018

3.2.9.2. Estructura de techos

Las cubiertas son soportadas por un sistema de clavadores metálicos de perfil C de 70 x 50 x 1,2 mm, perpendicular a la dirección de la pendiente de la cubierta, y con una separación de un metro, excepto para las que se encuentran en los bordes de la cubierta. Las viguetas de la edificación están apoyadas en los extremos sobre vigas tapichel de concreto, y para el caso de la sección con dirección a la parte posterior, también sobre una cercha de metal triangular ubicada a aproximadamente la mitad de la sección.

Además, una cercha metálica rectangular se encuentra por debajo de la cumbrera soportando la separación de las aguas. Dichas cerchas metálicas se componen de cordones superior e inferiores de perfil C de 100 x 50 x 1,5 mm. Por otro lado, las celosías son de perfil C de 70 x 50 x 1,2 mm.

La cubierta de las escaleras está soportada por un sistema de clavadores con las mismas características, pero se apoya del lado interno sobre un viga de metal de perfil de 150x100 mm que a su vez está soportada por una columna con las mismas dimensiones.

En la Figura 19 se muestra una vista alámbrica de la estructura de la cubierta.

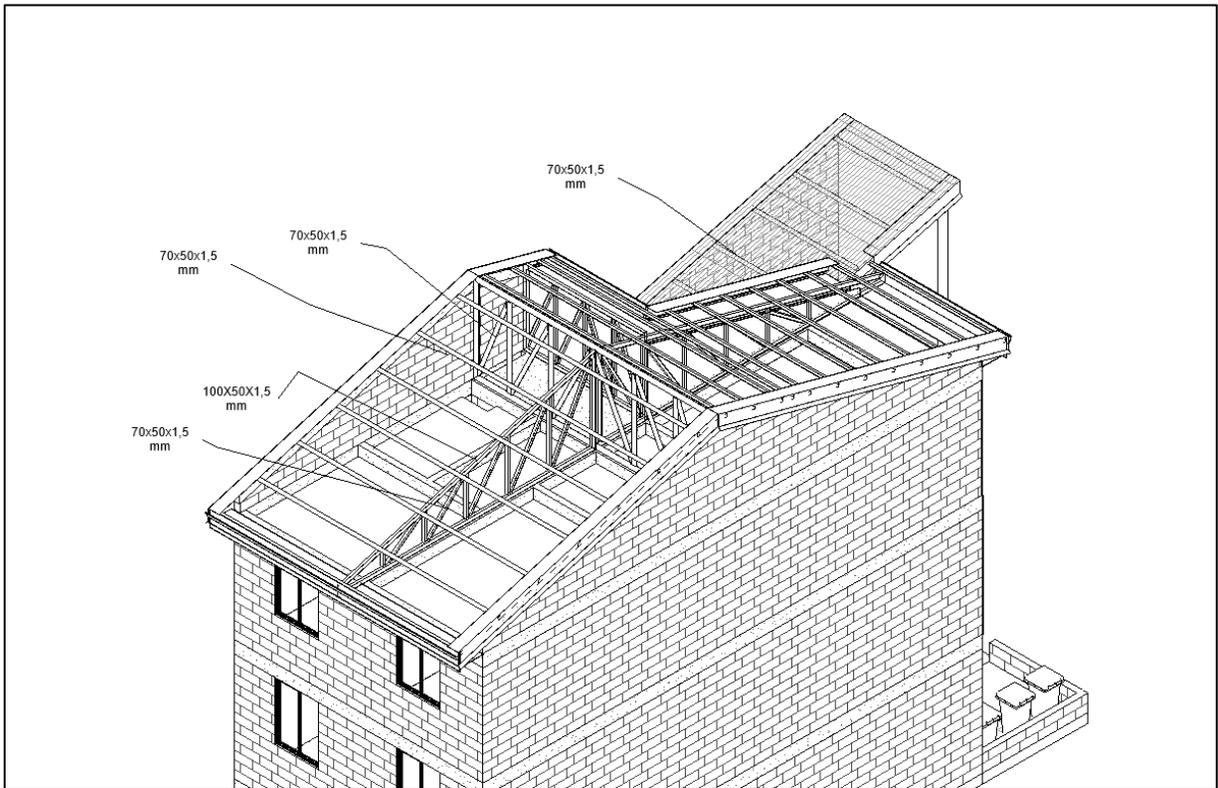


Figura 19. Vista alámbrica de la estructura de la cubierta.

3.2.10. Aleros

Según la Directriz 27 (2001), se debe colocar cielo raso en los corredores y aleros, y estos podrán ser de madera o productos de fibrocemento, gypsum para exteriores o similar. En aleros no debe medir menos de 50 cm de ancho (fuera del ancho de canoa).

En el caso del modelo VUIS existen aleros en la parte posterior, frontal y en el patio de luz. Son soportados por extensiones de las vigas tapichel que consisten en perfiles C de 70 x 50 x 1,2 mm o estructuras de estos mismos perfiles adheridas a los muros. El ancho de los aleros se selecciona de 61 cm, de forma que coincida con la mitad de una lámina del material, y de manera que se cumpla con el requisito y se reduzca el desperdicio.

Se modelan de material de fibrocemento para exteriores, sin embargo, un profesional que se base en este modelo tipo puede seleccionar cualquiera de los materiales permitidos por la Directriz 27 (2001).

3.2.11. Barandas y pasamanos

3.2.11.1. Barandas

Al tratarse de una solución de vivienda vertical, varios espacios de la edificación requieren de protección frente a caídas en altura. Se protegen con barandas el balcón frontal, las escaleras, y el balcón del área de limpieza.

De acuerdo con la Ley 7600 (2001), "los pisos intermedios, balcones o terrazas que sean transitables y que se encuentren a 0,40 m o más del nivel de piso inferior, deberán ser protegidos por barandas de seguridad, cuya barra superior no podrá estar a más de 0.90 m". desde el nivel del piso hasta la parte superior de la baranda. Sin embargo, el Reglamento de Construcciones (INVU,2018) y el Reglamento Nacional de Protección Contra Incendios (Cuerpo de Bomberos de Costa Rica, 2020), definen que las barandas deben poseer no menos de 1,07 m de altura.

Siguiendo estas especificaciones, se modela una familia de barandas metálicas con una altura de 1,10 m, una distancia entre balaustres de 1 m, y secciones redondas de 40 mm para el último barandal, 30 mm para el resto de los barandales, y de 25 mm para los balaustres. Las alturas de los barandales se definen como se muestra en el Cuadro 9 y la Figura 21 de forma que no queden espacios abiertos mayores a 10 cm hasta una altura de 86,5 cm, según lo establece el Reglamento Nacional de Protección Contra Incendios (Cuerpo de Bomberos de Costa Rica, 2020).

Cuadro 9. Altura de los barandales.

Barandal	Altura (cm)
1	80,50
2	69,00
3	57,50
4	46,00
5	34,50

Barandal	Altura (cm)
6	23,00
7	11,50

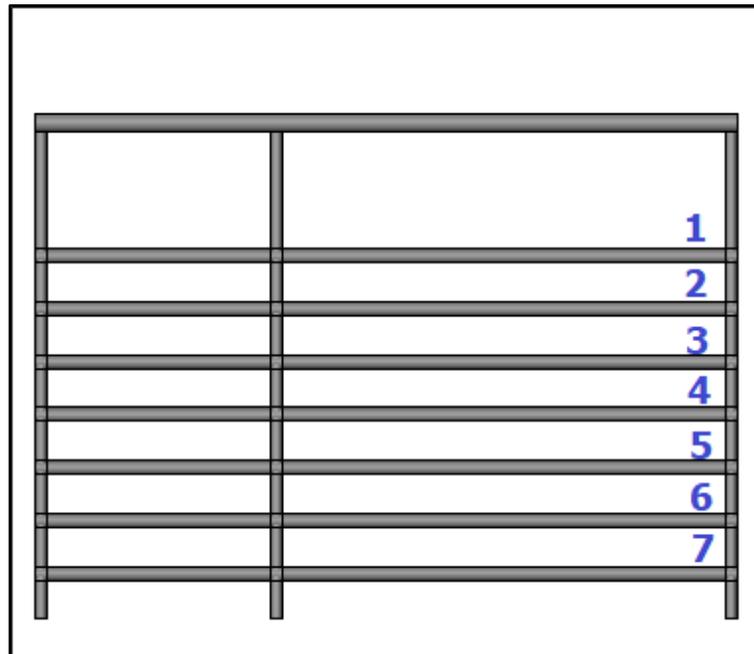


Figura 20. Vista frontal de la familia de barandas

3.2.11.2. Pasamanos

A las barandas de las escaleras se les adosa un pasamanos a una altura de 90 cm de altura. En los lados de las escaleras que no sean abiertos, se colocan únicamente pasamanos apoyados en los muros, a una altura de 90 cm por encima de los escalones medidos desde la parte superior de los pasamanos, según lo requerido por el Reglamento Nacional de Protección Contra Incendios (Cuerpo de Bomberos de Costa Rica, 2020).

Además, de acuerdo con el Reglamento Nacional de Protección Contra Incendios (Cuerpo de Bomberos de Costa Rica, 2020) los pasamanos deben cumplir con las siguientes características:

- Cuando son de sección circular transversal el diámetro externo no debe ser menor de 3,2 cm y no mayor de 5,1 cm.
- Deben instalarse de tal manera que provean un espacio libre no menor a 5,5 cm entre los pasamanos y la pared a la que están sujetos.
- No debe haber proyecciones que puedan engancharse a la ropa.
- Los extremos de los pasamanos deben voltearse hacia la pared o hacia el piso, o deben terminar en postes.
- Debe ser continuos en la longitud total de cada tramo de escaleras, inclusive durante los descansos.

En Revit los pasamanos no consisten en familias que se puedan crear directamente, sino que se ligan a las familias de barandas. La familia utilizada en el modelo fue modificada de manera que cumpla con los cuatro primeros requisitos recién listados. Cuando estén adheridos a la pared, los pasamanos se voltearán hacia el muro. Cuando más bien estén sujetos a las barandas se voltean hacia el piso, como se muestra en la Figura 21. Esta es solo una de las opciones para evitar las proyecciones, mientras cumpla con los requisitos el diseñador puede optar por otras maneras de resolver los extremos.

El Reglamento Nacional de Protección Contra Incendios (Cuerpo de Bomberos de Costa Rica, 2020) también establece el siguiente requisito:

Los pasamanos que no sean continuos entre tramos de escaleras deben extenderse horizontalmente, a la altura requerida, por no menos de 30,5 cm más allá de la contrahuella superior y continuar en declive hasta una huella después de la contrahuella inferior. (p.25)

Para esto, se crean distintos tipos de pasamanos dentro de la familia de barandas según lo necesitado: sin extensión, con extensión inferior, con extensión superior, entre otros.



Figura 21. Barandas y pasamanos para el tramo inferior de las escaleras.

3.2.12. Repello, Pintura y acabados de paredes

La Directriz 27 (2001) exige que las paredes exteriores de mampostería tengan un recubrimiento que garantice la impermeabilidad y la durabilidad de las paredes y otros elementos exteriores expuestos. También establece que la vivienda debe ser pintada de manera exterior con no menos de dos manos de pintura que también garantice la impermeabilidad.

Para contribuir a la reducción del calor por medios no mecánicos, se decide que la pintura exterior sea de color blanco o similar siempre que no produzca resplandor. En la fachada, el color blanco se combina con un color más oscuro como decisión de estética, este se coloca en los balcones, un sitio donde se espera que la incidencia del sol sea baja.

El color blanco tiene una alta reflectividad con respecto a los colores más oscuros. Si la pintura además es reflectante, se puede mejorar el confort térmico de los espacios, y con la reducción de la temperatura de la superficie se puede mejorar la vida útil del acabado y reducir el efecto de isla de calor urbana (IFC,2018).

En una edificación como la VUIS de este modelo, donde no se cuenta con un sistema de aire acondicionado o no se tiene un nivel alto de aislamiento, un acabado con alta reflectividad solar tiene mayor efecto para reducir la carga térmica en el edificio (IFC,2018).

En el Cuadro 10 se muestran los valores de reflectividad para diferentes materiales. Se observa como una pintura de color blanco tiene una reflectividad considerablemente mayor con respecto a colores intermedios.

Cuadro 10. Reflectividad solar de acabados de pared habituales

Materiales de pared genéricos	Reflectividad (%)
Unidad de mampostería de hormigón sin pintar	40
Yeso blanco	90
Pintura acrílica blanca	70
Pintura acrílica de color claro (tonos de blanco)	65
Pintura acrílica de color intermedio (tonos de blanco)	45

Fuente: IFC, 2018

3.3. Desarrollo y Análisis del Modelo estructural

El sistema estructural de la edificación es de mampostería integral, vigas de concreto colado in situ, entrepiso de viguetas de concreto con bloques de mampostería, tapicheles de bloques de concreto y estructura metálica para el techo. Esta combinación de elementos se eligió debido al uso extensivo con el que cuentan en el país, facilidad constructiva, el ser sistemas livianos y otras ventajas que se describen para cada uno de ellos en este capítulo.

Sin embargo, el diseño está abierto a variar el sistema constructivo o la clase de muros. Es por esta razón que no se modelan las cimentaciones, ya que variarán dependiendo principalmente del sistema de muros estructurales. Además, para el diseño de las cimentaciones se deben conocer aspectos como la zona sísmica o el tipo de suelo.

3.3.1. Contrapiso

El contrapiso se modeló de acuerdo con el mínimo establecido por la Directriz N°27 (2001). El espesor de la losa de concreto es de 7,5 cm de concreto de resistencia mínima de 175 kg/cm²

montado sobre una base de grava de 15 cm de espesor, compactada al 95 % del Proctor Estándar como se muestra en la Figura 22.

No obstante, estas especificaciones se modelan únicamente como referencia. Debido a la variabilidad de los suelos, y a que el diseñador que se base en este modelo tipo puede variar el sistema constructivo, es responsabilidad del profesional realizar los cálculos para el diseño de contrapiso que se ajuste a su suelo y caso específico.

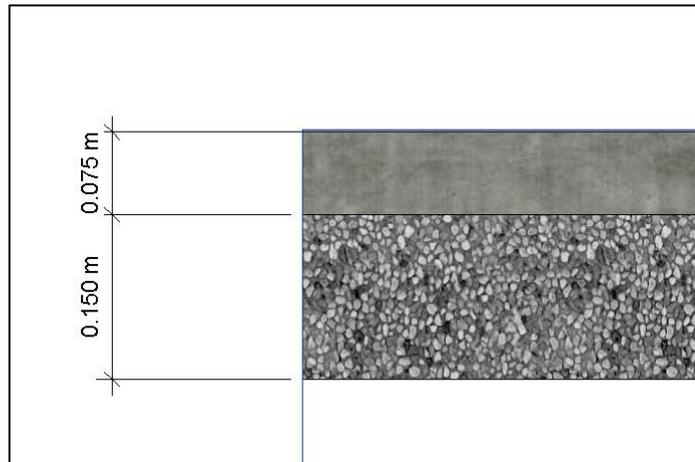


Figura 22. Vista realista de una sección del contrapiso.

3.3.2. Muros

3.3.2.1. Modularidad y constructibilidad

Los muros consisten en bloques de mampostería modular colocados en forma traslapada. Las dimensiones nominales de cada bloque son de 20 cm de altura, 45 cm de largo, y 13,5 cm de ancho, considerando un espesor de mortero de pega de 1,4 cm para la altura y el largo. Su colocación debe hacerse de manera traslapada, el CSCR 2010, Revisión 2014 (2016) no permite la colocación en estiba para edificios de más de dos pisos.

El uso del bloque modular facilita la colocación de acero logrando juntas perfectas en las esquinas de paredes, dependiendo de su tipo son ligeros y fáciles de manipular, su bajo peso contribuye a reducir la carga permanente de la mampostería sobre la estructura (IFC, 2018),

y un diseño adecuado podría evitar por completo el corte o reducirlo considerablemente ya que también está disponible 2/3 o 1/3 de bloque.

Además, el sistema de mampostería cuenta con gran aceptación en el país, su uso es extendido, la mano de obra cuenta con experiencia y poseen resistencia al fuego y a la humedad. Como ejemplo, la resistencia al fuego para bloques modulares de la marca Teknoblock, de 62,2 mm y de 91,3 mm de espesor, es de 70 minutos y de 72 minutos respectivamente (Productos de Concreto, 2018). La resistencia al fuego del muro de mampostería aumenta si se le agrega un acabado como el repello. En función del espesor del acabado, la resistencia varía de acuerdo con el gráfico de la Figura 23.

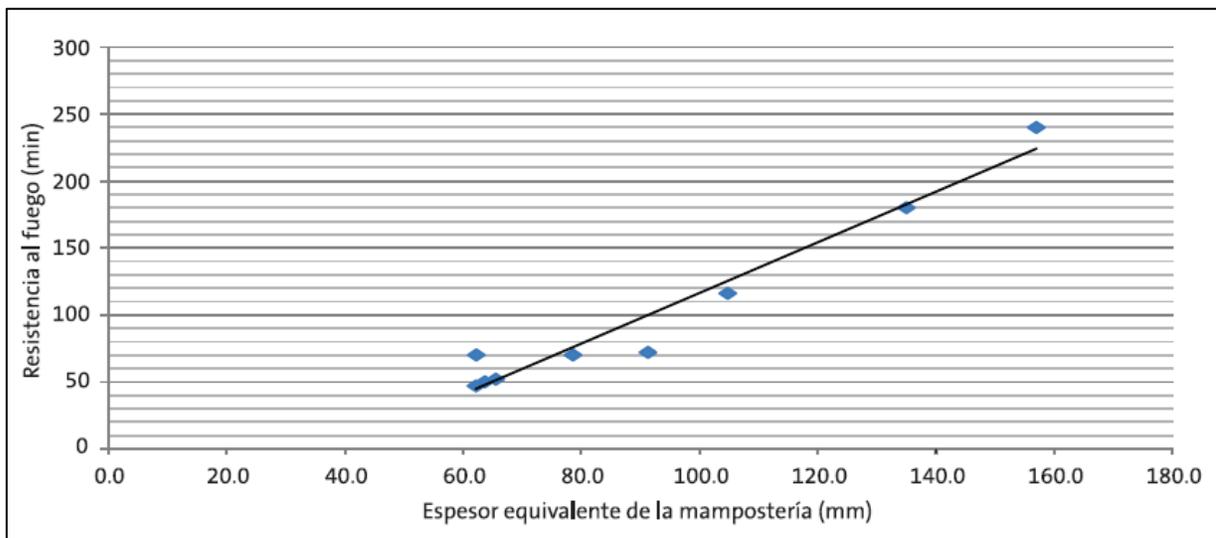


Figura 23. Resistencia de la mampostería al fuego.
Fuente: Productos de Concreto, 2018.

Para el trazado de muros se utilizó la grilla con la unidad de 15 cm (1,5 veces la unidad modular M de 10 cm) que se muestra en la Figura 24 es decir, una tercera parte de un bloque modular y seleccionado por la disponibilidad de bloques con estas dimensiones. Sin embargo, el Manual Técnico de Productos de Concreto (2018) recomienda utilizar una cuadrícula de 3M (30 cm). También sugiere utilizar en las aberturas para puertas una dimensión de 9M y múltiplos de 3M para las ventanas.

En la Figura 24 también se muestran las dimensiones de un bloque modular y su adaptación a las rejillas. Los muros se trazaron de manera que las caras de los bloques coincidan con alguna de las líneas de la grilla. Por lo tanto, todos los muros tendrán longitudes con valores múltiplos de 15 cm, evitando así la necesidad de hacer cortes de bloques. También se evita el corte vertical de los bloques al definir la altura de los muros como múltiplos de 20 cm (2M).

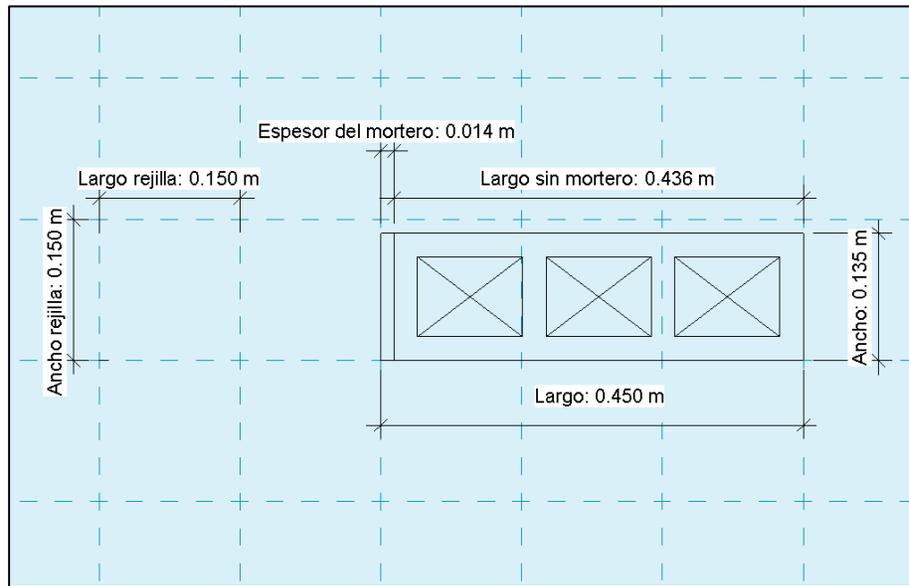


Figura 24. Dimensiones de un bloque modular y de la rejilla guía.

Esta modularidad se confirma en el Cuadro 11 y en el Cuadro 12, en los cuales se divide la longitud de cada muro entre 15 cm. En la Figura 10 se muestra la vista en planta del primer nivel, donde se pueden ver los ejes y los muros. Si el resultado de la división es un número entero, entonces el muro se adapta a la modularidad del bloque de concreto modular seleccionado. Se nota que el muro del eje G no resulta en un número entero, pero tan solo por 1,5 cm, por lo tanto, se pueden hacer ajustes durante la construcción.

Cuadro 11. Longitud de los muros en la dirección Y.

Eje Y	Eje X	Longitud L (m)	L/0,15 (m)
1	A-H	12,00	80,00
2	A-B	2,85	19,00
2	D-G	5,10	34,00
3	G-I	3,75	25,00
4	B-D	2,85	19,00
5	A-I	14,4	96,00
Total		42,30	

Cuadro 12. Longitud de los muros en la dirección X.

Eje X	Longitud L (m)	L/0,15 (m)
A	5,85	39,00
B	1,80	12,00
C	2,85	19,00
D	1,80	12,00
F	3,00	20,00
G	3,285	21,90
Total	18,60	

Para el muro frontal de la fachada se pueden analizar alternativas a los bloques ya que la presencia de la puerta principal y de una ventana reduce el área del muro significativamente, dificultando la colocación del acero de refuerzo. Se puede combinar un muro de bloques hasta la altura de antepecho de la ventana, con el resto del muro siendo de concreto colado en sitio (Figura 25), todo el muro colado, o la opción que el profesional considere la más adecuada.

El CSCR 2010, Revisión 2014 (CFIA, 2016) establece que los elementos de concreto reforzado que trabajen en conjunto con la mampostería deben tener una resistencia mínima en compresión $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ a los 28 días de edad.

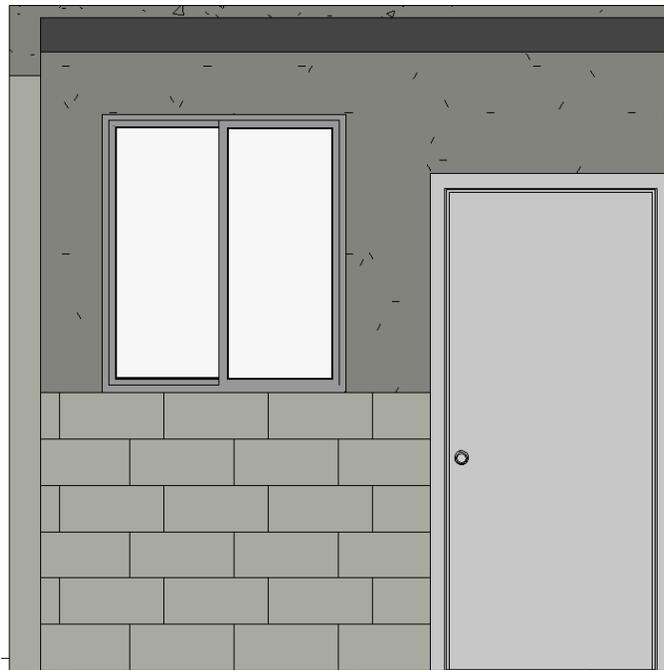


Figura 25. Muro frontal de la fachada

3.3.2.2. Modelado

El bloque modular utilizado en Costa Rica y seleccionado para este modelo no existe como una familia en Revit, lo mismo que los patrones que forman los bloques traslapados. Por lo tanto, para el modelado de los muros se partió de una familia de muros de mampostería existente en el software y se modificó para crear una nueva.

Para esto, se creó un nuevo patrón de superficie con las dimensiones de largo y ancho de los bloques modulares. Este patrón de superficie se adjunta al modelo como un archivo Autocad Hatch Pattern Definition con la siguiente programación:

```
;%VERSION=3.0
;%UNITS=MM

*Bloque modular 200x450,
;%TYPE=MODEL
0, 0, 0, 450, 200, 450
90, 450, 0, 400, 450, 200, -200
90, 150, 200, 400, 450, 200, -200
```

En la Figura 26 se muestra el patrón de superficie en un muro del modelo, y en la Figura 27 la imagen utilizada para el renderizado de los muros de bloques modulares de concreto.

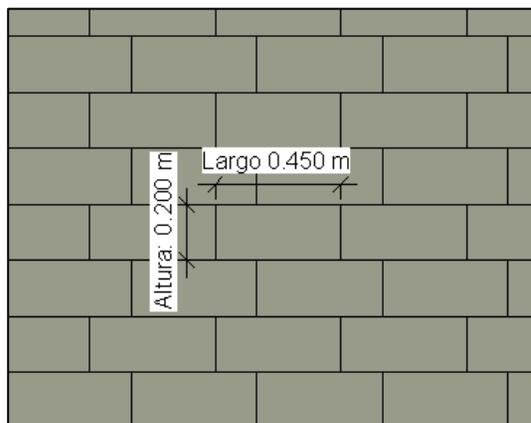


Figura 26. Patrón de superficie de los bloques modulares.

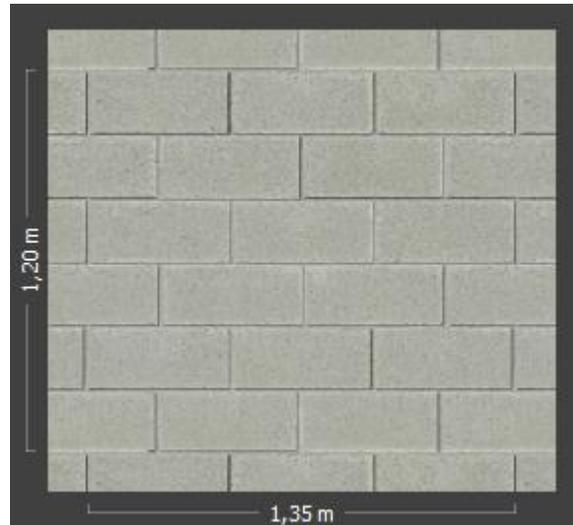


Figura 27. Imagen para el renderizado de los muros de bloques modulares

3.3.2.3. Relación altura/espesor

El CSCR 2010, Revisión 2014 (CFIA, 2016) establece que, en ningún caso la mampostería puede tener una relación entre altura libre y su espesor, mayor que 25 para edificaciones de tres pisos o menos. Además, especifica que la mampostería debe tener un espesor mínimo de 12 cm.

El espesor de los bloques modulares, y por lo tanto de los muros modelados, es de aproximadamente 13,5 cm. Por lo tanto, los muros no pueden tener una altura mayor a 3,40 m. La altura de los muros de la edificación es de 2,6 m para los dos primeros niveles y de 2,4 m para el tercer nivel, por lo que se cumplen los requisitos del CSCR para la relación altura y espesor.

3.3.2.4. Densidad de muros

En el código TMS (s.f., como se citó en Poveda, 2018), se establece que la longitud acumulada de muros de corte en cualquier sentido del edificio debe ser mínimo un 40 % de la longitud máxima del edificio. La longitud máxima de la edificación modelada corresponde a la del muro

sobre el eje 5 y en la dirección Y, con 14,40 m que se muestra en la Figura 10. El 40 % de esta longitud es 5,76 m.

En el Cuadro 11 y en el Cuadro 12 se muestra la longitud acumulada de muros en las direcciones Y y X respectivamente. La longitud acumulada en la dirección Y es de 42,30 m y de 18,60 m en la dirección X como se observa en la Figura 10. Por lo tanto, para ambas direcciones se cumple el requisito de la norma TMS.

3.3.2.5. Sostenibilidad

Empleando mampostería se pueden disminuir los costos y el impacto al no tener que utilizarse formaleta, se reduce la cantidad de concreto a utilizar en comparación al colado, y los vacíos mejoran el aislamiento térmico y acústico reduciendo los requisitos energéticos de refrigeración.

Algunos de los bloques modulares ofrecidos en el país cuentan con ranuras en todos sus costados para romper la parte superior del bloque y convertirlo en vigabloque. Aunque en este proyecto no se consideran, un profesional que se base en el modelo tipo para realizar su diseño puede contemplar el uso de vigabloque, y realizar los cálculos respectivos para confirmar su validez.

En un proyecto de características similares (VIS de dos niveles), la Fundación Promotora de la Vivienda estimó los beneficios de utilizar el sistema de bloque modular y viga-bloque (Rodríguez, s.f.):

- Ahorro de madera de hasta un 87 %.
- Ahorro en concreto de hasta un 55 % en lo que implicaría el consumo en vigas y columnas en un sistema de mampostería confinada.
- 25 % más rapidez en la construcción de la obra gris si además se usan armaduras prefabricadas y acero a la medida.
- Ahorro de 17 % en mano de obra.
- Reducción en un 70 % del desperdicio de bloques y acero con respecto al sistema convencional.

3.3.3. Muros livianos

El área de los muros alrededor del pasillo (a excepción del muro contiguo al baño), marcados en azul en la Figura 28, se ve significativamente reducida por los buques de las puertas. Las longitudes de muro restante no se ajustan a la modularidad del resto del proyecto y son de longitudes cortas. Por lo tanto, para evitar el corte de bloques, y principalmente por facilidad constructiva, se diseñan muros livianos para estas ubicaciones.



Figura 28. Los muros alrededor del pasillo, y marcados en azul, son muros livianos.

Estos muros se modelan como una familia de muros arquitectónicos llamada "Muros liviano interno-135 mm". La escogencia del tipo de muro liviano queda a libertad del profesional que diseñe el edificio que se base en este prototipo. Se debe tomar en cuenta los requisitos de resistencia al fuego del Reglamento Nacional de Protección Contra Incendios (Cuerpo de Bomberos de Costa Rica, 2020) para lograr una compartimentación entre las habitaciones, de forma que en caso de fuego este se limite a su lugar de origen. También, para que funcionen como barreras corta humo, "deben ser continuas a través de todos los espacios ocultos, tales como los que se encuentran por encima de un cielorraso".

Además, la Directriz 27 (2001) establece algunos requisitos para las paredes internas:

En caso de utilizar algún tipo de cerramiento con estructura o plantilla de madera seca, esta deberá de ser de primera calidad (entendiéndose por esto que no deberá tener reventaduras, picaduras de insectos, ni ninguna de sus partes podridas) e ir debidamente tratada, tanto contra insectos como contra humedad. En todos los casos las paredes internas deberán preferiblemente ir a doble forro, de tal manera que por ambos lados su acabado sea igual.

En el caso de la utilización de alguna tecnología tipo muro seco, es requisito fundamental que la modulación de la plantilla o estructura donde se va a instalar las láminas coincida con sus extremos, ya que no se permitirán remates o finales en falso.
(Artículo 5)

La Guía del Usuario de EDGE (IFC, 2018) destaca que las tablas de fibrocemento son más estables que la madera en cuanto a torceduras y deformaciones, no se pudren, pueden no necesitar pintura ya que tienen un color homogéneo, y pueden cortarse partiendo de las esquinas y los bordes exteriores.

3.3.4. Vigas

El CSCR 2010, Revisión 2014 (CFIA, 2016) establece que las vigas de concreto reforzado que trabajen en conjunto con la mampostería deben tener una resistencia mínima en compresión $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ a los 28 días de edad. También, define que el ancho de estas no debe ser menor que 12 cm y su altura no menor que 20 cm.

3.3.4.1. Vigas corona

El remate cada muro consiste en una viga corona de concreto reforzado colado en sitio. El ancho de las vigas es 13,5 cm, ya que el CSCR 2010, Revisión 2014 (CFIA, 2016) establece

que las vigas de concreto reforzado que se usen como vigas corona en conjunto con la mampostería estructural deben poseer el mismo ancho que los bloques de concreto.

Las vigas corona de la edificación se modelan de 30 cm de altura. Sin embargo, es responsabilidad del profesional que emplee el modelo tipo como referencia, realizar los cálculos para el dimensionamiento y refuerzo de las vigas, y todos los demás elementos estructurales para cada caso específico.

La distribución en planta de las vigas de concreto reforzado (Figura 29) es la misma que la distribución de los muros, pero adicionalmente se agregan las vigas de los ejes E, I y H. La viga sobre el eje E y entre los ejes 2 a 5, y la viga sobre el eje H se adicionan para brindar soporte para el entrepiso en los balcones y formar conjuntos cerrados de vigas.

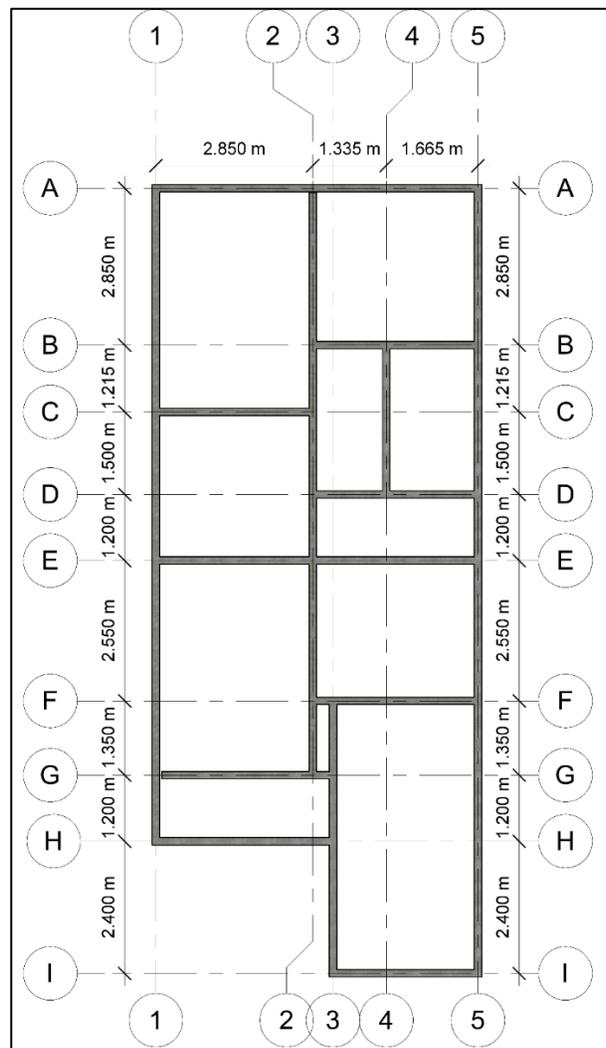


Figura 29. Distribución en planta de las vigas para el segundo nivel.

La viga sobre el eje E entre los ejes 1 y 2 se agrega para reducir la luz del entrepiso a menos de 7,5 m, lo recomendado para el sistema de entrepiso para el que se diseña. Además, las vigas deben continuarse en las secciones donde los muros no son estructurales y en la apertura del pasillo entre los ejes D y C.

La altura de antepecho de las ventanas se elige de tal manera que la viga corona funciona al mismo tiempo como viga cargador, facilitando así la construcción y ajustándose a la modularidad vertical. Al mismo tiempo, colocar las ventanas a dicha altura aporta seguridad a los usuarios al existir una altura de antepecho de 1,2 m para el primer y segundo nivel, y de 1 m para el tercer nivel, como se observa en la Figura 30.

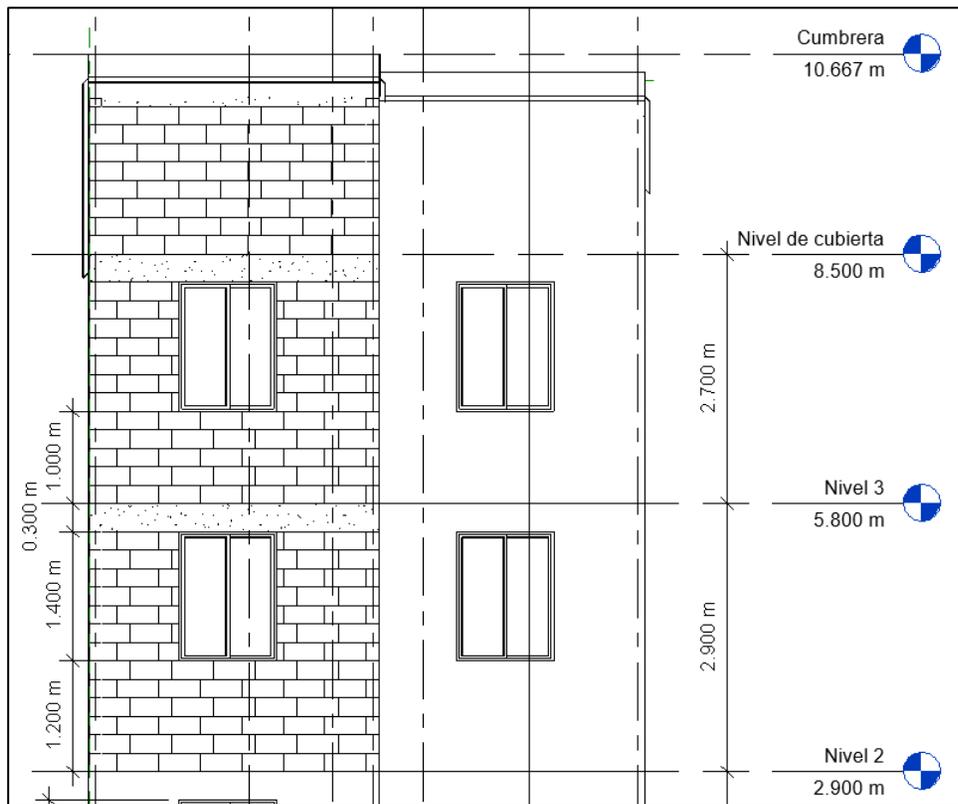


Figura 30. Las vigas corona por encima de ventanas también tienen la función de viga cargador.

3.3.4.2. Vigas banquina.

Aunque el nivel de detalle del proyecto no alcanza su modelado, algunos de los bloques modulares cuentan con cuñas en sus paredes transversales, para convertirlas en vigas-bloque

y ser utilizadas como vigas banquina. En el modelo se supone que se utiliza este tipo, pero no se diferencian del resto.

De acuerdo con el CSCR 2010, Revisión 2014 (CFIA, 2016), si se utiliza viga bloque como viga banquina, el refuerzo horizontal se debe extender como mínimo 50 cm. Además, el corte de estas cuñas se puede utilizar para la colocación del resto de refuerzos horizontales en las paredes de mampostería.

3.3.5. Entrepisos

Los entrepisos consisten en sistemas de viguetas, bloques de concreto y una loseta de concreto colado en sitio. La losa colada de concreto tiene un ancho de 5 cm, o según lo indique la ficha técnica del sistema, y une las viguetas con los bloques formando un conjunto monolítico que garantiza la acción del entrepiso como un diafragma que es ideal para claros de menos de 7,5 m (Productos de Concreto, 2018), por lo que se ajusta a las dimensiones del proyecto. Una vista tridimensional realista del sistema se muestra en la Figura 31.

La losa de concreto colado en los balcones se modela con un espesor mayor al mencionado para igualar el nivel con el nivel de piso terminado de las áreas internas enchapadas.

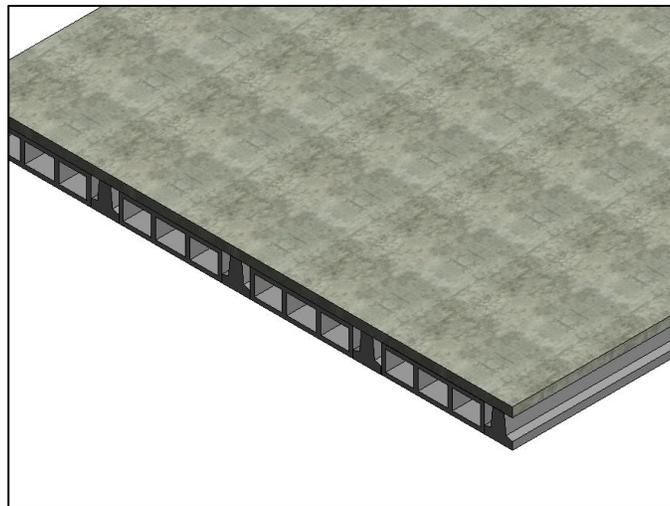


Figura 31. Vista tridimensional del sistema de entrepiso de viguetas y bloques de concreto.

Las viguetas modeladas son prefabricadas, de concreto y pretensadas, sin embargo, en el país también están disponibles sistemas de viguetas livianas sin pretensar. El mercado nacional también ofrece bloques de poliestireno extruido y tienen un amplio uso, pero se eligen los bloques de concreto para tener menores vibraciones, y brindar una mayor protección contra el fuego.

Las viguetas tienen un ancho de 15 cm, por lo que se adaptan a la modularidad del proyecto. Por otro lado, los bloques de concreto utilizados para este tipo de entrepiso tienen una longitud de 54,6 cm que no es un múltiplo de 15. Sin embargo, el sistema requiere empalmes con las vigas de carga, por lo que de cualquier manera se deberán hacer cortes de los bloques. Dichos empalmes no se modelan en este proyecto. Las dimensiones de los elementos del sistema se presentan en la Figura 32.

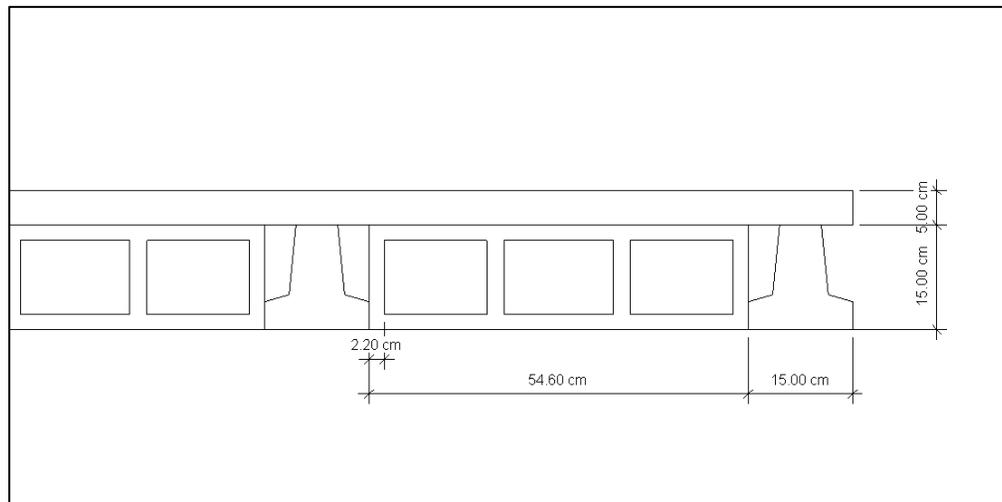


Figura 32. Dimensiones de los elementos del sistema de entrepiso.

El entrepiso se modela como un conjunto monolítico de 20 cm de espesor sin diferenciar los elementos que la componen. No obstante, el modelo también incluye una familia de las viguetas pretensadas y de los bloques de entrepiso. La loseta se puede modelar a partir de la familia del software para concreto monolítico.

Un profesional que utilice el modelo o las familias recién mencionadas, puede modelar un entrepiso de este tipo con mayor detalle. Se puede modular y conocer con mayor exactitud la cantidad y la ubicación de los bloques y viguetas a utilizar. Sin embargo, esto requiere realizar numerosos cortes a los bloques de entrepiso y vigas de carga para llevar a cabo los empalmes si se desea que no se presenten como interferencias.

Un modelo más detallado también permitiría conocer con precisión los lugares por donde pueden pasar las tuberías sin cortar a las viguetas. Una alternativa a dicho modelado es crear un patrón para el entrepiso simplificado y colocar las tuberías con respecto a este.

Si se utilizaran las familias mencionadas para modelar el entrepiso, se debe procurar seguir una distribución de las viguetas en forma de tablero de ajedrez, es decir, sistemas adyacentes tienen diferentes direcciones de las viguetas para una mayor distribución de las fuerzas.

El flujo de cargas es el siguiente. La loseta de concreto transmite las cargas a las viguetas y a los bloques. Como los bloques están apoyados sobre las viguetas, transmiten las cargas a estas. Luego, las viguetas transmiten las cargas a las vigas de carga sobre las que están soportadas. En algunos casos, los bloques pueden estar apoyados directamente sobre las vigas de carga en los extremos del entrepiso.

El Manual Técnico de Productos de Concreto (PC, 2018) describe algunas de las ventajas con las que cuenta el sistema: el menor peso con respecto a otros sistemas reduce la carga sobre los muros y las fundaciones, no requiere equipo pesado para la instalación, es resistente al fuego, aísla vapores gracias a los vacíos de los bloques de concreto, minimiza o reduce por completo el uso de formaleta y obra falsa, y reduce el volumen de concreto.

Además, una losa aligerada de esta manera usa menos concreto y acero, y es más rentable en comparación a una losa monolítica de concreto reforzado (IFC, 2018).

El profesional puede optar por otros tipos de entrepiso según su criterio y necesidades.

3.3.6. Tapicheles y precintas

Los tapicheles consisten en bloques de concreto modular rematados por una viga tapichel de concreto reforzado en los extremos laterales del edificio. Dicha viga tiene el mismo espesor que los bloques (13,5 cm) y una altura de 20 cm.

De acuerdo con la Directriz 27 (2001), los tapicheles pueden ser de concreto, de fibrocemento u otros materiales con espesores no menores a las que establezcan los fabricantes para su uso en exteriores.

Los materiales utilizados para precintas deben estar apropiadamente impermeabilizados. En el modelo VUIS 3x1 se diseñan de lámina de fibrocemento para exteriores con forro únicamente del lado exterior.

3.3.7. Estructuración básica

3.3.7.1. Regularidad en altura

De acuerdo con el CSCR 2010, Revisión 2014 (CFIA, 2016), la estructura se puede considerar como regular en altura ya que cumple con los siguientes requisitos:

- a) Todos los elementos verticales de los sistemas sismorresistentes son continuos desde la cimentación hasta el nivel superior en cada uno de estos elementos, sin discontinuidades o desfases horizontales en ningún nivel.
- b) Los diafragmas de todos los niveles, salvo el nivel de techo, que podría no serlo, son diafragmas rígidos.
- c) La capacidad en cortante de cada piso en ambas direcciones horizontales no es menor que la capacidad en cortante del piso superior inmediato. (p. 4/6)

Estos requisitos se cumplen ya que la estructuración y el material de los elementos sismorresistentes verticales es la misma para todos los niveles. Además, la continuidad facilita el flujo de las fuerzas gravitacionales hacia las cimentaciones y reduce las amplificaciones de

las vibraciones (Poveda, 2018). En la Figura 33 y en la Figura 34 se muestran secciones de edificación donde se puede notar la regularidad en altura para el eje más corto y el eje más largo respectivamente.

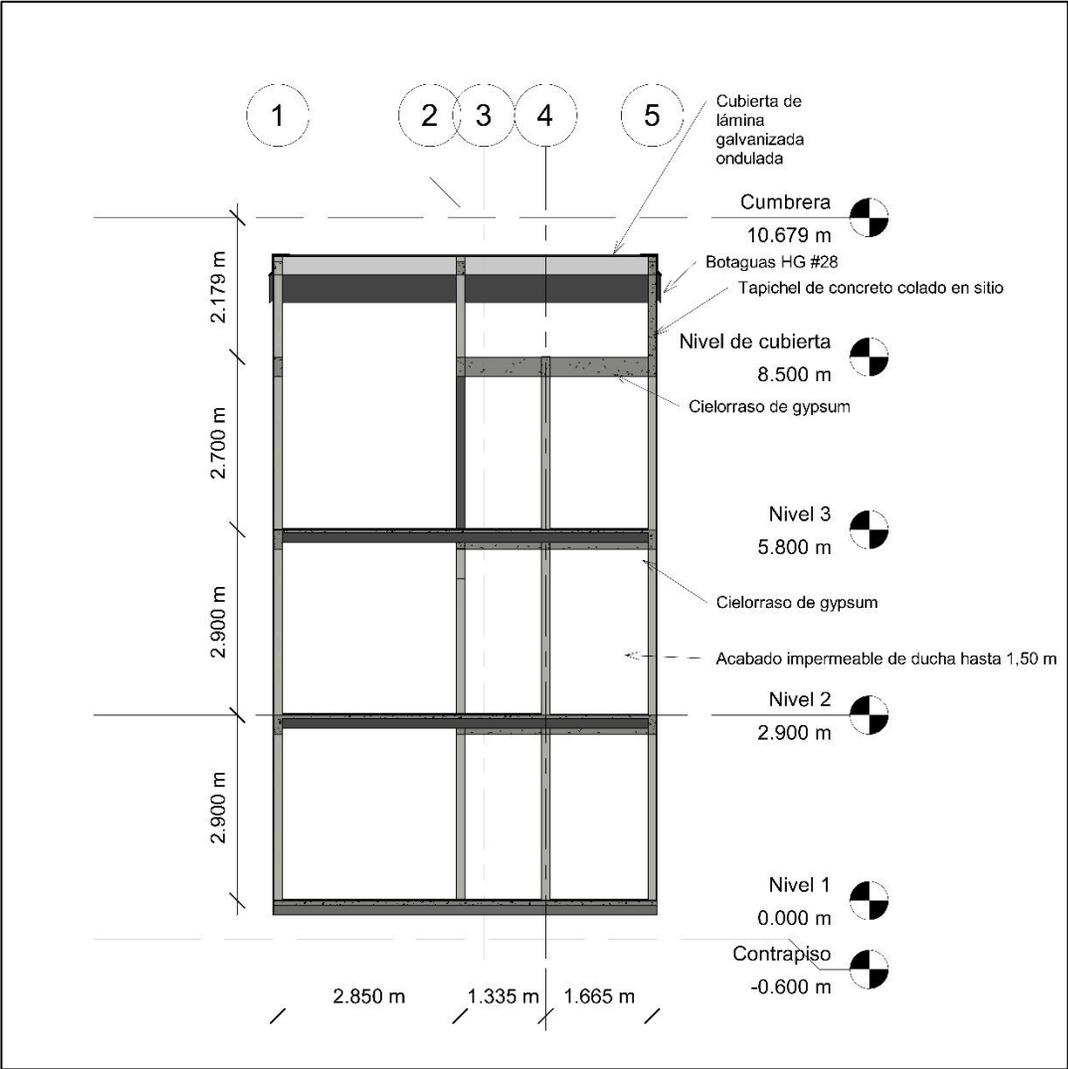


Figura 33. Sección vertical mostrando la regularidad en altura en el eje más corto.

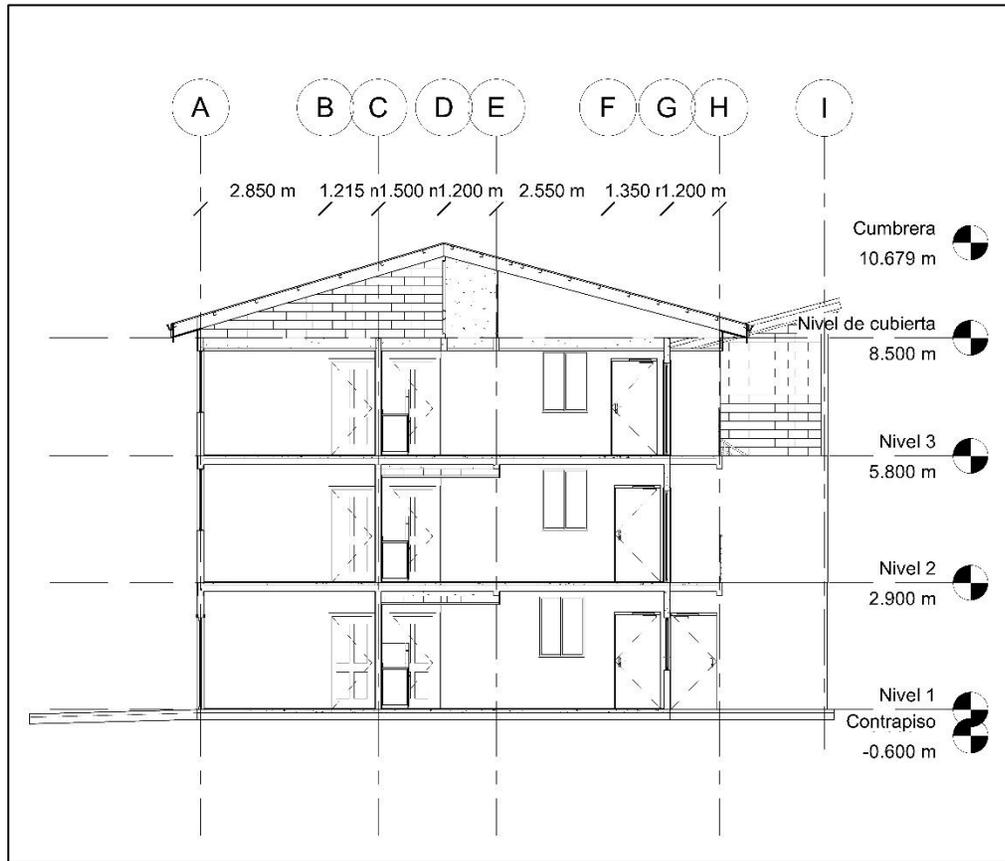


Figura 34. Sección vertical mostrando la regularidad en altura en el eje más largo.

3.3.7.2. Regularidad en planta

En el Cuadro 13 y en la Figura 35 se muestran las coordenadas para el centro de masa y centro de rigidez obtenidas a partir del modelo y del software Robot Structural Analysis. A partir de estos datos se calcula la excentricidad para el eje horizontal x y el vertical y. Debido a que todos los niveles cuentan con la misma distribución en planta, se realiza este análisis únicamente para el primer nivel. Se debe destacar que el origen de coordenadas es con respecto al modelo y no la estructura.

Cuadro 13. Centro de masa, centro de rigidez y excentricidad para el primer nivel de la estructura

Eje	Coordenadas Centro de Masa G (m)	Coordenadas del Centro de Rigidez R (m)	Excentricidad e (m)	D (m)	e/D
X	3,28	3,78	0,5	6	0,08
Y	8,28	10,01	1,73	14,4	0,12

Donde D es la dimensión en planta de la estructura.



Figura 35. Ubicación y coordenadas del centro de masa y de rigidez para el primer nivel.

De acuerdo con el CSCR 2010, Revisión 2014 (CFIA, 2016) la estructura no se puede considerar regular en planta debido a que la división entre la excentricidad y la dimensión en planta de la estructura es mayor a 0,05. El diseño sí cumple con los otros dos requisitos del código ya que ofrece resistencia en al menos dos ejes diferentes en cada dirección ortogonal y, debido a que

todos los niveles cuentan con la misma distribución en planta, la proyección de sus centros de masa está circunscrita en un rectángulo de dimensiones iguales al 10 % de las dimensiones máximas del edificio en cada dirección ortogonal (CFIA, 2016).

El edificio se considera de irregularidad moderada ya que la relación e/D no excede el valor de 0,25, cuando se consideraría de irregularidad grave.

3.4. Desarrollo y análisis del Modelo Mecánico

Los sistemas mecánicos se modelan en un proyecto de Revit por separado del arquitectónico y estructural (ARQ-STR) para luego reunirlos en un modelo federado. El modelo ARQ-STR se inserta en el mecánico como un enlace de Revit para colocar los elementos de los sistemas mecánicos con respecto a los elementos estructurales y de arquitectura.

El modelo mecánico cuenta con cuatro sistemas de tuberías:

- Evacuación de aguas residuales.
- Evacuación de aguas pluviales.
- Suministro de agua potable.
- Ventilación.

Todos los sistemas son independientes entre sí, no deben existir conexiones cruzadas que puedan contaminar el agua pluvial o potable. La única excepción es la conexión entre el sistema de evacuación de aguas residuales y el sistema de ventilación, que permite la liberación de gases y controlar la presión en el sistema sanitario.

En cuanto a la evacuación de los sistemas salientes, el Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones (CIHSE) (CFIA, 2017) determina que toda edificación ubicada dentro de un área servida por un alcantarillado sanitario en condiciones de prestar servicio deberá descargar sus aguas residuales en dicho alcantarillado. Como se supone que la VUIS de este proyecto se ubica en una de estas áreas, no se diseña un sistema individual de tratamiento de aguas residuales. Además, el sistema de ventilación deberá diseñarse de forma que se liberen los gases al entorno.

Los sistemas se identifican según el código de colores que se muestra en el Cuadro 14.

Cuadro 14. Código de colores de los sistemas de tuberías.

Sistema	Color RGB
Evacuación de aguas residuales	000-255-000
Evacuación de aguas pluviales	128-000-255
Suministro de agua potable	000-000-255
Ventilación	255-191-000

De acuerdo con el CIHSE (CFIA, 2017), toda residencia unifamiliar estará dotada de al menos un cuarto de baño con inodoro, lavatorio y ducha. La cocina dispondrá de un fregadero y, en sitio aparte, se proveerá una batea o pila para lavar ropa.

3.4.1. Especificaciones de las piezas sanitarias

Según el CIHSE (CFIA, 2017), las piezas sanitarias deberán estar construidas de materiales duros, resistentes e impermeables, tales como porcelana, losa vitrificada, acero inoxidable, o cualquier otro con características similares a los mencionados. Todas las aristas interiores y exteriores deben ser redondeadas. También, establece que para impedir conexiones cruzadas el espacio libre entre la boca del grifo de alimentación y el nivel de rebose en las piezas sanitarias deberá estar de acuerdo con el Cuadro 15. Los aparatos sanitarios se modelan para cumplir con estos requisitos,

Cuadro 15. Espacio libre mínimo para impedir una conexión cruzada.

Pieza	Espacio libre (mm)
Lavatorio	25
Pila	35

Pieza	Espacio libre (mm)
Tina	50
Fregadero	35

Fuente: CFIA, 2017

Aunque para el modelo VUIS de este proyecto se supone que el agua caliente de las duchas es proporcionada por una termoducha, las piezas sanitarias cuentan con las previstas para agua caliente. Si se modelan el sistema de agua caliente o previstas, se debe tomar en cuenta que el suministro de agua fría se debe entregar por la derecha y la caliente por la izquierda, mirando la pieza de frente, y, si la llave de regulación es única, se aplicará estos sentidos de giro (CFIA, 2017). Esto se toma en cuenta en el modelo, aunque no existan tuberías de agua caliente, en los aparatos, el agua fría se entrega por la derecha.

Todas las piezas sanitarias del baño se instalan de acuerdo con el espaciamiento mínimo que se muestra en la Figura 36 . En la Figura 37 se muestra el espaciamiento entre las piezas del modelo y se nota que están en cumplimiento con el código.

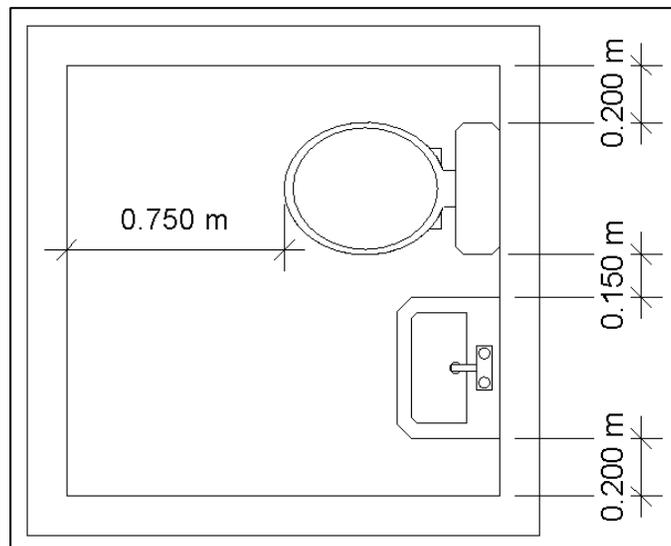


Figura 36. Espaciamiento mínimo entre piezas sanitarias.
Fuente: CFIA, 2017. Modificado por Corrales 2021

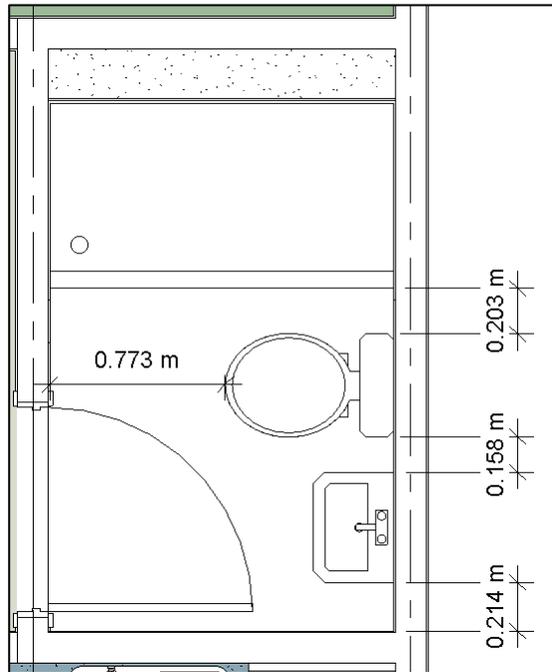


Figura 37. Espaciamiento entre las piezas sanitarias del modelo

Por último, para accesorios como: toalleras, papeleras, pañeras y agarraderas, la Ley de Igualdad de Oportunidades para Personas con Discapacidad, N°7600 (1998), define una altura máxima de 0,90 m. Los espejos se instalarán a una altura máxima de su borde inferior de 0,80 m. En la Figura 38 se muestra una vista renderizada del cuarto de baño.



Figura 38. Vista tridimensional renderizada del servicio sanitario.

3.4.1.1. Inodoro

El CIHSE (CFIA, 2017) define los siguientes requisitos para los inodoros:

Los asientos y las tapas de los inodoros serán de material impermeable, liso y de fácil limpieza. La distancia entre el centro del codo sanitario y el nivel del piso terminado deberá estar en el rango de veinticinco a sesenta centímetros (0,25 - 0,60 m). Se debe dejar un espacio de al menos un centímetro (0,01 m) entre el tanque del inodoro y la pared. (artículo 5.2.2-3.)

Para el modelo tipo de VUIS no se modela una nueva familia de inodoros, en su lugar se utiliza una de las familias disponibles en el software REVIT. El profesional que use como base este modelo tipo, puede buscar en las bibliotecas de objetos BIM una familia existente de inodoros en caso de desear llegar a un mayor nivel de detalle. Con respecto a la familia de Revit, únicamente se modificó el material del inodoro y el lavatorio a "Blanco-Elemento de Ducha", un material también de la biblioteca de Revit.

La guía EDGE (IFC,2018) sugiere dos opciones para reducir la cantidad de agua que requieren los inodoros. La primera opción son los inodoros de doble descarga, en los cuales se cuenta con dos opciones de volumen de descarga, una menor que se recomienda para los desechos líquidos, y una mayor cuando se necesite una descarga de sólidos. La otra alternativa son los inodoros de descarga simple con uso eficiente del agua o con una válvula de descarga.

En el modelo no se especifica que el inodoro sea de alguno de estos dos tipos, sin embargo, se impulsa a utilizar alguna de estas opciones para reducir el consumo de agua en la edificación y así también beneficiar económicamente a las familias que lo ocupen. En caso de que se opte por los sanitarios de doble descarga se recomienda educar a los ocupantes sobre su funcionamiento, ya que el desconocimiento puede llevar a un mayor consumo.

La guía EDGE (IFC,2018) indica que, por lo general, el volumen de descarga de un inodoro común es de 8 litros. Por otro lado, para un inodoro de doble descarga es un volumen de descarga de 6 litros en la descarga principal y de 3 litros en la reducida.

3.4.1.2. Fregaderos y lavamanos

La Ley 7600 (1998) requiere lo siguiente en lo que respecta a los fregaderos:

Los lavaderos deben permitir al usuario trabajar en posición sentada, permitiendo un alcance cómodo y proporcionar un espacio inferior libre de 0.68 mts. [*sic*] mínimo para rodillas y piernas.

El fregadero debe poseer una altura máxima de 0.85 mts. [*sic*], los controles deberán estar ubicados a una distancia no mayor de 0.60 mts. [*sic*] del borde del mostrador y ser tipo palanca. El fregadero deberá tener una profundidad no mayor de 12.5 cms. [*sic*] y proporcionar un área lisa de mostrador como apoyo y soporte para brazos de 7.5 cms. [*sic*] al frente. (Artículo 111)

Por su lado, la Ley 7600 (1998), requiere para los lavatorios una altura máxima de 0,85 m y que la tubería para suministro o salida de agua expuesta esté aislada para prevenir quemaduras o raspaduras.

La guía EDGE (IFC,2018), recomienda el uso de aireadores o reguladores de flujo. De acuerdo con la guía, para un grifo común el flujo típico es de 6 litros por minuto. Para grifos equipados con aireadores, el flujo se reduce a 2 litros por minuto.

Al igual que con los inodoros, no se modela una familia de lavamanos o fregaderos, sino que se utiliza una de las familias disponibles en Revit que cumpla con los requisitos de la reglamentación nacional. De igual forma, no se modela, pero se estimula el uso de aireadores para el ahorro en el consumo del agua.

3.4.1.3. Ducha

La Ley 7600 (1998), define un ancho de 1,5 m y una profundidad de 1,75 m como las dimensiones mínimas para los cubículos de duchas.

Además, el CIHSE especifica los siguientes requisitos para los espacios destinados para duchas:

- a. Se ubicarán en forma tal que el agua caiga sobre un área libre.
- b. El piso deberá ser de material impermeable y antideslizante en seco y en mojado, con una pendiente mínima del dos por ciento (2%) y una máxima del cuatro por ciento (4%) hacia el desagüe. Se podrá colocar un pequeño muro o grada que impida el escurrimiento de agua a otras partes del baño. El dique o grada no será menor a cinco centímetros (0,05 m) y no mayor a veintitrés centímetros (0,23 m). En el caso de que no se utilice un muro o grada con el objetivo de facilitar la accesibilidad, el piso o el plato de la ducha deberá estar a ras con el piso circundante del cuarto de baño y la pendiente de los planos inclinados que se formen para facilitar el desagüe será del 2%.
- c. El desagüe estará dotado de un sifón y provisto de una rejilla removible de material inoxidable. Los orificios de la rejilla deberán ser tales que permitan evacuar rápidamente el caudal de servicio de cada ducha, sin acumular agua.
- e. Todas las aristas en el piso y esquinas de muros serán redondeadas.
- f. Los muros irán acabados con material impermeable hasta una altura mínima de un metro y medio (1,5 m). (Artículo 5.2.4-1)

Se modela una familia de un estilo de ducha de uso común en el país, que consiste en la continuación de la cerámica del piso del baño y una grada cubierta por la misma cerámica. En este caso se elige una altura de la grada de 15 cm, sin embargo, de acuerdo con el CIHSE, dicha altura podrá ser entre 5 cm y 23 cm. El ancho de la grada se selecciona de 7,5 cm de forma que se pueda colocar una hilera de piezas de cerámica cortándolas solamente a la mitad. En la Figura 39 se muestra la vista tridimensional de la ducha.

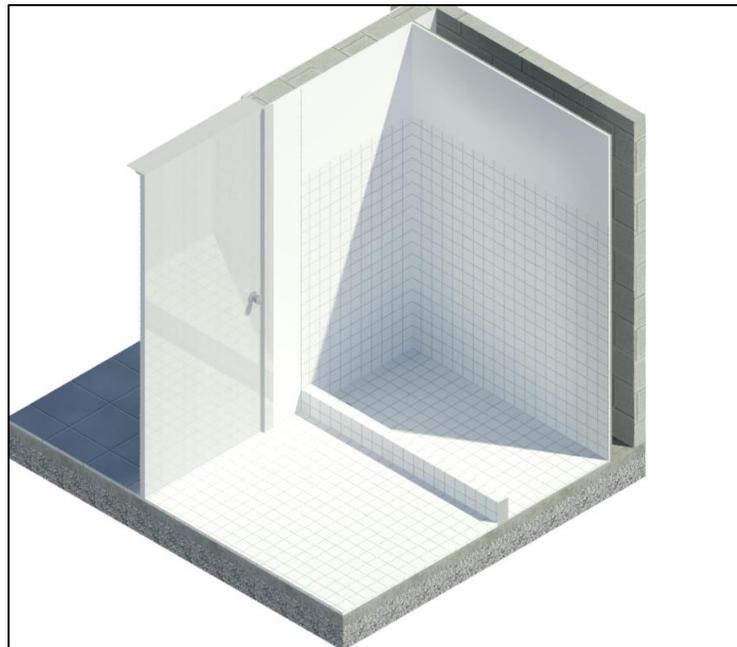


Figura 39. Vista tridimensional de la ducha.

La familia cuenta con 4 conexiones a tubería, tres de entrada de agua potable y una de salida sanitaria. Dos de las entradas son de agua fría potable, una para el tubo de pie y otra para la ducha. La otra conexión de entrada es una prevista de agua caliente que no se conecta al sistema ya que se supone que la ducha cuenta con una termoducha y no existe un sistema de agua caliente. También, cuenta con un desagüe en el extremo opuesto a las salidas de las tuberías que se conecta al sistema sanitario.

La familia se puede encontrar con el nombre "Ducha" dentro del modelo o como archivo entre los adjuntos al modelo. El acabado de los muros se modela por separado de la ducha, y consiste

en un mínimo de 1,5 m de material impermeable, en este caso los azulejos, y pintura a partir de dicha altura.

Del mismo modo que los lavamanos, la guía EDGE (IFC,2018) recomienda el uso de aireadores en las duchas para crear en el usuario una sensación de mayor presión utilizando menos cantidad de agua.

3.4.1.4. Pila

Se modela una familia de pila de 70 cm de longitud y 50 cm de ancho. Dichas dimensiones son acordes a opciones de pilas de dos bateas disponibles en el mercado nacional. Todas las aristas exteriores e interiores son redondeadas.

Se utiliza como material la porcelana, sin embargo, el diseñador puede elegir otros mientras la cubierta sea un material impermeable vitrificado, duro y resistente, como la porcelana, losa vitrificada, acero inoxidable, o cualquier otro con características similares a los mencionados (CFIA, 2017).

Cuenta con tres conexiones a tuberías, una de entrada de agua potable y dos de salida para cada una de las bateas. El espacio libre entre la boca del grifo de alimentación y el nivel de rebose debe ser como mínimo 35 mm para evitar conexiones cruzadas (CFIA, 2017).

En la Figura 40 se muestra la vista tridimensional de la pila de dos bateas. En la Figura 41 su vista en planta y dimensiones

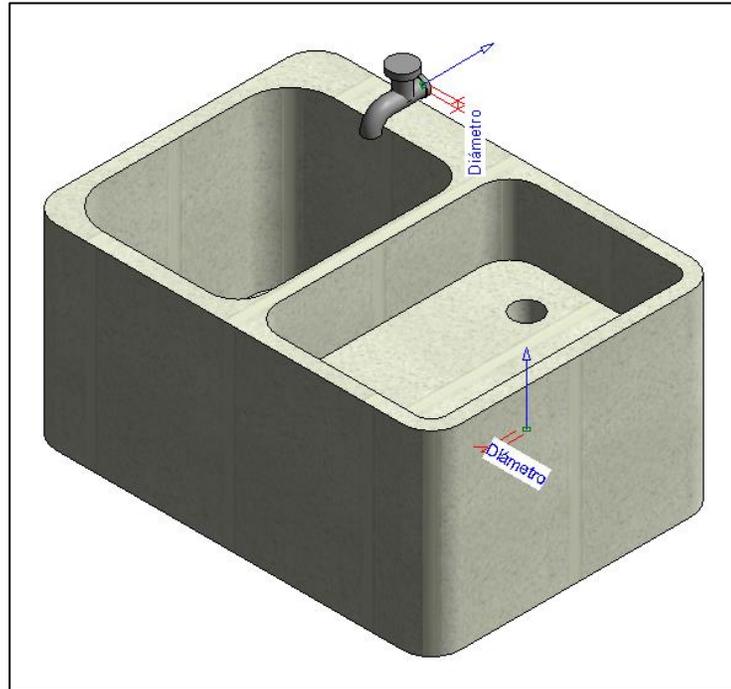


Figura 40. Vista tridimensional de la familia de la pila.

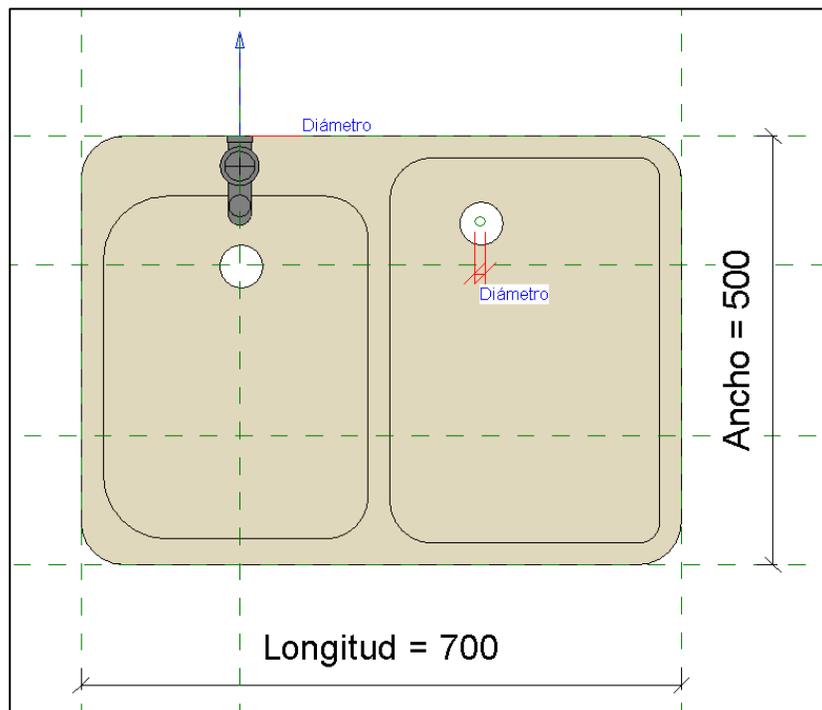


Figura 41. Vista superior de la familia de pila y dimensiones

3.4.1.5. Sumideros

Para una vivienda con las características de la VUIS de este proyecto, el CIHSE no exige la colocación de sumideros, por lo que se uso es opcional. Si el diseñador decide colocarlos, debe cumplir con los siguientes requisitos definidos por el CIHSE:

- a. El sello de agua correspondiente tendrá una altura mínima de siete centímetros y medio (0,075 m).
- b. Estarán provistos de tapas removibles, perforadas o ranuradas. El área libre de la tapa será de por lo menos el 66% del área del tubo de descarga correspondiente. Las dimensiones de la tapa y de su tubo de descarga serán tales que aseguren el buen funcionamiento del aparato. (Artículos 5.2.5-2)

3.4.1.6. Lavadora

Las normativas nacionales analizadas no establecen ningún requisito con respecto a las lavadoras, sin embargo, la guía EDGE (IFC,2018) recomienda el uso de lavadoras de carga frontal ya que solo necesitan un tercio del agua de las lavadoras de carga vertical para cubrir la ropa. Considera que una lavadora hace un uso eficiente del agua cuando su consumo es de 6 litros o menos de agua por kilogramo de ropa lavada. Este hecho no es lo ideal para el diseño del modelo tipo, ya que una lavadora de carga superior es la que mejor se adapta al balcón del segundo y tercer nivel, donde la puerta de una carga frontal podría chocar con la baranda. También, las lavadoras de carga frontal suelen ser de un costo mucho mayor, por lo que no se ajusta al tipo de vivienda.

Según la guía EDGE (IFC, 2018), "otros beneficios de las lavadoras con uso eficiente de agua incluyen ahorros de energía debido a la reducción del uso de agua caliente, un mejor rendimiento en la limpieza de la ropa, un menor desgaste de las telas y, por lo general, un menor uso de detergente".

Nuevamente, se utiliza una de las familias de la biblioteca de Revit, sin las características descritas en esta sección. A pesar de que por lo general la lavadora no depende del

desarrollador, se puede estimular a los usuarios a utilizar lavadoras de uso eficiente del agua. Si el profesional lo desea, puede descargar la familia de bibliotecas BIM en caso de que exista para el modelo buscado.

3.4.2. Características de las tuberías

Las tuberías y los accesorios de todos los sistemas se modelan con PVC como su material, empleando el material de la librería de Revit "Cloruro de Polivinilo Flexible". Sin embargo, el CIHSE permite otros materiales para las tuberías según el sistema al que correspondan.

Con respecto al material, el CIHSE (CFIA, 2017) establece que "deberá ser homogéneo a lo largo de un sistema de tuberías y las piezas de conexión deberán ser preferentemente del mismo material de las tuberías que unan y de características acordes". Además, la sección transversal circular de las tuberías deberá tener dimensiones normalizadas y ser de espesor uniforme.

Al crear o editar una tubería de PVC de cualquiera de los tipos del modelo, los diámetros disponibles en la lista desplegable serán los del Cuadro 16 , y de acuerdo con la norma ASTM D-2241 y para una SDR 17.

Cuadro 16. Diámetros nominal, interno y externo de tuberías de PVC según la norma ASTM2241.

Diámetro Nominal (mm)	Diámetro Interno (mm)	Diámetro externo
12¹	18,2	21,3
18	23,5	26,7
25	29,5	33,4
31	37,2	42,2
38	42,6	48,3
50	53,2	60,3
75	78,4	88,9
100	100,8	114,3

Nota: 1. Para SDR 13.5

Las tuberías y accesorios de PVC deben cumplir con las especificaciones ASTM indicadas por el CIHSE. Según el CFIA (2017), las tuberías de PVC podrán estar expuestas al ambiente, siempre y cuando estén en una zona no expuesta a daño físico y sean protegidas de los rayos ultravioleta. En el caso del modelo, únicamente las tuberías del sistema de agua pluvial están expuestas, pero no al daño físico. Se supone que estas están pintadas con pintura protectora.

Con respecto a la posición de las tuberías en la mampostería, el CSCR 2010, Revisión 2014 (CFIA, 2016) establece lo siguiente:

La separación mínima entre tuberías debe ser de tres diámetros centro a centro para tuberías embebidas en la mampostería. Toda tubería debe contar con un recubrimiento mínimo de un centímetro en todo su perímetro y estar separada la misma distancia de cualquier varilla de refuerzo. Además, la tubería no debe tener un diámetro mayor a un tercio del espesor de la pared. (p.9/3)

Para guiar durante el diseño en la colocación vertical de las tuberías embebidas en la mampostería, se incluye en el modelo el componente de detalle que se muestra en la Figura 42. Este cuenta con las dimensiones del bloque modular empleado en el proyecto y se incluyen las ranuras por las que se puede colocar las tuberías. Este componente de detalles también se puede usar para guiar la colocación del acero de refuerzo.

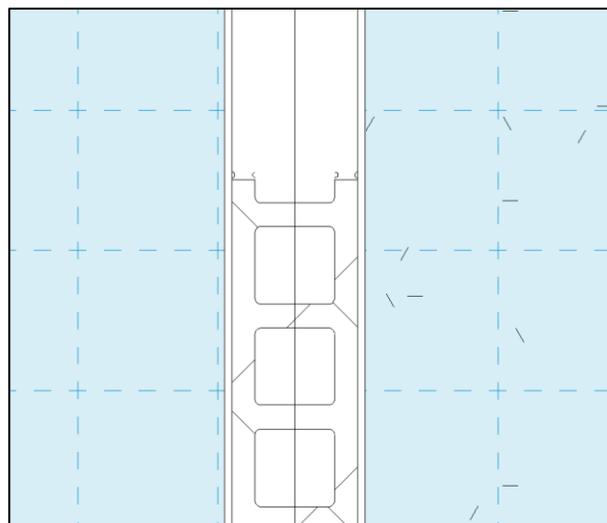


Figura 42. Componente de detalle que imita el patrón superior de un bloque

3.4.3. Sistema de agua fría potable

Se supone que la VIUS se sirve directamente del sistema de abastecimiento de agua público, no cuenta con ningún sistema indirecto.

3.4.3.1. Presiones, diámetros mínimos y unidades de accesorio

La presión de servicio después del medidor deberá ser mayor a diez metros de columna de agua (10 mca) (CFIA, 2017). Por su lado, las presiones mínimas recomendadas para la operación de varios aparatos sanitarios son las que se muestran en el Cuadro 17. Si la presión es más bien superior a los 40 mca en los puntos de alimentación de las piezas sanitarias, el sistema se debe dividir en zonas de presión o colocar válvulas reductoras de presión (CIHSE, 2017).

En el modelo a cada accesorio que cuente con una conexión entrada de agua potable se le asigna las unidades de accesorio de abastecimiento especificados en el CIHSE para uso privado, y que se muestran en el Cuadro 17. En dicho cuadro también se incluye la cantidad de aparatos, que, en el caso del modelo será uno para cada accesorio. Para los niveles superiores no se considera una llave para jardín, por lo que la suma de unidades de accesorio de alimentación es 15.

Debido a que se trata de un modelo prototipo y las circunstancias pueden variar para los casos específicos de proyectos reales, no se realiza un análisis de la presión, de velocidad, caudal u otros. Sin embargo, el software permite llevarlo a cabo a partir de los sistemas modelados y diferentes formas de cálculo de pérdidas de presión. Las velocidades y caudales máximos para tuberías de hierro galvanizado, CPCV y de PVC, especificados por el CIHSE se muestran en el Anexo 2.

Cuadro 17. Diámetro mínimo, presión mínima y unidades de accesorio de alimentación por accesorio para el nivel 1

Accesorio	Diámetro mínimo ^a (mm)	Presión mínima ^b (mca)	Unidades de accesorio (u.a.) Uso Privado	Cantidad	U.A. Total
Ducha	12	2	2	1	2
Fregadero doméstico	12	2	2	1	2
Inodoro con tanque	12	2	3	1	3
Lavatorio	12	2	1	1	1
Llave para jardín	12	10	2	1	2
Lavadora	12	3,5	4	1	4
Pileta de lavar	12	2	2	1	2
Total					16

Fuente: CFIA, 2017.
Modificado por Corrales, 2020

Notas:

(a) Diámetro interno mínimo de tubería de alimentación. En el caso de inodoros y lavatorios, este diámetro es del ramal de alimentación hasta la llave de paso.

(b) Presión mínima a la entrada del accesorio en metros de columna (o cabeza) de agua.

3.4.3.2. Dimensionamiento de las tuberías de distribución

Para 16 unidades de accesorio, el cuadro del CIHSE (CFIA, 2017) del Anexo 3 define un caudal probable de 0,83 L/s para sistemas con inodoros con tanques en vez de fluxómetros. Para este caudal se recomienda una tubería de 31 mm de diámetro para una vivienda (F. Badilla, comunicación personal, 24 de mayo de 2021). Por lo tanto, se modelan los ramales principales de cada nivel y sus respectivas columnas con este diámetro.

Dicho diámetro se mantiene para los dos ramales secundarios, el dirigido hacia la cocina, y el dirigido hacia el baño y zona de limpieza. Dependiendo de los accesorios a los que sirve cada ramal y subsecuentes, se reduce progresivamente los diámetros. El diámetro de la tubería que alimenta a cada accesorio se define según el Cuadro 17 para efectos del modelo tipo.

El total de unidades de accesorio para la edificación es de 44. Para este valor, el cuadro del CIHSE (CFIA, 2017) del Anexo 3 define un caudal probable de aproximadamente 1,63 L/s para sistemas con tanques de lavado. Para este caudal se recomienda una tubería de 50 mm de

diámetro (F. Badilla, comunicación personal, 24 de mayo de 2021). Dicha tubería se extiende desde la conexión con el sistema de abastecimiento público hasta la primera columna de agua potable. En la Figura 43 se muestra el sistema de agua potable del primer nivel.

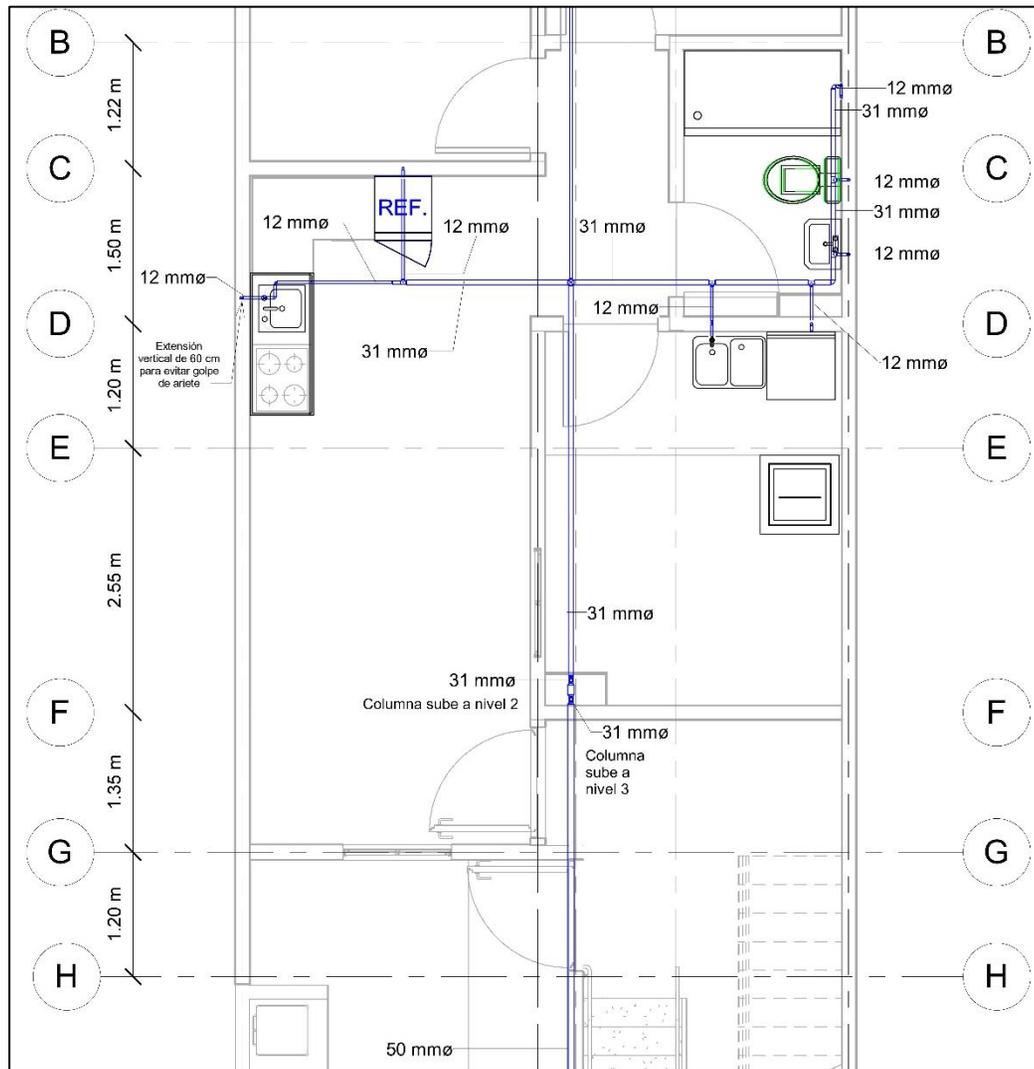


Figura 43. Sistema de agua potable del nivel 1

3.4.3.3. Requisitos constructivos en instalaciones de agua potables

De acuerdo con el CIHSE (CFIA, 2017), en edificios de tres niveles o más, las tuberías de agua fría y caliente se deben colocar en un ducto electromecánico con el tamaño suficiente para la

instalación y mantenimiento de las estas. El ducto para el agua fría del modelo se encuentra en el patio de luz y es inspeccionable desde el descanso. Este se encuentra casi a la mitad del eje F, y como se puede ver en la Figura 43, el espacio permite manipular las tuberías en su interior.

También, para evitar el golpe de ariete, el CIHSE (CFIA, 2017) recomienda la instalación de cámaras de aire para lavatorios, duchas y fregaderos. En el modelo se colocan para todos los accesorios que cuenten con conexión de agua potable a excepción del refrigerador. Estas son extensiones verticales del tubo que alimenta a los accesorios taponeadas en su extremo libre, de 0,60 m de longitud y de diámetro igual a la tubería a la que se conecta. En la Figura 44 se muestran las extensiones para los aparatos del baño y el área de limpieza.

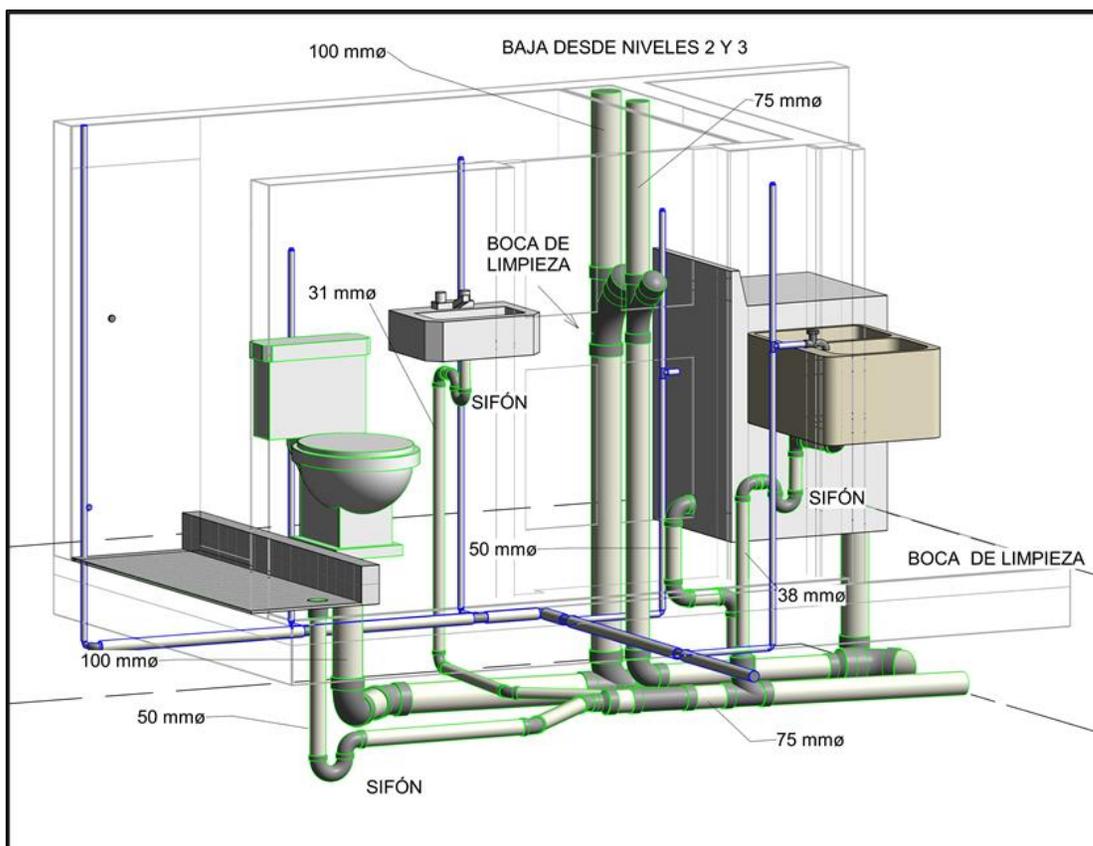


Figura 44. Vista tridimensional del área del baño y de limpieza del primer nivel

Para las tuberías de agua potable enterradas, el CIHSE (CFIA, 2017) define que deben estar separadas una distancia mínima de un metro en planta y 25 cm por encima de los desagües de aguas residuales. Además, deben colocarse a una profundidad de al menos 30 cm con

respecto al nivel del terreno. Se deben ubicar 45 ° por encima de una proyección de la placa de las cimentaciones.

3.4.4. Sistema sanitario

En el sistema sanitario las aguas jabonosas se transportan por separado de las aguas negras. Se mantienen de esa manera hasta que se unen después de que las aguas jabonosas hayan pasado por un proceso de sedimentación para separar la espuma.

3.4.4.1. Dimensionamiento y pendientes

De manera similar al sistema de agua potable, el CIHSE (CFIA, 2017) establece diámetros mínimos y unidades de descarga (u.d.) para los accesorios. En el Cuadro 18 se reúnen dichos datos para los accesorios presentes en el modelo. A los aparatos sanitarios que cuenten con una salida de descarga se les asigna las u.d. y se conectan al sistema sanitario por medio de tuberías del diámetro indicado en dicho cuadro. En la práctica, dicho diámetro dependerá del aparato.

Cuadro 18. Diámetro mínimo de descarga y unidades de descarga para los accesorios.

Accesorio	Diámetro mínimo descarga	Unidades de descarga (u.d.) Uso privado
Ducha	50	2
Fregadero doméstico	38	2
Inodoro con tanque	100	3
Lavatorio	31	1
Llave para jardín	NA	NA
Lavadora	50	2
Pileta de lavar	38 y 12	4 y 2
TOTAL		16

Fuente: CFIA, 2017
Modificado por Corrales, 2021

Notas:

1. Diámetro interior mínimo

2. Se permitirá el uso de tuberías de setenta y cinco milímetros (0,075 m) para inodoros de seis litros (6,0 l) por descarga. También, en edificaciones en donde las dimensiones entre la loza de concreto y el cielo raso sean reducidas.

El total de unidades de descarga por piso es de 13 para los bajantes de aguas jabonosas, por lo que el total para la edificación es de 39.

Para un diseño preliminar, los diámetros de los conductos se seleccionan de acuerdo con los accesorios que sirven y el diámetro de las tuberías de conexión de estos. El diámetro del conducto horizontal nunca será menor al del de una conexión a accesorio que recolecte (CFIA, 2017). Se recomienda que las variaciones de diámetro se hagan de manera gradual y diámetros de tubería consecutivos. Cambios significativos pueden provocar remolinos que podrían generar problemas en el sistema.

El CIHSE (CFIA, 2017) define las cargas máximas permisibles para bajantes en el Cuadro 19. Para un total por piso de 13 u.d., se indica un diámetro de 75 mm, y para un total del bajante de 39 u.d. corresponden 61 mm si no sirven a inodoros. Debido a que el diámetro mínimo para la salida de descarga de un inodoro con tanque es de 100 mm, se decide también utilizar 100 mm para el bajante y los recolectores de las aguas negras.

Cuadro 19. Cargas máximas permisibles para tuberías de desagüe verticales (bajantes).

Diámetro del tubo (mm)	Bajante de menos de tres pisos	Bajante de más de tres pisos	
		Total bajante	Total por piso
		Unidades de descarga	
32 ¹	2	2	1
38 ¹	4	8	2
50 ¹	10	24	6
62 ¹	20	42	9
75	30 ³	60 ³	16 ²
100	240	500	90
125	540	1100	200
150	960	1900	350
200	-	3600	600
250	-	5600	1000

Notas:

1. No se permiten inodoros.
2. No se permiten más de dos inodoros.
3. No se permiten más de seis inodoros.

El modelo cuenta con tres bajantes. El bajante de aguas negras y el que recolecta las aguas jabonosas de los baños y del área de limpieza se encuentran en un ducto dentro del baño y sobre el eje D y a la derecha en la Figura 45. El primero es de 100 mm de diámetro mientras que el segundo es de 75 mm.

El otro bajante recolecta únicamente las aguas residuales del fregadero de la cocina, por lo que su diámetro se selecciona de 38 mm para el nivel superior y de 50 mm para los inferiores. Está embebido en la mampostería sobre el eje D y a la izquierda en la Figura 45.

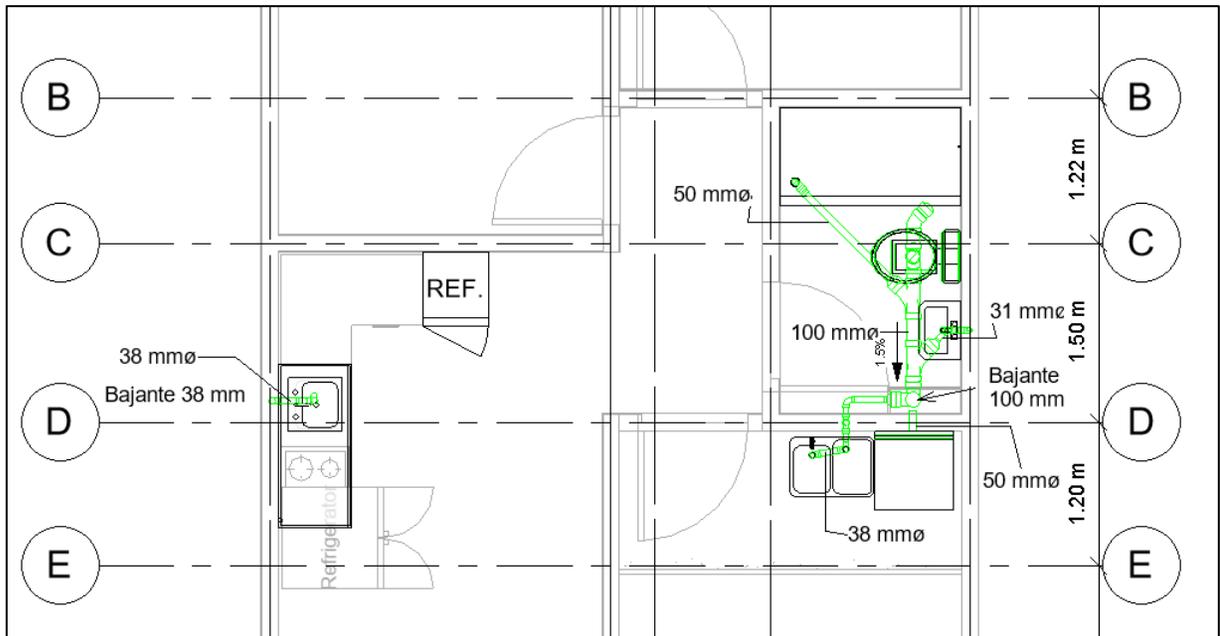


Figura 45. Planta del sistema de aguas residuales del segundo nivel.

En el Anexo 4 se muestran las cargas máximas permisibles para tuberías de desagüe horizontales, y como una tubería de 100 mm cumple con amplitud para una carga de 48 u.d.

Las tuberías de desagüe horizontales requieren de una pendiente en la dirección de la salida para facilitar el transporte de sólidos. El alineamiento debe ser recto, y la pendiente debe ser uniforme a lo largo de cada uno de los tramos de conductos, colectores primarios y secundarios (CFIA, 2017). Para el modelo tipo, se asignan las pendientes mínimas según su diámetro

especificadas por el CIHSE. Para tuberías de 100 mm corresponde una pendiente mínima de 1,5 %, y para tuberías de 75 y 50 mm, una de 2 %.

3.4.4.2. Requisitos constructivos

Los colectores de desagüe situados bajo tierra deben cumplir con las distancias del Cuadro 20. Debido a que el bajante que recolecta los baños y las áreas de limpieza se encuentra muy cerca del lindero de propiedad, se puede desviar el colector hacia el centro del terreno dependiendo también de la ubicación de la alimentación de agua pública y acometida.

Cuadro 20. Distancias por guardar por los colectores de aguas residuales

Distancia horizontal mínima requerida desde el colector de aguas residuales	
Lindero de propiedad o muros medianeros	1 m
Pozos de agua	15 m
Alimentación de agua pública	3 m
Acometida residencial	0,3 m

Fuente: CFIA, 2017

También, de acuerdo con el CIHSE (CFIA, 2017), “los empalmes entre colectores, bajantes y los conductos de desagüe, se harán a un ángulo no mayor a cuarenta y cinco grados (45°), salvo que se hagan en una caja de registro”.

En el modelo los cambios de dirección horizontales se hacen por medio de uniones en Y de 45 ° y codos de 45 ° disponibles en el software. Sin embargo, el CIHSE (CFIA, 2017) también permite hacer las uniones con codos de curva abierta de 60 ° y 22,5 °, o combinaciones de estos. Por otro lado, los cambios de dirección de flujo vertical a horizontal se hacen con codos de 90 ° y uniones en Y de 45 °. El código también permite T sanitarias dobles o sencillas para este tipo de uniones.

3.4.4.3. Sifones

De acuerdo con el CIHSE (CFIA, 2017), para evitar la entrada de malos olores desde las tuberías del sistema sanitario al interior del edificio, cada pieza sanitaria se debe dotar de un sifón o trampa cuyo sello de agua tendrá una altura no inferior a cinco centímetros (0,05 m) ni mayor a diez centímetros (0,10 m). También, los sifones se deben colocar a no más de 0,60 m de la conexión de salida del aparato sanitario correspondiente y lo más cercano posible a estas.

En caso de incluir sumideros en el diseño, estos deben contar con un sifón de agua (CFIA, 2017).

Los sifones suelen ser piezas cuyo modelado se puede complicar en Revit. Para facilitar esto, se creó una familia de tuberías denominada "Tubería sanitaria-sifones", con exactamente las mismas características de la familia de tubería sanitaria. La única excepción es que la familia está configurada de tal forma que cuando se genera una conexión esta es un sifón, por lo que se puede utilizar para las secciones para las que se conoce que se necesita un sifón.

3.4.4.4. Bocas de limpieza

Para realizar el mantenimiento o la limpieza del sistema sanitario se deben colocar bocas de limpieza en los sitios que se detallan a continuación (CFIA, 2017):

- a. Cuando no haya cajas de registro, al comienzo de cada ramal horizontal de desagüe de una batería de piezas sanitarias, o en tramos horizontales en los que han descargado otros ramales.
- b. En los conductos horizontales de desagüe, cada diez metros (10 m).
- c. Al pie de cada bajante, salvo cuando descargue en un colector recto con una caja de registro que se encuentre a no más de cinco metros (5 m) del pie del bajante.
- d. En la parte inferior de los sifones de las piezas sanitarias de acuerdo con lo establecido en el artículo 7.5.6.

e. En los conductos horizontales de desagüe, cada dos cambios de dirección (cada 180°).

f. En bajantes, al menos cada dos pisos.

g. Excepción: La boca de limpieza se puede omitir en drenajes horizontales de menos de ciento cincuenta centímetros (1,5 m) de largo, a menos que esta línea este sirviendo a un fregadero o un mingitorio. (Artículo 7.6.1-2)

En el modelo se coloca una boca de limpieza al pie del bajante de las cocinas y al inicio del ramal horizontal que lo conecta con el colector principal. Estas bocas de limpieza que están enterradas se deben extender hasta ras de piso acabado con conexiones de 45 ° o alojadas en registros de piso mientras se encuentra a una distancia no menor a 6 m de una puerta de acceso (CIHSE, 2017).

No se coloca una boca de limpieza al pie del bajante de los baños y áreas de limpieza debido a la congestión de tuberías en este sitio, y a que se coloca una caja de registro a menos de 5 m del bajante, en el patio de luz. También se coloca una boca de limpieza a la mitad del bajante entre un nivel y otro.

En el caso del modelo tipo, el material de las bocas de limpieza es PVC para mantener la uniformidad con el resto del sistema. Según el CIHSE (CFIA, 2017), deben estar provistas por un tapón roscado en su extremo abierto del mismo material elegido para la boca de limpieza. Asimismo, para conductos de menos de cien milímetros, las bocas de limpieza deben ser del mismo diámetro que la tubería.

Por último, de acuerdo con el CIHSE (CFIA, 2017), las bocas de limpieza se deben instalar en dirección contraria al flujo y en un ángulo de 45 ° con respecto a la tubería de desagüe. Además, se deben ubicar a una distancia mayor de 45 cm con respecto a cualquier elemento que pueda obstaculizar su limpieza para tuberías de 100 mm o más de diámetro, y de 30 cm para tuberías de menos de 75 mm de diámetro.

3.4.4.5. Cajas de registro

Otro elemento que se incorpora para el mantenimiento del sistema de aguas residuales son las cajas de registro. Según el CIHSE (CFIA, 2017), estas no se pueden ubicar en habitaciones u otros lugares cerrados. También, deberán construirse con materiales impermeables, concreto o mampostería y con una tapa de un material permitido. Las cajas de registro del modelo son de concreto con tapas del mismo material. Su interior no se detalla, se modelan como un aparato sanitario, y cuentan con conexiones sanitarias.

Para las conexiones de un solo ramal, el ancho mínimo está dado por el diámetro de la tubería mayor más 30 cm. Como en el modelo las tuberías que pasan por las cajas de registro son de 100 mm de diámetro, se requiere una caja de 40 cm de ancho. Según el cuadro del Anexo 5, a dicho ancho corresponde una longitud de 50 cm y una profundidad máxima de 60 cm.

3.4.4.6. Trampas de grasa

Se analizaron dos opciones para las trampas de grasa. La primera consiste en una trampa de grasa única para la edificación, esta se ubicaría probablemente en el jardín del frente y sería inspeccionable desde ahí. Sin embargo, esta opción podría generar conflictos de mantenimiento entre los habitantes del edificio.

La segunda opción, y la elegida para el modelo, se trata de una trampa de grasa individual que se ubicaría dentro del mueble del fregadero, por lo que cada familia tendría la responsabilidad de mantener la suya. La desventaja es que su precio es considerablemente mayor a las otras opciones.

3.4.5. Sistema de ventilación

Los requisitos de los materiales de las tuberías y accesorios para el sistema de ventilación son los mismos que para el sistema de aguas residuales. También, el diámetro de la tubería de ventilación nunca debe ser inferior a la del bajante (CFIA, 2017).

Las características particulares del modelo tipo permiten que se puede optar por la opción del CIHSE de ventilación por bajante, que simplifica el diseño y ahorra materiales, especialmente con respecto a una ventilación individual para cada aparato sanitario.

En el diseño del sistema sanitario del modelo, las longitudes, pendientes y cantidad de codos de los ramales cumplen con los máximos definidos en el cuadro del Anexo 6 del CIHSE (CFIA, 2017). La longitud nunca es mayor a 2,3 m (que corresponde al caso de la ducha), y no existen codos en el ramal. Los codos desde los sifones hasta el bajante nunca superan los dos en cantidad.

La pila y la lavadora descargan directamente en el bajante, pero lo hacen por encima del ramal del inodoro. En el caso de que estuvieran más bien por debajo, deben estar a una distancia de al menos 20 cm (CFIA, 2017).

Otro requisito que establece el CIHSE (CFIA, 2017) para emplear ventilación por bajante es que "las piezas sanitarias deberán tener trampas con sello de agua de setenta y cinco milímetros (0,075 m) a excepción del inodoro cuyo sello podrá ser de cincuenta milímetros (0,05 m)".

Las terminales de ventilación se extienden a través de los techos y se protege de la lluvia haciendo que su extremo abierto esté contrario al cielo, en este caso se utilizan dos codos de 90 para crear la curva, como se muestra en la Figura 46 . La extensión debe ser de al menos 15 cm por encima del techo, a una distancia de al menos 30 cm de cualquier superficie vertical y a 90 cm de por encima de cualquier ventana, puerta o cualquier entrada de aire del edificio (CFIA, 2017).

Una de las desventajas de este sistema es que si se hace una descarga desde los niveles superiores, se bloqueará temporalmente la salida de aire desde los niveles inferiores.

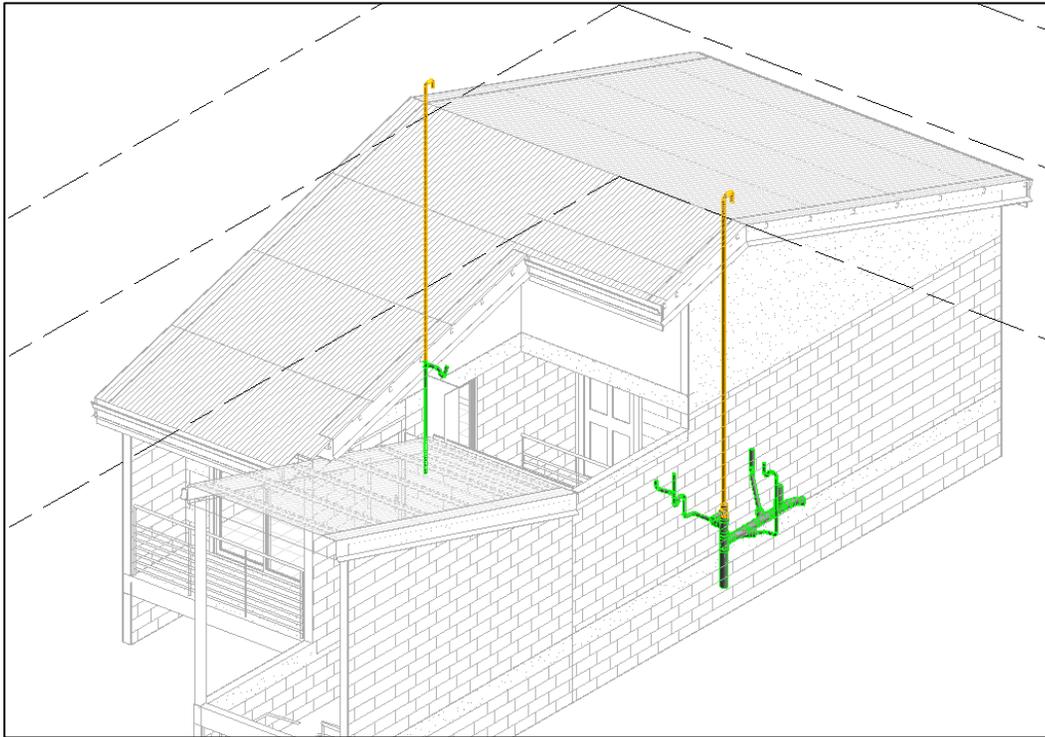


Figura 46. Vista tridimensional de sistema de ventilación del edificio (en naranja)

3.4.6. Sistema pluvial y canoas

Todos los conductos para aguas de lluvia son exteriores por debajo de los aleros, a excepción de un tramo entre la cubierta y el cielo del tercer nivel, que transporta el agua desde la canoa posterior hacia el bajante en el patio de luz. Al igual que el resto de los sistemas, las tuberías del pluvial se modelan de PVC. Para tuberías externas, el CIHSE (CFIA, 2017), permite tuberías de PVC si se protegen contra la luz solar con pintura. Dicho código también permite el uso de otros materiales resistentes a la corrosión.

Como regla práctica, el CIHSE (CFIA, 2017), sugiere que se puede utilizar un centímetro cuadrado de área transversal de bajante por cada metro cuadrado de área de techo. Siguiendo esto, los diámetros de los bajantes para cada sección de techo se definen como se muestra en el Cuadro 21. La división de las secciones se muestra en la Figura 47.

Cuadro 21. Diámetro de los bajantes pluviales de acuerdo con el área de la sección de la cubierta.

ID (Figura 47)	Área (m ²)	Diámetro según regla práctica (mm)	Diámetro seleccionado (mm)
1	39,07	70,53	75,00
2	4,66	24,36	31,00
3	26,04	57,58	75,00
4	14,55	43,04	50,00

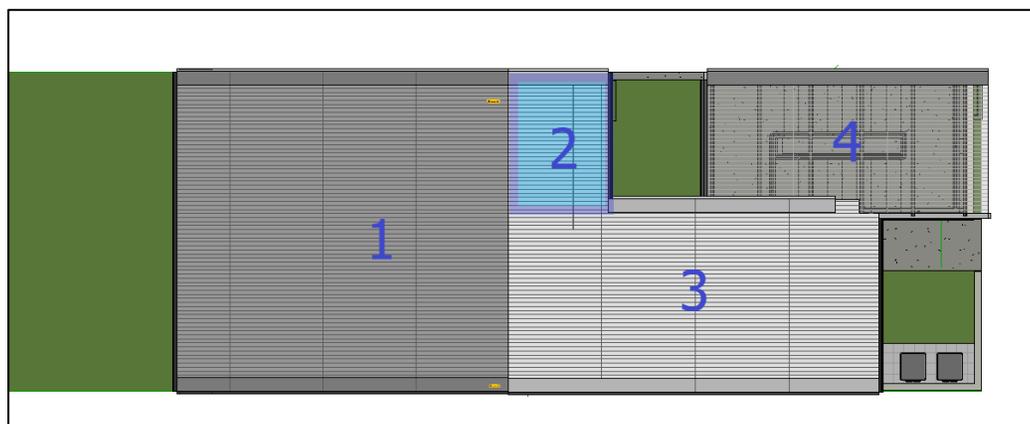


Figura 47. Secciones de cubierta de techo.

Al igual que el sistema sanitario, el pluvial debe contar con bocas de limpieza y cajas de registro de acuerdo con los mismos requerimientos, con la diferencia de que las tapas de las cajas de registro pueden ser de rejilla metálica (CFIA, 2017).

El patio posterior se define con una pendiente dirigida hacia el frente de la propiedad. De esta forma, el agua pluvial es encausada hacia cajas de registro ubicadas en esta parte del patio. Estas cuentan con tapa de rejilla metálica.

Se supone, y se sugiere para los diseños, que los codos a los pies de los bajantes estén embebidos en concreto y tengan una cédula mayor. Una alternativa es colocar cajas de registro en estos sitios, pero debido al espacio reducido se opta por la primera.

Además, se modelan impostas de hierro galvanizado a lo largo de todo el perímetro de las cubiertas donde no haya canoas. Una cumbrera del mismo material se modela para dividir las dos secciones de cubierta sobre el edificio. En cuanto a las canoas, el CIHSE (CFIA, 2017) permite que estas sean de PVC, hierro galvanizado u otros materiales adecuados para tal fin.

3.5. Medio de egreso

Una de las principales razones por las que se seleccionaron tres pisos como la altura del edificio de VUIS de este proyecto, es que el Reglamento Nacional de Protección Contra Incendios (Cuerpo de Bomberos de Costa Rica, 2020) establece una excepción para los edificios de vivienda de tres pisos o menos y cuatro unidades de vivienda o menos en cada piso. Estos pueden contar únicamente con un solo medio de egreso si además cumplen con las siguientes condiciones:

- a) Que la escalera esté separada del resto del edificio mediante barreras que tengan una clasificación de resistencia al fuego no menor a 1 hora, con conjuntos de puertas cortafuego autocerrantes de 1 hora de resistencia que protejan todas las aberturas entre el cerramiento de la escalera y el edificio.
- b) Que la escalera no sirva más de medio piso por debajo del nivel de descarga de la salida.
- c) Que todos los corredores que sirven como acceso a las salidas tengan una clasificación de resistencia al fuego mínimo de 1 hora.
- d) Que no haya más de 11 m de distancia de recorrido desde la puerta de entrada de cualquier unidad de vivienda hasta la salida.
- e) Que se provea una separación horizontal y vertical con clasificación de resistencia al fuego de 1 hora entre las unidades de vivienda. (p. 36)

Por encima de motivos de facilidad constructiva o costos, se busca que la edificación cuente únicamente con un medio de egreso debido a que las dimensiones del terreno para el que se diseñó, y los anchos mínimos de los aposentos, dificultan la inclusión de más de un medio de egreso para los niveles superiores.

3.5.1. Escaleras

La salida desde las viviendas de los dos niveles superiores se hace a través de las escaleras frontales rectas y exteriores. Para que una escalera se considere exterior, el INVU (2018) define que al menos una de sus fachadas esté abierta en un 50 %.

Una escalera de egreso debe cumplir con requisitos del Reglamento de Construcciones, la Ley 7600, y El Reglamento Nacional de Protección Contra Incendios (que referencia a la Norma NFPA 101) en sus versiones vigentes.

A pesar de que se modelan escaleras de concreto monolíticas y rectas, un profesional que utilice el modelo como base o referencia, puede analizar otras opciones como escaleras metálicas u otros materiales no combustibles, perforaciones, y de construcción fija y permanente (Cuerpo de Bomberos de Costa Rica, 2020). Los acabados de las escaleras también deben ser de materiales no combustibles. También se puede optar por escaleras curvas mientras se cumplan los requisitos del reglamento.

3.5.1.1. Dimensionamiento

Cuando la carga de ocupantes de todos los pisos servidos por una escalera es menor a 50, como es el caso de la VUIS, el ancho mínimo de las escaleras es de 91 cm (Cuerpo de Bomberos de Costa Rica, 2020). En este caso, las escaleras se diseñan con un ancho de 1 m, de forma que cuando se descuenta el espacio entre los pasamanos y la baranda o muro, se siga contando con el ancho mínimo. El ancho debe ser el mismo a lo largo del recorrido.

Además, de acuerdo con la Ley 7600 (1998), las dimensiones máximas para las huellas y las contrahuellas son de 30 cm y 14 cm respectivamente. Dichos parámetros se pueden definir en las propiedades de la familia de escaleras en caso de que no se hagan por boceto.

Las contrahuellas de las escaleras del modelo son verticales, rectas, no tienen pendiente y no cuentan con bordes volados. De acuerdo con el Reglamento Nacional de Protección Contra Incendios (2020), si no fueran verticales, la pendiente bajo la huella no puede exceder 30 grados respecto de la vertical, siempre que la proyección del borde volado del escalón no

exceda 3,8 cm. Además, la pendiente del escalón y del descanso no debe exceder 1,2 grados o 2% (Cuerpo de Bomberos de Costa Rica,2020).

3.5.1.2. Descansos

De acuerdo con el Cuerpo de Bomberos de Costa Rica (2020), las escaleras deben tener descansos en las aberturas de las puertas. En el caso de la VUIS, la única abertura con la que cuentan las escaleras, aparte del lado frontal que es completamente abierto, es el acceso a la vivienda. Por motivos de espacio y descanso para los usuarios, se cuenta con otro descanso aproximadamente a la mitad de las escaleras de un nivel a otro.

Las escaleras y los descansos intermedios deben continuar sin reducciones en su ancho a lo largo de la dirección del recorrido de salida y el ancho de los descansos no puede ser menor que el ancho de las escaleras (Cuerpo de Bomberos de Costa Rica, 2020). En el modelo, los descansos del frente continúan el ancho de un metro de las escaleras, mientras que el ancho en los descansos que comunican con las aberturas supera al de las escaleras.

3.5.2. Cerramiento

Se considera que el interior de un edificio se encuentra expuesto cuando existe un muro no clasificado o una abertura no protegida, y los muros o las aberturas estén expuestos por otras partes del edificio en un ángulo menor a 180 grados a menos de 305 cm medidos horizontalmente (Cuerpo de Bomberos de Costa Rica, 2020).

En el modelo, las aberturas de la ventana frontal y del patio de luz se encuentran a menos de 305 cm de las escaleras, está expuesto al medio de egreso por lo que se hace necesario construir una separación. El cerramiento se hace mediante los muros del eje 2 para separar del frente del edificio, y el muro F para separar del patio de luz.

Continuando con el sistema constructivo del resto de la edificación, los muros de separación son de mampostería modular. Los muros que se construyan como cerramiento deben tener una resistencia al fuego de más de una hora (Cuerpo de Bomberos de Costa Rica, 2020). El

muro del 2 se extiende hasta que la distancia desde las aberturas sea mayor a 305 cm y un múltiplo de la unidad modular, de forma que se reduzca el corte de bloques. El muro de separación del lado del patio de luz se extiende hasta el muro de colindancia creando un cierre.

Según el Cuerpo de Bomberos de Costa Rica (2020) "la construcción debe extenderse verticalmente desde el suelo hasta un punto de 305 cm por encima del descanso superior de las escaleras o hasta la línea del techo, el que sea más bajo".

El cerramiento tiene una abertura en el primer nivel para acceder al núcleo de escaleras y aberturas para el acceso a las viviendas. El Cuerpo de Bomberos de Costa Rica (2020) especifica que las únicas aberturas que puede tener el cerramiento son puertas desde espacios normalmente ocupados o de egreso. Estas son protegidas por puertas con una clasificación de resistencia al fuego de una hora, abatibles y de cierre automático.

3.6. Cuantificación de los elementos o materiales.

A partir de la información producida por el modelo, y que se resume en el mismo proyecto, se realizó una cuantificación de los elementos que lo forman, y en algunos casos de los materiales que componen a estos. Se complementó con precios ofrecidos a nivel nacional para crear una estimación del coste de los materiales del proyecto.

Dicha información se reúne en tablas de planificación de cantidades generadas por el software. En algunos casos se crearon en su lugar tablas de planificación de materiales, para los elementos compuestos por varias capas o materiales. Para la cuantificación realizada, se incluyó información como el tipo, longitud, área o recuentos según el elemento a cuantificar. Para el caso de tuberías y sus uniones, se extrajo también la información de sus diámetros.

Para que sea acorde a lo ofrecido a nivel nacional y llevar a cabo una estimación de costos más realista, en algunos casos se dividió la longitud total del tipo de elemento entre la longitud de una unidad disponible en el mercado. De esta forma, se convierte la unidad de las cantidades a unidades del elemento, por ejemplo, tuberías de 6 m. Lo mismo se hizo para sacos, baldes, entre otros.

Debido a que la cuantificación se basa en el modelo, depende de lo que se decidió modelar y de la información que este contenga. El nivel de detalle se seleccionó de tal forma que excluye algunos materiales o elementos, como por ejemplo la estructura de los cielos o el acero de las vigas. Por lo tanto, no se pueden cuantificar directamente a no ser que también se modelen. Alternativamente, a la hora de presupuestar se pueden relacionar elementos no modelados con los que sí se modelaron y de los que se conoce que forman un conjunto. Por ejemplo, se puede conocer el precio del metro cuadrado del sistema de muros incluyendo el acero y el mortero de pega, por lo que es solo necesario relacionar al área de muros que corresponda sin modelar el acero.

También, ninguna de las familias del modelo posee un valor asignado para el parámetro “marca”, sin embargo, para cuantificación se suponen estas para determinar sus precios. Si se utiliza como un modelo prototipo, a las familias del modelo se le pueden incorporar marcas y precios o, como ya se ha mencionado, utilizar familias descargadas de bibliotecas de sus proveedores.

En el Cuadro 22 se muestra un resumen de los costos por elementos modelados o conjuntos de estos, según la denominación del software. Las tablas empleadas para la cuantificación se encuentran en ambos proyectos, el arquitectónico- estructural y el mecánico dentro de las tablas de planificación de cantidades. En caso de realizar modificaciones, las tablas se actualizarán automáticamente. Destacan el alto costo de las trampas de grasa individuales y de las puertas cortafuego.

Cuadro 22. Resumen de los costos de los elementos del modelo.

Elemento	Costo (colones a noviembre del 2021)
Vigas y columnas	₡ 1.286.520
Puertas	₡ 4.779.130
Ventanas	₡ 900.100
Barandas	₡ 1.228.652
Cubiertas	₡ 467.300
Equipos especializados	₡ 60.000
Muros y acabados de muro	₡ 5.458.268

Elemento	Costo (colones a noviembre del 2021)
Aparatos Sanitarios	₡ 1.198.500
Entrepisos y acabados de piso	₡ 3.175.989
Techos	₡ 200.000
Canoas	₡ 42.380
Uniones de tuberías	₡ 866.450
Tuberías	₡ 658.200
TOTAL	₡ 19.886.725

3.7. Evaluación de la sostenibilidad por norma RESET

Se evalúan únicamente los criterios que aplican al nivel de impacto categorizado como interés social y para la etapa de diseño.

El apartado Aspectos Socioeconómicos corresponde a etapas diferentes al diseño, y aspectos financieros y de administración que no se abarcan en el proyecto. De igual manera, el apartado Optimización del Uso de la Energía depende en gran medida del diseño eléctrico que no forma parte de este proyecto, y de su orientación, la cual no se conoce.

3.7.1. Calidad y bienestar espacial

Para este apartado aplican siete criterios de los que se cumplen cinco con el diseño del modelo tipo, por lo que se cumplen un 71 % de los criterios aplicables.

Uno de los criterios que no se cumplen es la utilización de la vegetación para mitigar los efectos de la temperatura, humedad y contaminación. Sin embargo, esto depende del césped u otros elementos vegetales que se incorporen. Se pueden elegir tipos de crecimiento de bajo mantenimiento, resistencia a pestes y transpiración (INTECO, 2020).

El otro criterio para el que no se puede comprobar el cumplimiento es el diseño de estrategias pasivas. Como se detalló en capítulos anteriores, estas sí se incorporaron, pero la norma RESET

(INTECO, 2020), establece como valor de referencia para cumplir, la inclusión de análisis climáticos.

3.7.2. Entorno y transporte

El cumplimiento de este apartado no se pudo evaluar ya que varios de los criterios aplicables dependen del suelo y de la ubicación del proyecto. Sin embargo, suponiendo que la localización es alguno de los cuatro distritos centrales de San José, el cumplimiento de algunos de estos criterios es muy probable, ya que la mayor parte de los predios en esta zona se encuentran en terrenos estables y no cuentan con riesgos naturales, con la excepción de los que se encuentran cerca de cuerpos de agua.

Por otro lado, es posible que un proyecto de este tipo no cumpla un criterio de la norma relacionado al aprovechamiento de la máxima densidad permitida (INTECO, 2020). Aunque depende de la zona y del plan regulador, es muy posible que un edificio de tres niveles no represente la dicha densidad.

3.7.3. Suelos y paisajismo

La mayor parte de los criterios de este apartado dependen de conocer la ubicación del proyecto ya que se refieren a los suelos y el entorno. Sin embargo, se puede incorporar la utilización de especies adaptadas al régimen pluvial del cantón central de San José para aportar a la sostenibilidad, una de las referencias para las que no se puede comprobar el cumplimiento sin un diseño más detallado.

3.7.4. Materiales

El modelo tipo no cumple con el criterio de utilización de sistemas livianos para divisiones internas o cerramientos. Se puede hacer un análisis estructural más exhaustivo para conocer si algunas de las divisiones internas se pueden construir con sistemas livianos.

También se pueden tomar en cuenta otros criterios sin cumplir por el modelo tipo, pero que se pueden considerar en posibles diseños basados en el prototipo, tanto para el cumplimiento de la norma como para aumentar la sostenibilidad de la edificación. Algunos de estos son (INTECO, 2020):

- Los materiales y productos de construcción utilizados son preferiblemente extraídos, cosechados, fabricados y/o manufacturados en el país.
- La superficie expuesta de los materiales es de bajo mantenimiento y fácil limpieza.
- Se incorporan estrategias para proteger las partes expuestas del edificio y materiales que disminuyen su cambio frecuente.

3.7.5. Optimización del uso del agua

Algunos de los criterios de este apartado dependen del tratamiento que se dé a las aguas residuales de la edificación. Como se supone que el modelo tipo se sirve del alcantarillado sanitario, y que las aguas de las zonas supuestas son tratadas en la Planta de Tratamiento los Tajos, se necesita conocer los datos de la gestión del agua que se hace en este lugar.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- El modelo prototipo VUIS 3x1 cumple satisfactoriamente con los requisitos de las normas nacionales que le aplican, y se ajusta a las características de una vivienda social vertical en áreas urbanas. Un diseño de un proyecto real que se base en el modelo tipo, sin desviaciones importantes con respecto a este, puede reducir considerablemente los tiempos de diseño y de aprobaciones de permisos.
- El concepto de modelo tipo tiene el potencial para sustituir los planos tipo con mucho mayor valor agregado, conforme la metodología BIM se expanda a través del sector construcción. Al mismo tiempo, las instituciones que gestionan los permisos de construcción se deben modernizar y adoptar el BIM. De esta forma, se facilitaría la presentación y las solicitudes de información adicionales, agilizando el proceso de tramitación de permisos para los revisores y los diseñadores.
- Una representación tridimensional del diseño de una edificación ofrece una gran cantidad de ventajas con respecto a las dos dimensiones, independientemente de la magnitud y complejidad, y a pesar de que en algunas ocasiones requiere de mayor trabajo durante la etapa de diseño. Para el diseño del VUIS 3x1 permitió la detección de inconsistencias o interferencias a simple vista, que incluso llevaron en algunas ocasiones a cambios de diseño.

Las herramientas de análisis del software utilizado permitieron la detección de interferencias adicionales más complicadas de detectar. Evitan la ocurrencia de estas incidencias durante la etapa de construcción reduciendo los costos de imprevistos y rediseños.

- La cuantificación de los elementos o materiales a partir de un modelo basado en la metodología BIM se hace casi de manera automática, y en tablas organizadas y ordenadas que pueden ser exportadas a los medios utilizados usualmente para la presupuestación. Sin embargo, dependiendo del nivel de detalle, se debe complementar con datos de conjuntos de elementos que tal vez no hayan sido considerados en el

modelo, o cuantificaciones realizadas a través de mediciones. El presupuesto completo no se puede hacer en el propio modelo.

- Cuando un diseño como el del modelo tipo de este proyecto se ajusta con poca amplitud a los mínimos establecidos por la normativa nacional, resulta particularmente útil conocer en tiempo real la información, por ejemplo, las dimensiones de las habitaciones, para verificar su cumplimiento a través de las tablas de planificación de software de diseño basados en BIM.
- La oferta de objetos BIM en Costa Rica es muy limitada, especialmente en lo que concierne a productos nacionales o que se ofrecen a nivel nacional pero no en mercados con bibliotecas BIM más desarrolladas. Esto obliga a modificar familias existentes o crear nuevas desde cero para algunos de los elementos. Sin embargo, los primeros proveedores a nivel nacional empiezan a ofrecer los modelos de sus productos en bibliotecas BIM.
- Algunos elementos como las puertas cortafuego o las trampas de grasa individuales aumentan considerablemente el costo de la edificación, por lo que se pueden analizar alternativas de diseño que sustituyan o reduzcan su cantidad.
- A pesar de que, por lo general un proyecto de esta clase cuenta con un presupuesto limitado y las dimensiones son reducidas, se pueden incorporar prácticas y elementos de construcción sostenible sin incurrir en gastos adicionales excesivos y sin mayores complicaciones. Incluso, algunos sistemas sostenibles pueden conducir más bien al ahorro de materiales y reducir los costos, como es el caso de la construcción modular.
- No es posible llevar a cabo una evaluación completa de la norma RESET para un modelo tipo, si este no cuenta (o no se supone) con un terreno y una ubicación específica, ya que algunos apartados de la norma dependen casi por completo de estos. El suponer los distritos o el cantón donde se encontrarían los proyectos no fue suficiente para evaluar algunos de los criterios.
- La oferta de certificaciones de construcción sostenible para viviendas o VIS ha aumentado en los últimos años, y se han hecho más accesibles a proyectos de este tipo si se incorporan prácticas de sostenibilidad básicas y al alcance de viviendas de esta clase. Aunque no se ellas, seguir las recomendaciones y las especificaciones de las normas puede ayudar a reducir el impacto ambiental y los costos del edificio durante su construcción y operación.

- Las cortas distancias entre elementos sanitarios o de agua potable en el modelo, facilitan optar por alternativas para la ventilación del sistema sanitario que ofrece el CIHSE, como la ventilación por bajante único.

4.2. Recomendaciones

- Se pueden realizar análisis comparativos de diferentes opciones de diseño disponibles para algunos elementos del modelo. Examinar alternativas aplicadas al caso específico permitiría determinar la opción que ofrece el mejor balance entre aspectos de economía, constructibilidad, sostenibilidad, entre otros, y de esta forma agregar valor al modelo tipo. Por ejemplo, se puede comparar el sistema de trampas de grasa individuales contra un sistema de una trampa de grasa única para toda la edificación. También se puede comparar una variación del diseño que no implique el uso de puertas cortafuego para la entrada a la vivienda por el alto costo de dichas puertas.
- A través de un análisis estructural completo, se podrían definir más muros como elementos no estructurales y construirse con materiales livianos, reduciendo el costo, las cargas, y posiblemente el impacto ambiental. Además, dichos cambios pueden llevar a que se evite la irregularidad moderada que presenta el modelo tipo en su diseño. El usuario potencial de este modelo debe completar el análisis estructural respectivo y la cimentación.
- El diseño se puede adaptar y complementar con estudios que permitan conocer las necesidades y gustos de las familias a las que están destinadas las viviendas. De la misma manera, se puede investigar entre las PYMEs del sector construcción si un modelo tipo de esta clase representa un beneficio o incentivo para impulsar los desarrollos de VUIS. Por ejemplo, aunque se cuente con muy poco espacio para crear parqueos para carros para todas las viviendas, un análisis podría determinar que la demanda de espacio de garaje es más bien para motocicletas o bicicletas, para las cuales es más factible crear múltiples lugares.
- Se pueden considerar más configuraciones del modelo VUIS como el 4x1 (4 viviendas donde antes se encontraba una o un terreno baldío) o el 8x1 para el terreno supuesto. Se debe examinar si los beneficios son mayores al costo. Un modelo 4x1 requiere un

medio de egreso adicional, pero alternativamente se puede colocar un sistema de detección de incendios, por lo que elevar un nivel más el modelo 3x1 sería simple y puede generar más rentabilidad y densidad. También, talvez sea posible diseñar una VUIS 8x1 en el terreno supuesto, pero es muy probable que se pierdan varias ventajas del modelo 3x1 como un patio trasero, ventanas hacia el posterior sin necesidad de construir un muro perimetral de tres niveles, entre otras.

- Elevar el nivel de detalle del modelo, por ejemplo, a través del modelado del acero de refuerzo, puede funcionar para conocer con más exactitud las cantidades, el costo, y sería necesario en caso de realizar un análisis estructural. Sin embargo, en caso de que un usuario del modelo tipo decidiese cambiar de sistema constructivo, el esfuerzo adicional por lograr un modelo más detallado no sería aprovechado.
- Se pueden crear modelos separados estructural y arquitectónico, especialmente en caso de querer hacer el análisis estructural a través del mismo modelo, o que diferentes profesionales realicen cada uno.
- Para crear un modelo tipo con más alcance entre los profesionales, y contribuir a la corriente que impulsa un BIM de acceso libre e interoperativo, se puede recurrir a adaptar el modelo a formatos libres.
- En caso de que se incluya el diseño eléctrico en el modelo mecánico, este puede seguir los lineamientos, referencias, y recomendaciones de sostenibilidad del resto del proyecto.

5. FUENTES DE CONSULTA

- Arguedas, J., Chonkan, L., Drezner, Y., Murillo, P., Odio, G., Vargas, J. (2021). Guía para la Elaboración de una Solicitud de Información BIM (SDI BIM). Recuperado de: <https://www.construccion.co.cr/Multimedia/Archivo/10236>
- Banco Hipotecario de la Vivienda ([BANHVI], 2020). *Características de la vivienda financiada con el bono familiar*. <https://www.banhvi.fi.cr/publicaciones/folletos/caractivivinteresocial.pdf>
- Banco Hipotecario de la Vivienda ([BANHVI], s.f.). *Tope de Interés Social*. https://www.banhvi.fi.cr/tope_interes_social.aspx
- Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica (2013). *Manual de Disposiciones Técnicas Generales Sobre Seguridad Humana y Protección Contra Incendios*. https://www.bomberos.go.cr/upl0dz/2013/06/Manual_de_Disposiciones_Tecnicas_2013.pdf
- Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica (2020). *Reglamento Nacional de Protección Contra Incendios* [archivo PDF]. Recuperado de <https://www.bomberos.go.cr/upl0dz/2019/05/Reglamento-Nacional-de-Proteccion-Contra-Incendios-VCP.pdf>
- BIM Construction (s.f.). *Dimensiones BIM*. BIM Construction. <https://www.bim.cr/inicio>
- Bim Forum (2019). *Level of Development (LOD) Specification Part I & Commentary For Building Information Models and Data*. <https://bimforum.org/lo/>
- BuildingSMART Spanish Chapter (2014). *Guía de Usuarios BIM*. <https://www.buildingsmart.es/recursos/gu%C3%ADas-ubim/>
- BuildingSmart Spanish Chapter (s.f.). *¿Qué es BIM?*. BuildingSmart Spanish Chapter. <https://www.buildingsmart.es/bim/>
- Campos I. (2019). *Guía para la creación de un modelo de quinta dimensión (costo) del BIM en un proyecto constructivo* (Tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica). Repositorio SIBDI. <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/handle/123456789/9131>
- Chona, G., Grun, E. (2020). *Regeneración urbana y reconversión productiva: un plan innovador para el centro de San José*. Inter-American Development Bank. <https://blogs.iadb.org/ciudades-sostenibles/es/regenerando-centro-reconversion-productiva-san-jose-costa-rica-plan/>

- CMS (2017). *CMS Expert Guide to Building Information Modelling (BIM)*.
<https://www.bimcommunity.com/resources/load/362/cms-guide-to-building-information-modelling-bim>
- Corporación Financiera Internacional [IFC, 2018]. *Guía del usuario de EDGE*.
<https://edgebuildings.com/edge-user-guide-for-all-building-types-version-2-1/?lang=es&lang=es>
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica (2016). *Código Sísmico de Costa Rica 2010. Revisión 2014 (5ª ed.)*. Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (2021). *¿Qué es un plano tipo?*.
<https://centrodeayuda.cfia.or.cr/hc/es/articles/226907328--Qu%C3%A9-es-un-plano-tipo->
- Comisión Nacional del Programa Bandera Azul Ecológica ([CNPBAE, 2019]. *Manual de Procedimientos Galardón Hogares Sostenibles*.
<https://banderaazulecologica.org/landing-de-categorias/hogares-sostenibles>
- Directriz N°27 de 2001. Especificaciones técnicas y lineamientos para la escogencia de tipologías arquitectónicas para la construcción de vivienda y obras de urbanización financiadas mediante la aplicación del Sistema Financiero Nacional para la Vivienda. D.O. No. 21.
http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_norma.aspx?param1=NRM&nValor1=1&nValor2=45699&nValor3=48169&strTipM=FN
- Edge Buildings (s.f.). *Valle Azul #30*. Edge Buildings. <https://edgebuildings.com/project-studies/valle-azul-30/?lang=es>
- Garro, D., Montenegro, J., Murillo, P., Piedra, A., Rojas, V., Sauma, R., Trejos, C. (2018). *Guía de Implementación BIM para las empresas*.
<https://www.construccion.co.cr/Multimedia/Archivo/9930>
- Gobierno de Costa Rica 2018-2020 (2019). *Plan de descarbonización: Compromiso del Gobierno del Bicentenario*. <https://minae.go.cr/images/pdf/Plan-de-Descarbonizacion-1.pdf>
- Gobierno de Costa Rica (2020). *Modelo de Vivienda Urbana Inclusiva y Sostenible-VUIS*
<http://www.mivah.go.cr/Documentos/VUIS/Modelo-de-Vivienda-Urbana-Inclusiva-y-sostenible-VUIS.pdf>

- Godoy, P., Manríquez, S., Soto C., (2019). *Estándar BIM para proyectos públicos*. <https://planbim.cl/estandar-bim-para-proyectos-publicos/>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos ([INEC], 2018). *Encuesta Nacional de Hogares julio 2018: Resultados generales* <https://www.inec.cr/sites/default/files/documentos-biblioteca-virtual/enaho-2018.pdf>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos ([INEC], 2020). *Encuesta Nacional de Hogares julio 2020: Resultados generales*. <https://www.inec.cr/sites/default/files/documentos-biblioteca-virtual/renaho2020.pdf>
- Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica ([INTECO], 2020). *RESET. Requisitos para edificaciones sostenibles en el trópico*. San José, Costa Rica.
- Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo ([INVU], 2018). *Reglamento de Construcciones* <https://www.invu.go.cr/documents/20181/33489 /Reglamento+de+Construcciones>
- Ley 7052 de 1986. Ley del Sistema Financiero Nacional para la Vivienda y Creación del BANHVI (Banco Hipotecario de la Vivienda). D.O. No. 226. http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=12391#ddown
- Ley 7600 de 1996. Ley de Igualdad de Oportunidades para Personas con Discapacidad. 29 de mayo de 1996. D.O. No. 75. http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=53160&nValor3=110485&strTipM=TC
- Ministerio de Educación Pública ([MEP], 2020). *Planos Prototipo DIE*. Dirección de Infraestructura Educativa. <http://die.mep.go.cr/centros-educativos/publicos/planos-prototipo>
- Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos ([MIVAH], 1991). *Reglamento sobre Viviendas de Interés social del Sistema Financiero Nacional para la Vivienda*. http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=41973&nValor3=44257&strTipM=TC
- Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos ([MIVAH], 2019). *Compendio estadístico de vivienda 2018*. https://www.mivah.go.cr/Documentos/estadisticas/compendio_estadistico/Compendio_Estadistico_2018_Informe.pdf

- Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos ([MIVAH], s.f.). *Mesa Técnica Multinivel: Desarrollo Urbano Orientado al Transporte*. <http://www.mivah.go.cr/Desarrollo-Urbano-Transporte.shtml>
- Municipalidad de San José (2017). *Plan de desarrollo municipal 2017-2020*. <https://www.msj.go.cr/MSJ/DatosAbiertos/Planificacin%20Institucional/Plan%20Desarrollo%20Municipal%202017-2020.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas ([ONU, 2016]). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- (MAG et al. 2014). *Plan GAM 2013-2030*. http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=77104&nValor3=96513&strTipM=TC
- Poveda A. (2018). *Diseño de Estructuras de Mampostería*. San José, Costa Rica. Colegio Federado de Ingenieros y arquitectos.
- Productos de Concreto (2018). *Manual Técnico*. Editorial TEC.
- Rodríguez, M. (s.f.). Condominio La Esperanza: Sostenibilidad Ambiental por medio de un diseño innovador. WR Forum. <https://www.wrforum.org/condominio-la-esperanza-sostenibilidad-ambiental-por-medio-de-un-diseno-innovador/>
- World Green Building Council [WGNC, s.f.]. *About Green Building*. <https://www.worldgbc.org/what-green-building>

	Velocidad máxima (m/s) ¹	Caudal máximo (Litros/s)	Gradiente Hidráulico (mca/m) ²
12	1,34	0,35	0,138
18	1,53	0,67	0,130
25	1,71	1,17	0,123
32	1,92	2,09	0,116
38	2,00	2,85	0,106
50	2,00	4,45	0,082
62	2,00	6,52	0,065
75	2,00	9,66	0,052
100	2,00	15,97	0,039

Anexo 2. Velocidades máximas recomendadas para elementos de PVC

Fuente: CFIA, 2017

Modificado por: Corrales, 2021

Nota:

(1) Estimado para tubería SDR 17 (SDR 13,5 en 12 mm).

(2) Pérdida de carga por unidad de longitud de tubería

u.a	Sistemas con tanques de lavado (L/s)	Sistemas con fluxómetros (L/s)	u.a	Sistemas con tanques de lavado (L/s)	Sistemas con fluxómetros (L/s)
6	0,43	1,40	225	4,51	6,01
8	0,52	1,56	250	4,84	6,29
10	0,61	1,71	275	5,16	6,56
12	0,69	1,84	300	5,49	6,84
14	0,76	1,95	350	6,12	7,38
16	0,83	2,06	400	6,74	7,91
18	0,90	2,16	450	7,34	8,42
20	0,96	2,25	500	7,93	8,93
25	1,12	2,46	700	10,15	10,86
30	1,26	2,65	900	12,15	12,61
35	1,40	2,82	1000	13,06	13,42
40	1,53	2,97	1200	14,71	14,91
45	1,66	3,12	1500	17,10	
50	1,78	3,25	1750	18,98	
60	2,02	3,50	2000	20,78	
70	2,23	3,72	2500	24,17	
80	2,44	3,92	3000	27,34	
90	2,64	4,11	4000	33,22	
100	2,81	4,29	5000	38,64	
120	3,09	4,62	6000	43,71	
140	3,36	4,91	7000	48,52	
160	3,64	5,27	8000	53,11	
180	3,91	5,50	9000	57,52	
200	4,18	5,72	10000	61,77	

Anexo 3. Caudal probable como función de las unidades de accesorio (u.a.)
Fuente: CFIA, 2017

Diámetro del tubo (mm)	Cualquier ramal horizontal de accesorio	Desagües y ramales principales			
		Pendiente (%)			
		0.5	1.0	2.0	4.0
Unidades de descarga					
32 ⁽¹⁾	1	np	np	np	np
38 ⁽¹⁾	3	np	np	np	np
50 ⁽¹⁾	6	np	np	21	26
62 ⁽¹⁾	12	np	np	24	31
75	20 ⁽²⁾	np	20 ⁽²⁾	27 ⁽²⁾	36 ⁽²⁾
100	160	np	180	216	250
125	360	np	390	480	575
150	-	np	700	840	1000
200	-	1400	1600	1920	2300
250	-	2500	2900	3500	4200
300	-	3900	4600	5600	6700

Anexo 4 Cargas máximas permisibles para tuberías de desagüe horizontales
Fuente: CFIA, 2017

Notas:

1. No se permiten inodoros.
2. No se permiten más de dos inodoros.
3. No se permiten más de seis inodoros.

Profundidad máxima (m)	Dimensiones interiores de la caja (m)	
	Ancho	Longitud
0,45	0,35	0,50
0,60	0,40	0,50
0,90	0,50	0,65
1,20	0,65	0,75
2,00	0,60	1,00
4,50	0,80	1,00

Anexo 5. Dimensiones de las cajas de registro
Fuente: CFIA, 2017

Pieza	Nº piezas	Diámetro trampa (mm)	Longitud máx. de ramal (m)	Diámetro ramal (mm)	Pendiente ramal (%)	Codos en ramal de descarga
Lavatorio	1	32	Tabla 8.4	32	Tabla 8.4	No más de 3 radio>75mm
Lavatorio	1	32	3,0	38	1,8-4,5	No más de 2 r>75mm
Lavatorio	<5	32	3,0 r.p. 0,7 r.d.	50 r.p. 32 r.d.	1,8-4,5	Ninguno
Ducha, pila, fregadero, tina	1	38	3,0	38	1,8-9,0	Radio>75mm
		38	4,0	50	1,8-9,0	Radio>75mm
Lavadora	1	38	3,0	38	1,8-4,5	Radio>75mm
Lavadora	1	38	4,0	50	1,8-4,5	Radio>75mm
Inodoro	1	75	6,0	75	>1,8	Radio largo
Inodoro	<8	75	15,0	100	0,9-9,0	Radio largo
Mingitorio individual	1	38	3,0	38	1,8-9,0	Radio>75mm
Mingitorio individual	5	38	4,0	50 r.p. 40 r.p.	1,8-9,0	Radio>75mm
Mingitorio corrido	-	62-75	3,0	62-75	1,8-9,0	Radio largo

Anexo 6. Longitud y pendiente máxima de los ramales de desagüe para el sistema de bajante único.
Fuente: CFIA, 2017

Notas:

- La longitud del ramal se mide desde la trampa hasta la conexión con el bajante.
- r.p.: ramal principal; r.d.: ramal de descarga
- Los radios de curvatura de la última columna están referidos a la línea centro de la pieza.